



Efectos de sistemas de pastoreo tradicional y no tradicional sobre la disponibilidad de nitrógeno potencialmente mineralizable en pastizales del Río de la Plata

*Tesis de grado presentada para optar por el título de
Licenciado en Ciencias Ambientales*

Licenciatura en Ciencias Ambientales. Plan 2008

Mauro Luciano Contisciani

Director: Gervasio Piñeiro

Facultad de Agronomía
Universidad de Buenos Aires

Fecha entrega: diciembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A Gerva, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de incursionar en el mundo de la investigación, por el acompañamiento durante todo este proceso, siempre con una sonrisa y más que predispuesto, por el aguante en las corridas. De las cosas que mas disfrute en la vida.

A Lola y Oggi por hacer del LART una segunda casa.

A Lauti, Mica ,Sol y Ana porque el resultado de esta Tesis incluye el aporte de cada uno de ustedes.

A Mamá, por ser mi fuerza, mi apoyo durante todos estos años

A les pibes por tanto amor.

A los pibes por tanta historia.

ÍNDICE

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Sitios de estudio	9
Colección y análisis de muestras de suelo	10
Análisis estadísticos	12
RESULTADOS	13
DISCUSIÓN	17
CONCLUSIÓN	20
BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO	28

RESUMEN

El pastoreo influye en las propiedades biogeoquímicas y físicas del suelo modificando las reservas de materia orgánica del suelo (MOS), que es la principal fuente de nutrientes para los vegetales. Los aportes de N desde la MOS pueden ser evaluados a través del análisis del nitrógeno mineralizado en condiciones anaeróbicas (Nan). El Nan ha sido utilizado en sistemas agrícolas para evaluar la mineralización de N desde el suelo y en menor medida en sistemas ganaderos. El objetivo general de este trabajo fue evaluar los efectos de diferentes tipos de pastoreo, tradicional (continuo) y no tradicional (con descansos), sobre la disponibilidad de N potencialmente mineralizable (evaluado a través del Nan) en dos fracciones de la MOS, la materia orgánica particulada (POM) y la materia orgánica asociada a la fracción mineral (MAOM). Para ello se seleccionaron cuatro establecimientos ganaderos que realizan pastoreos no tradicionales (e.g. rotativo, voisin, etc.) y se compararon con sus vecinos que realizan un pastoreo tradicional (continuo), todos sobre pastizales naturales. Se seleccionaron 14 potreros linderos en ambos tipos de predios (24 potreros en total), donde se realizaron muestreos de suelo hasta 10 cm de profundidad. La implementación de pastoreos no tradicionales en establecimientos ganaderos familiares comerciales mostró una tendencia a compactar el suelo, aunque estas diferencias no fueron significativas en la mayoría de los casos. No se encontraron diferencias claras en el Nan entre los dos sistemas de pastoreo. En 2 de los 4 establecimientos evaluados los valores de Nan-MAOM fueron mayores para el pastoreo no tradicional, en cambio para la fracción Nan-POM, solo 1 de los 4 establecimientos evaluados mostró valores mayores. Los estratos superficiales del suelo aportaron más Nan que los estratos profundos y la fracción MAOM aportó mayores cantidades de N en incubación anaeróbica que la fracción POM, en todos los sitios e independientemente del sistema de pastoreo. En esta tesis se evaluaron por primera vez, en la región y en el mundo, los aportes de N mediante el Nan de la fracción POM y MAOM por separado en pastizales naturales. Esta tesis contribuyó a evaluar en condiciones reales de producción los efectos de sistemas de manejos no tradicionales del pastoreo (pastoreos con descansos) en comparación con manejos tradicionales (pastoreo continuo)

Palabras claves: Pastizales del Río de la Plata, Ganadería, Nitrógeno potencialmente mineralizable, materia orgánica del suelo (MOS), materia orgánica particulada (POM), materia orgánica asociada a la fracción mineral (MAOM), pastoreo no tradicional, pastoreo tradicional, nitrógeno mineralizado en condiciones anaeróbicas (Nan)

INTRODUCCIÓN

Los Pastizales del Río de la Plata son parte de la unidad biogeográfica de pradera natural más extensa de Sudamérica y una de las más importantes en el mundo. Ocupan un área de 70 millones de ha, entre el este de Argentina, Uruguay y Río Grande del Sur, en Brasil. Su importancia se debe a que poseen la mayor extensión de pastizales en Sudamérica y sustenta grandes existencias de herbívoros domésticos (Soriano et al., 1991). Este bioma ha sido sometido a distintas presiones de uso desde la llegada de los europeos, hace más de 400 años y actualmente más de la mitad del área de estos pastizales se encuentra bajo condiciones de pastoreo por lanares y vacunos (Piñeiro et al., 2009). En las últimas décadas, los pastizales sufrieron una transformación que compromete la sustentabilidad a largo plazo y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para el mantenimiento de la vida humana (Paruelo et al., 2006). Por lo tanto, es necesario indagar el nivel de impacto que generan actividades antrópicas como la ganadería para compatibilizarla con la conservación de los ecosistemas, desarrollando sistemas orientados a una producción sostenible (Altesor et al., 2007).

Diversos trabajos científicos demuestran que el pastoreo con herbívoros domésticos afecta variables físicas y biogeoquímicas del suelo. El pastoreo altera el contenido de humedad del suelo, su densidad aparente (Altesor et al., 2006), y también distintos atributos del ciclo del carbono (C) como la productividad primaria neta (Altesor et al., 2005; Oesterheld et al., 1999). El pastoreo también produce una gran remoción de biomasa verde o muerta y por lo tanto disminuye las entradas de C al suelo (Mikola et al., 2009), pero otros estudios han encontrado que la abundancia de raíces en los sitios pastoreados aumenta la MOS de los primeros centímetros del suelo principalmente la fracción lábil o materia orgánica particulada (POM) (Ota et al., 2013; Schuman et al., 1999). Por otro lado, el pastoreo produce pérdidas de N por volatilización y lixiviación desde los parches de estiércol y (Frank & Evans et al. 1997; Allard et al., 2003; Altesor et al., 2006). En síntesis, los principales mecanismos que modifican las reservas de MOS bajo pastoreo son la vía del nitrógeno (pérdidas de N), la vía de la productividad (aumentos o disminuciones en la productividad aérea o subterránea) y la vía de la

descomposición, afectando cambios en la respiración del suelo por cambios en sus propiedades físicas (e.g. compactación por pisoteo) (Conant et al., 2005; Piñeiro et al., 2009).

Para lograr la sustentabilidad productiva a largo plazo y la conservación de los pastizales, se implementan diversas medidas de manejo como el manejo del pastoreo con descansos. En la actualidad existen distintas estrategias de pastoreos con descansos que han sido implementadas por los productores y también evaluadas en la literatura científica, como ser el pastoreo, rotativo, voisin, racional, etc. En esta tesis llamaremos estrategias de pastoreo “no tradicional” a todas estas técnicas que se basan en la subdivisión del terreno en potreros, por los cuales se hace pastar alternativamente al ganado; de tal manera que se generan “descansos” del pastizal en donde no se pastorea y en general conlleva a un aumento significativo de las cargas animales por unidad de área (Senra y Ugarte et al., 1983). Por otro parte llamaremos pastoreo “tradicional” a las estrategias de pastoreo continuo, en donde los potreros permanecen todo el año con animales continuamente pastoreando, sin descansos.

Los beneficios descriptos para los pastoreos no tradicionales son diversos, sin embargo, aún existe una gran controversia sobre estos supuestos beneficios y algunos resultados de las investigaciones científicas (Briske et., al 2008). Se han reportado aumentos en la producción de los pastizales, debido a que la vegetación es sometida a cortos períodos de defoliación seguidos de reposos antes de ser pastoreada nuevamente (Senra y Ugarte et al., 1983). También se ha documentado la posibilidad de aumentar la presión de pastoreo (Leigh JH et., al 1978;Teague WR et., al 2013) una menor selectividad y selección de especies palatables (Leigh et., al 1978;Teague WR et., al 2004); mayor floración, crecimiento y supervivencia de especies vegetales (Fitzgerald R et., al 1997), una mejora de la utilización de los pastizales (Dorrrough J, et., al 2004); un mejor mantenimiento de la cubierta (Sanjari G, Yu B et., al 2009;Teague WR et., al 2011)una reducción de la erosión del suelo (Sanjari G, Yu B et., al 2009) y una mejora de la producción animal (Kahn LP et., al 2010). Aunque estos beneficios potenciales son muy prometedores, los resultados provistos por ensayos experimentales han sido diversos y revisiones recientes de la literatura científica no sugieren mejoras substanciales en muchas de estas propiedades, al evaluar

experimentos parcelarios (Briske et al., 2008).

La disponibilidad de N es clave para la productividad de la vegetación, es afectada por el método de pastoreo y puede ser medida a partir del nitrógeno potencialmente mineralizable o sus estimadores como la liberación de nitrógeno por incubación anaeróbica (Nan). El nitrógeno potencialmente mineralizable es una medida de la cantidad de N que es capaz de aportar la MOS a los vegetales, en condiciones óptimas de humedad y temperatura (Stanford y Hanway 1955). Se han propuesto diversas alternativas para estimar el N potencialmente mineralizable de forma más rápida y simple que el método utilizado por Stanford y Hanway (1955) que requiere incubaciones de 180 días. La propuesta de Waring y Bremner (1964), llamada liberación de nitrógeno por incubación anaeróbica (Nan), tiene una correlación significativa con el N potencialmente mineralizable (Echeverría et al., 2000). El Nan es un indicador temprano promisorio de los cambios que ocurren en el suelo debido al uso agropecuario (Fabrizzi et al., 2003). La determinación de Nan es relativamente simple ya que requiere una incubación anaeróbica de sólo 7 días, y luego una determinación analítica rápida (Echeverría et al., 2000). Este indicador es fácil de determinar, usar y evaluar, y es altamente sensible a los cambios producidos por el manejo, correlaciona bien con los procesos edáficos y con su productividad, y en su variación integran cambios en propiedades y procesos edáficos que permiten estimar la dinámica del N en el suelo y su disponibilidad (Doran & Parkin et al., 1996).

La MOS es la principal reserva de N de los ecosistemas, es a su vez compleja y heterogénea, por lo que es necesario analizar por separado sus distintas fracciones para comprender mejor los procesos de estabilización y descomposición del C y N. Uno de los métodos que ha demostrado ser muy efectivo para identificar fracciones de MOS con dinámicas contrastantes, es el fraccionamiento por tamaño de partículas. Con esta técnica es posible separar una fracción denominada materia orgánica particulada (POM, tamaño de partícula entre 53 y 2000 μm) y otra denominada materia orgánica asociada a la fracción mineral (MAOM, tamaño de partícula menor a 53 μm) (Cambardella y Elliot et al., 1992). Ambas fracciones se diferencian en su composición, estructura y función. La POM, de origen reciente, representa entre el 10% y el 50% de la materia orgánica del suelo, está compuesta por restos vegetales en

descomposición, hifas de hongos, esporas, granos de polen y restos de fauna edáfica (Wander et al., 2004) y posee una alta relación C/N, cumpliendo un rol importante en la formación y reciclaje de macro- y micro agregados del suelo (Six et al., 2004; Domínguez et al., 2008; Agostini et al., 2012; Studdert et al., 2014). En cambio, la MAOM está compuesta por partículas más simples que se encuentran adsorbidas a los agregados del suelo. Esta fracción posee una relación C/N cercana a 10 y puede representar hasta el 90% de la materia orgánica. A diferencia de la POM, la MAOM está protegida físicamente a la descomposición debido a que se encuentra absorbida a los limos y arcillas del suelo, por lo que los microorganismos requieren alta energía de activación para descomponerla (Fontaine et al., 2003). Debido a que la POM y la MAOM tienen diferentes magnitudes y tiempos de ciclado, separarlas permite mejorar nuestra comprensión sobre la dinámica de la MOS.

En la actualidad, no existen registros de trabajos publicados en revistas científicas que evalúen los niveles de Nan por separado en distintas fracciones de la MOS. Aumentos en la productividad de los pastizales debido al método de pastoreo podrían traducirse en incrementos del Nan debido a las mayores entradas de materia orgánica al suelo que conducirán a mayores niveles de MOS (Amundson et., al 2001). A su vez, una mayor cobertura vegetal resultará en una disminución de la erosión con un doble beneficio para el almacenamiento de la MOS, minimizando las pérdidas directas a través de la capa superficial erosionada y manteniendo una mejor estructura del suelo (Chappell et al., 2012). Una posible mayor producción de raíces también podría aumentar el Nan del suelo, aumentando las entradas de C y también mejorando la estructura física. La mayor acumulación de N en los parches de heces y orina podría también aumentar la disponibilidad de N, mejorando los niveles de Nan. Sin embargo, mayores compactaciones debidas al pisoteo podrían revertir estos efectos, o mayores pérdidas de N debidas al pastoreo (Piñeiro et., al 2009). Finalmente, los efectos relativos de estos mecanismos podrían afectar de manera diferencial la mineralización de N desde las fracciones POM y MAOM de la MOS (que llamaremos Nan-POM y Nan-MAOM).

Esta tesis está enfocada en indagar en el aporte de nitrógeno potencialmente mineralizarle (medido mediante el Nan) que proveen ambas fracciones de las MOS

bajo distintas condiciones de pastoreo. Si bien varios trabajos evalúan los efectos del pastoreo sobre la composición y diversidad de especies, y los flujos de materia y energía, no conocemos trabajos que evalúen el Nan de cada fracción de la MOS bajo distintos métodos de pastoreo. Comprender el sentido de estos cambios, es fundamental para diseñar prácticas de manejo que mejoren la sustentabilidad de los sistemas, aumenten su productividad y disminuyan los procesos de degradación.

El objetivo general de esta Tesis de grado es estudiar los efectos del pastoreo tradicional y no tradicional en los pastizales del Río de la Plata sobre la disponibilidad de N potencialmente mineralizable en las fracciones POM y MAOM del suelo.

Hipótesis 1: Los suelos bajo pastoreo no tradicional se encontrarán más compactados que suelos similares bajo pastoreo Tradicional, ya que los primeros presentan altas cargas instantáneas en periodos concentrados de tiempo.

Hipótesis 2: Los valores de Nan, en ambas fracciones de la materia orgánica del suelo, serán mayores en sitios en donde se realiza un pastoreo no tradicional vs. sitios bajo pastoreo tradicional, ya que los pastoreos con descanso favorecen la formación de raíces y concentran las deposiciones de N por heces y orina, potencialmente aumentando las fracciones lábiles de N en el suelo.

Hipótesis 3: El aporte de NAN en (kg/ha) será mayor por parte de la fracción Nan-POM que de la fracción Nan-MAOM, ya que la fracción POM en general tiene materia orgánica de más rápido ciclado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Los sitios de estudio se ubicaron en los departamentos de Tacuarembó, Durazno y Lavalleja de la República Oriental del Uruguay, dentro de la región de los Pastizales del Río de la Plata (Figura 1). La región presenta un clima templado-subtropical húmedo sin estación seca, siendo la temperatura media anual de 17,5 °C. Las precipitaciones se distribuyen uniformemente a lo largo del año, cuya media anual ronda los 1200 mm. Los Pastizales del Río de la Plata presentan fisonomías de praderas, sabanas y estepas (Perelman et al., 2001; Batista et al., 2018). En el departamento de Tacuarembó predominan los suelos de tipo vertisoles y en el departamento Lavalleja y Durazno predominan Brunosoles subeutricos (Altamirano et al., 1976).

El diseño del experimento consistió en cuatro establecimientos que reúnen 14 potreros pareados de ganadería tradicional y no tradicional (24 potreros en total). Se corroboró que los sitios seleccionados no presentaran disturbios como quemas, fertilizaciones, etc. y que tuvieran el mismo tipo de suelo y niveles topográficos similares. Se realizó un muestreo del suelo en cada uno de los sitios, relevando el perfil edáfico hasta una profundidad de 10 cm para la determinación de Nan y hasta 30 cm para densidad aparente (DAP).



Figura 1. Mapa de ubicación de sitios de muestreo en la República Oriental del Uruguay, América del Sur, dentro de la región de Pastizales del Río de la Plata (Zona verde). Cada punto corresponde a un establecimiento muestreado. En el departamento de Tacuarembó se encuentran los establecimientos Dutra y Muton, en el departamento de Durazno se encuentra Etchenique y en departamento Lavalleja Cesar-Cedres.

Colección y análisis de muestras de suelo

En cada parcela se tomaron 4 submuestras compuestas de suelo, formadas por 12 “piques” de barreno. Cada muestra fue pesada y secada. Las extracciones se realizaron con un barreno de 2 cm de diámetro y 30 cm de profundidad, dividiendo la muestra en 2 intervalos (0-5 cm; 5-10 cm) para determinación Nan y 4 intervalos (0-5 ;5-10; 10-20; 20-30) para la determinación de la densidad aparente (DAP). La DAP se estimó para cada submuestra según el método de Elliot. et al. (1999) y también el contenido de

agua, la porosidad total y el % de poros llenos de agua. Todas las muestras fueron tamizadas a 2 mm, descartando raíces y rocas.

La materia orgánica fue separada mediante el método de Cambardela y Elliot (1992), en las fracciones POM y MAOM para cada profundidad. Para ello se agito durante 12 horas, 10 g de suelo tamizado con 30 ml de una solución de hexametáfosfato de sodio 0,5%. Posteriormente, se separaron las fracciones utilizando un tamiz de 53 μm lavándose con agua destilada. El material tamizado, fue colectado en vasos de precipitados que se secan en una estufa a 60° C. El vaso de precipitado que contiene la POM se lleva a estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. El vaso de precipitado que contiene a la MAOM se le agregan 4 ml cloruro de calcio (concentración 2 Normal) para precipitar los sólidos en solución. Luego de 24 h, con una pipeta se extrae parte del sobrenadante y se lleva a estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. Una vez pesadas, las muestras de POM y las de MAOM fueron molidas con molinillo. Este procedimiento se realizó cuatro veces por muestra con el fin de obtener suficiente material (más de 5 gramos de cada fracción) para luego realizar las incubaciones de Nan. Debido a que este método es nuevo y resulta de una adaptación de métodos existentes (fraccionamiento en POM y MAOM y medición de Nan), esta tesis requirió de un trabajo importante de calibración y desarrollo del método.

Para la determinación del Nan se utilizó el método de incubación anaeróbica corta Waring; Bremner (1964). Para esto se colocaron 5 g de POM y de MAOM por separado en tubos de ensayo y se completó el volumen de los mismos con agua destilada. Los tubos se cerraron herméticamente asegurando una condición de anaerobiosis y se los incubó durante 7 días a 40 °C (Keeney, 1982). Finalizada la incubación, agitaron enérgicamente los tubos y se transfirió todo el contenido a un balón de destilación. Para completar la transferencia se utilizaron 15 mL de KCl 4 M, que actúa como extractante del amonio producido. Se agregaron luego 0,2 g de MgO al balón de destilación para generar un medio alcalino. La determinación del N-NH_4^+ mineralizado durante la incubación, se realizó por destilación por arrastre de vapor (Keeney, 1982). El destilado se recogió en 5 ml de H_3BO_3 al 2% y se tituló con H_2SO_4 0,005 N. Los valores de N-NH_4^+ representan los mg N como N-NH_4^+ por kg^{-1} de fracción POM o MAOM. Para

poder comparar estos valores con mediciones de Nan en el total del suelo, en esta tesis se expresan los valores de Nan como mg N-NH_4^+ por kg^{-1} de suelo, es decir ponderando por el peso relativo de cada fracción en el total del suelo. Esto posibilita que al sumar el Nan de cada fracción se obtenga el valor de Nan del total de del suelo, comparable con todos los trabajos previos que estiman Nan sin separar por fracciones. Los valores de Nan de la POM (Nan-MOP) y de la MAOM (Nan-MAOM) se estimaron para las profundidades 0-5 cm y 5-10.

Finalmente, los contenidos de NAN del suelo de cada fracción y profundidad son expresados también en kg de N-NH_4^+ ha. Para ello fueron corregidos en base a un valor de masa constante ya que los cambios en la densidad aparente de los distintos tratamientos provocan que las muestras, tomadas a profundidades fijas, tengan distintas masas de suelo y por consecuencia se sobreestiman los contenidos de nitrógeno en suelos compactados. Para evitar este error, los contenidos de nitrógeno se expresaron en base a una masa constante equivalente de suelo, para proporcionar una medida independiente del efecto de la compactación o la expansión del suelo (Davidson y Ackerman et., al 1993). Para ello se utilizó la fórmula (2) propuesta por Solomon et al. (2002), para cada profundidad, tomando como referencia el pastoreo tradicional.

$$Z \text{ corrected} = (\rho \text{ tradicional} / \rho \text{ no tradicional}) * Z \quad (2)$$

Z corresponde a la profundidad en cm del perfil evaluado, ρ no tradicional y ρ tradicional corresponden a las densidades aparentes de pastoreo continuo y pastoreo no tradicional.

Análisis estadísticos

Las diferencias de las variables analizadas (Dap; %agua, porosidad total; WFP; Nan) del suelo entre tratamiento No tradicional y Tradicional, se compararon mediante un test de t-pareado. Se consideraron que los efectos fueron significativos entre tratamientos cuando el valor $p < 0.05$ y marginalmente significativos para $p < 0.1$. Se indican con la nomenclatura estadística estándar, (*= $p < 0.05$ y †= $p < 0.1$). A su vez, se realizaron análisis de correlación entre los valores de Nan de ambas fracciones y la textura de los distintos sitios evaluados. Todos los análisis se realizaron con el software

RESULTADOS

3.1 Cambios en la DAP debidos al reemplazo de ganadería tradicional por no tradicional.

La implementación de pastoreo no tradicional mostró una tendencia a compactar el suelo principalmente en los estratos más profundos en 3 de los 4 establecimientos, aunque estas diferencias no fueron significativas en la mayoría de los casos (Figura 2). Los predios de Dutra, Etchenique y Muton mostraron una tendencia a estar más compactados, con mayores valores e DAP en todo el perfil bajo pastoreo no tradicional (entre un 2 a un 8 % de aumento del DAP), salvo Dutra de 0-5, mientras que el predio de Cesar-Cedrés mostro la tendencia opuesta, a estar más descompactado en la totalidad de su perfil bajo pastoreo no tradicional (Figura 2). Además de la DAP, los valores de porosidad total, contenido de agua y el % de poros llenos de agua, presentaron tendencias similares, aunque generalmente no significativas siendo menor la porosidad total y el contenido de agua en los sitios más compactados (Anexo; Figura 1-Figura 2).

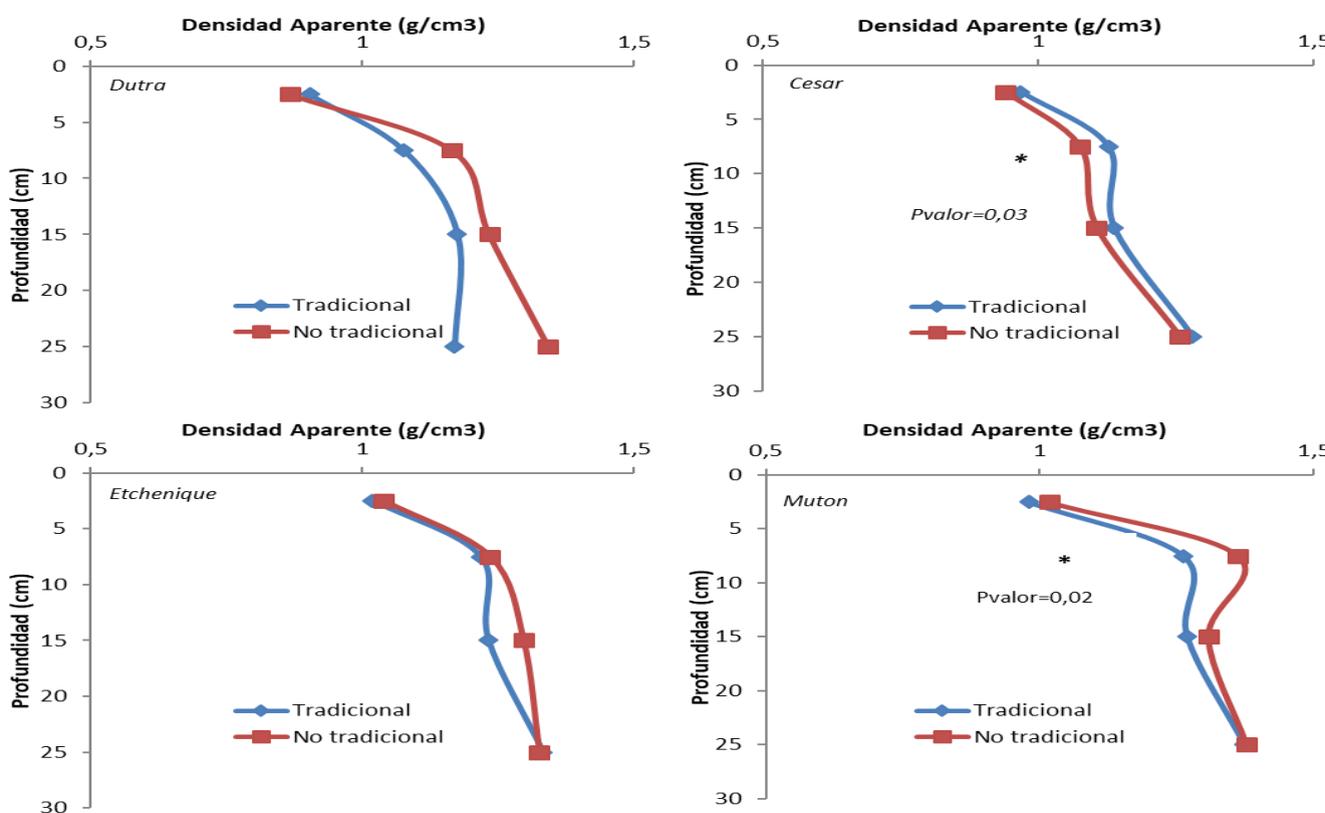


Figura 2. Densidad aparente promedio ($g.cm^{-3}$) bajo pastoreo Tradicional y No tradicional en función de la profundidad (cm). Las diferencias estadísticamente significativas se indican con * para $p < 0.05$ y con † para aquellas marginalmente significativas $p < 0.1$ (prueba de t-pareada) en los distintos tratamientos.

3.2.1 Cambios en el Nan debidos al reemplazo de pastoreos tradicionales por no tradicionales.

La implementación de pastoreo no tradicional tuvo resultados diferentes en el Nan entre los establecimientos analizados, también con escasas diferencias significativas en la mayoría de los casos. En 2 de 4 establecimientos los valores de Nan-MAOM fueron en promedio mayores para el para pastoreo no tradicional, en cambio para la fracción Nan-POM, solo 1 de los 4 establecimientos evaluados tuvo en promedio valores más elevados de Nan. En todos los establecimientos los cambios de Nan-POM y Nan-MAOM fueron similares entre tratamientos y en profundidad, excepto en el establecimiento de Dutra que fueron opuestos. En este establecimiento los valores de NAN-Maom fueron un 28% mayores bajo pastoreo no tradicional (no tradicional = 110 ± 44 ; Tradicional = 86 ± 32 mg de N por kg de suelo; $p < 0.09$), pero los valores de Nan-POM fueron un 25 % menores (No Tradicional: 32 y Tradicional = 43 mg de N por kg de suelo) sin diferencias significativas (Figura 3). Estos resultados fueron similares al expresarlos en Kg de N por ha (Figura 4). Los valores de Nan en Kg de N por ha mostraron que los pastizales naturales evaluados son capaces de aportar altas cantidades de N, entre 350 y casi 900 kg de N por ha de Nan entre ambas fracciones (POM + MAOM). Cuando se Analizó Nan TOTAL (Nan de POM+ Nan de MAOM) hubo diferencias estadísticamente significativas para el establecimiento Dutra en el estrato 0-5 con un 12% más para pastoreo No tradicional y Cesar-Cedrés una disminución del 15% en el estrato 5-10 bajo pastoreo No tradicional (Anexo; figura 3)

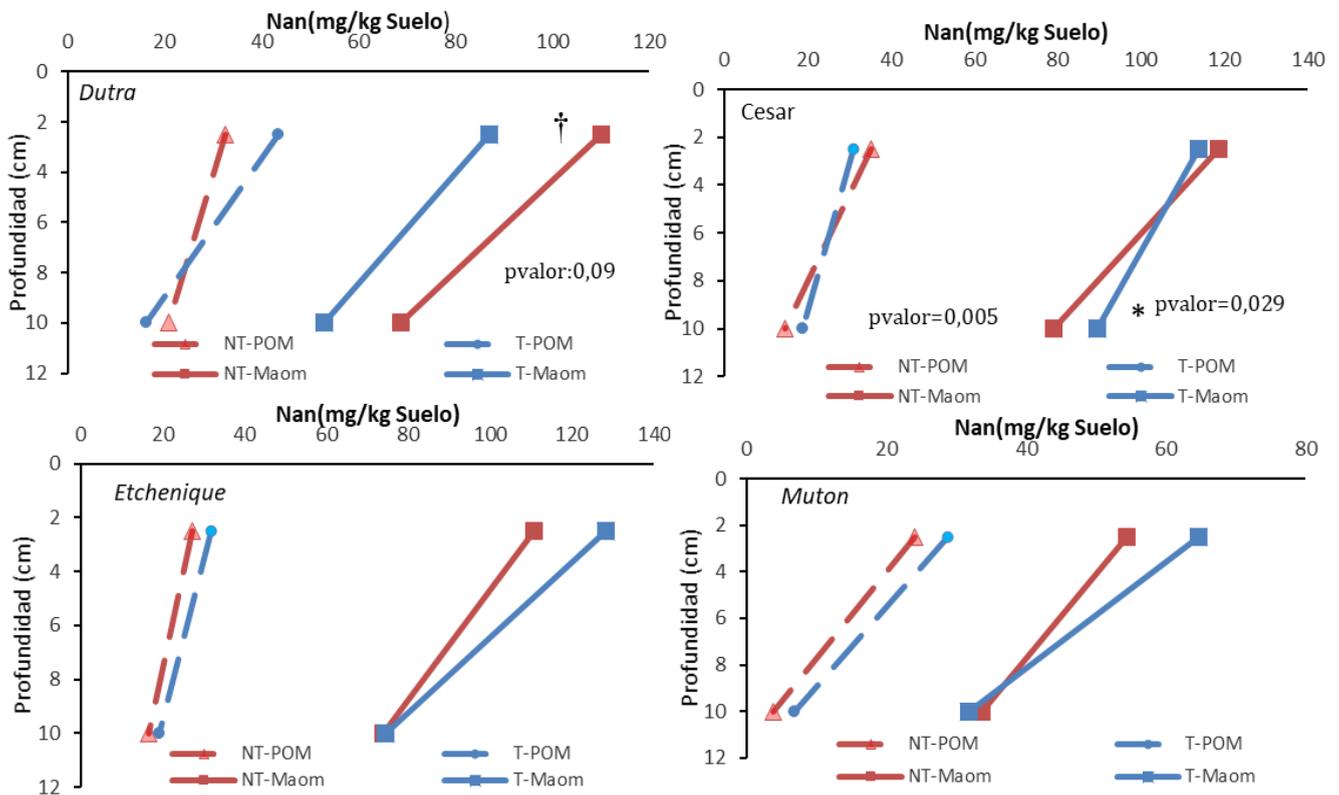


Figura 3: Valores de nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) en la fracción de materia orgánica particulada (POM) y en la materia orgánica asociada a los minerales del suelo (MAOM), para los establecimientos a) Dutra b) Cesar-Cedres c) Etchenique y d) Muton, para las profundidades 0-5 cm, y 5-10 cm. Los datos están en mg de N por kg de suelo. Las diferencias s diferentes entre valores de Nan de una misma fracción indican diferencias significativas ($p < 0,05$) y con † para aquellas marginalmente significativas y †= $p < 0,1$ (prueba de t-pareada) en los distintos tratamientos.

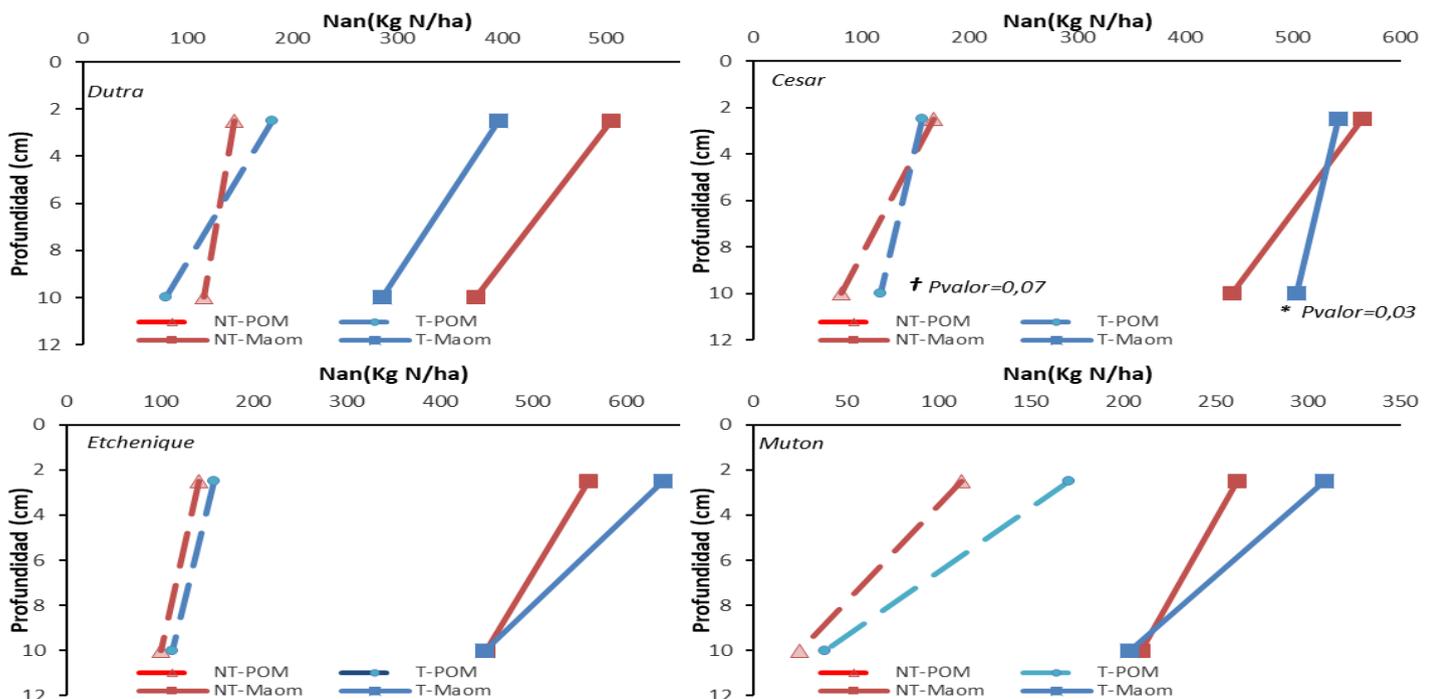


Figura 4: Valores de nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) en Kg/ha en la fracción de materia orgánica particulada (POM) y en la materia orgánica asociada a los minerales del suelo (MAOM), para los establecimientos a) Dutra b) Cesar/Cedres c) Etchenique d) Muton, para las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm. Los datos están en kg de N por ha por profundidad. Las diferencias significativas entre valores de Nan entre tratamientos se indican con un * para diferencias significativas ($p < 0,05$) y con † para aquellas marginalmente significativas y †= $p < 0,1$ (prueba de t-pareada).

3.2.2 Cambios en profundidad y aportes relativos de Nan desde las distintas fracciones del suelo.

Los estratos superficiales del suelo aportaron más Nan que los estratos profundos y la fracción MAOM aportó mayores cantidades de N en incubación anaeróbica que la fracción POM, en todos los sitios e independientemente del manejo del pastoreo. La fracción Nan-MAOM en superficie fue un 25 % mayor, en promedio para todos los establecimientos, que los valores de 5 a 10 (Nan-MAOM 0-5 = 490 Kg/ha y Nan-MAOM 5-10 = 377 kg/ha) y la fracción Nan-POM mostró valores en promedio 44% mayores en el estrato superficial (Nan-POM 0-5 = 153 Kg N/ha y Nan-POM 5-10 = 87 kg N/ha) (Figura 4). Nuestros resultados muestran que la fracción MAOM realiza los mayores aportes de N en todo el perfil del suelo. Para el estrato 0-5 aportó el 76 % del Nan Total (Nan-POM + Nan-MAOM) en promedio para los 4 establecimientos (Nan-MAOM 0-5 = 490 Kg/ha; Nan-POM: 153 kg/ha ; NAN-TOTAL: 644 kg/ha y para el estrato 5-10 el aporte de la MAOM aumenta al 81% (Nan-MAOM 5-10 = 377 Kg/ha; Nan-POM: 87 kg/ha ; NAN-TOTAL: 464 kg/ha (Figura 4).

La proporción relativa de los aportes de N desde la Nan-POM y Nan-MAOM varió con la textura del suelo (Figura 5). En los suelos de bajo % de arena (suelos con mayor % de arcilla) la contribución de N por parte de la Nan-MAOM fue muy superior a la Nan-POM (hasta 5 veces mayor), pero a medida que aumentó el % de arena el aporte de NAN-MAOM disminuyó considerablemente, mientras que los valores de NAN-POM se mantuvieron relativamente constantes en todos los tipos de suelos (Figura 5). Por ello en los suelos más arenosos el aporte de N desde la Nan-MAOM fue solamente el doble que desde la Nan-POM. En ambas fracciones se observó un efecto de “dilución” frente a cambios en el tamaño relativo de las fracciones (POM y MAOM), en el que a mayores valores de la fracción POM o MAOM en el suelo, menores fueron los aportes

de Nan en términos de mg de N por kg de fracción (Figura 4, ANEXO.).

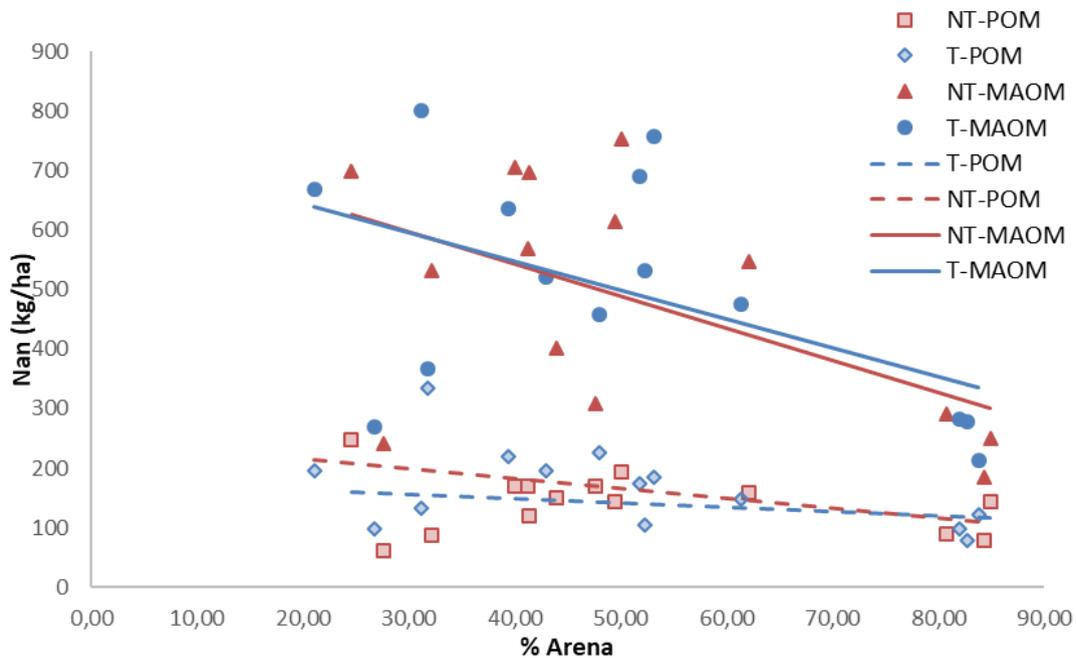


Figura 5: Valores de nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) y el % Arena en la fracción de materia orgánica particulada (Nan-POM) y en la materia orgánica asociada a los minerales del suelo (Nan-MAOM) para el estrato 0-5 cm. Los tonos rojos muestran lo sitios bajo pastoreo no tradicional y los colores azules bajo pastoreo tradicional. Cada punto representa un potrero muestreado y las líneas de regresión para cada tratamiento se muestran por separado para Nan-MAOM (líneas continuas) y para Nan-POM (líneas punteadas).

DISCUSIÓN

Las disminuciones en la DAP observadas en los potreros con pastoreos no tradicionales, encienden una luz de alerta para estos sistemas, ya que indica que podrían estar provocando una compactación del suelo. Estudios realizados en pastizales similares de la región (en de la pampa deprimida), que evaluaron el efecto de pastoreos rotativos, no encontraron cambios significativos en la densidad aparente del suelo (Rubio et al., 1990). Sin embargo, estos autores destacan que el tiempo de permanencia del ganado resulta un factor aún más importante que la carga instantánea. En la misma línea, Lazarri et al., 1988 señalan al tiempo de “ocupación” como el factor de mayor influencia sobre las variaciones en la densidad aparente del suelo, en pastizales de la Pampa Ondulada. En teoría durante los períodos de descanso

del pastoreo se dan condiciones que revierten una posible compactación ocurrida durante el pastoreo. Sin embargo, algunos autores (Warren et al., 1986) señalan que el pastoreo rotativo ocasiona efectivamente incrementos en la densidad aparente del suelo. Dado los resultados obtenidos en esta tesis no se puede aceptar la hipótesis de que el pastoreo no tradicional haya compactado los suelos evaluados (resultados principalmente no significativos, a pesar de la tendencia a compactarse observada en 3 establecimientos). Sin embargo, se debe realizar un seguimiento de estos factores físicos (Dap, porosidad total, wfp) que podrían demostrar una tendencia a agravarse en el tiempo en el caso de que no se regulen las cargas ganaderas o el tiempo de permanencia adecuado en los potreros.

Nuestros resultados sugieren que no existen grandes diferencias en el Nan de ambas fracciones entre los pastoreos tradicionales y no tradicionales (rechazamos la hipótesis 2). Sin embargo, es de destacar que para esta tesis se realizaron mediciones en sistemas reales de producción, y por lo tanto no se controlan todos los factores actuantes, pero los resultados obtenidos representan de una mejor manera las condiciones reales en donde estos tratamientos de pastoreo son aplicados. Sin embargo, si analizamos en detalle la fracción Nan-POM en los primeros 5 cm del suelo, altamente sensible a cambios en el manejo y, por lo tanto, útil para la detección temprana de cambios en el suelo (Fabrizzi et al., 2003), se observa una leve tendencia a menores niveles de Nan en suelos con pastoreo no tradicional (3 de los 4 sitios). Estos resultados podrían indicar posibles efectos perjudiciales del pastoreo, tal vez aumentando las pérdidas de N del sistema. Si bien Doran & Parkin (1996) establecen que el Nan es un indicador que correlaciona bien con los procesos edáficos, Videla et al., (2005) sugiere que, para profundizar en el conocimiento del proceso de mineralización de nitrógeno, cómo ocurre y que factores ambientales, biológicos o de manejo lo afectan, podría ser necesario contar con métodos analíticos de mayor sensibilidad.

Si bien no encontramos diferencias significativas entre sistemas de pastoreo, al igual que en otros trabajos de la región, esta tesis representa la primera medición de Nan realizada en distintas fracciones de la MOS en pastizales naturales. Recientemente Emir Talab en su tesis de grado (2018), realizó determinaciones de Nan en POM y

MAOM para suelos localizados en el bosque nativo del Chaco seco. Este trabajo representa el primer trabajo reportado en donde se evalúan por separado el Nan de ambas fracciones. En su trabajo, Talab encontró diferencias significativas en el Nan de ambas fracciones luego de un cambio de uso del suelo, desde Bosque nativo a cultivos o pastura. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre cultivos anuales y pastura perennes. Diovisalvi et., al 2008, compararon Nan total entre siembra directa y labranza convencional al igual que Videla et., al 2005, reportando valores similares entre tratamientos y diferencias no significativas en suelos de Balcarce. Finalmente, Fabrizzi *et al.*, (2003) reporto valores de Nan total en pastizales del sur de la provincia de Buenos Aires, similares a los estimados en esta tesis.

Contrariamente a lo esperado, los resultados de esta tesis sugieren que los mayores aportes de N mineral para las plantas no provienen de la descomposición de la POM, sino que son aportados por la MAOM. Talab encontró en su tesis que, bajo condiciones prístinas de bosque nativo, los valores de Nan-POM y Nan-MAOM fueron muy similares. Sin embargo, bajo pasturas o agricultura la fracción MAOM fue la que realizó los mayores aportes de N (Nan-MAOM mayor a Nan-POM). Si bien diversos trabajos sugieren que la fracción POM es la más activa y de mayor ciclada, y por lo tanto podría realizar mayores aportes de N mineral para los vegetales, trabajos recientes señalan que la fracción MAOM es muy activa cuando los niveles de materia orgánica del suelo son altos (Cotrufo et., al 2019; Lavallee et., al 2019). En esta fracción la materia orgánica es retenida físicamente a las arcillas y limos. Por lo tanto, si todas las arcillas se encuentran unidas a materia orgánica, el suelo pueda estar saturado y no almacenar más materia orgánica en esta fracción (Schmit et., al 2011). Cuando el suelo se encuentra saturado o próximo a saturarse, es probable que esta fracción realice intercambios importantes de N con el medio, es decir con un alto ciclada (una alta descomposición y una alta formación de materia orgánica nueva) (Six et., al 2002). Estas hipótesis podrían explicar los altos valores de Nan-MAOM registrados en pastizales con bajos contenidos de arena, por lo que concluimos en rechazar la hipótesis 3.

El pastoreo no tradicional representa una práctica ampliamente difundida y defendida por aquellos productores ganaderos que la llevan a cabo. Diversos experimentos

parcelarios muestran tanto beneficios como perjuicios ocasionados por el manejo con descansos del pastoreo, en comparación con el pastoreo continuo (Briske et., al 2008). En general, los resultados por parte de los productores se ven reflejados en una mejor organización, menores horas de trabajo y en mayores rendimientos de sus índices tanto productivos como económicos (Briske et., al 2008). Sin embargo, son pocas las evaluaciones de los impactos biofísicos de los sistemas de pastoreo realizados directamente en sistemas productivos. Los resultados obtenidos en sistemas reales de producción pueden diferir de los resultados de experimentos parcelarios. Ambos tipos de evaluaciones deben ser complementadas para mejorar nuestra comprensión de los sistemas y la aplicabilidad de los resultados obtenidos. Es importante además realizar evaluaciones de los cambios ocurridos en distintas variables del ecosistema. En ese sentido, sería importante complementar los resultados de esta tesis con determinaciones de las reservas de C y N en la MOS, así como también estimaciones de la productividad primaria mediante el NDVI (imágenes satelitales), lo cual mejorará nuestra comprensión de los sistemas reales de producción y ayudará a realizar un diagnóstico completo de los cambios en el ecosistema.

CONCLUSIÓN

Los resultados expuestos en esta tesis de grado aportan información valiosa para la comprensión de los ciclos biogeoquímicos del N en ganadería sobre pastizales naturales en la región del Río de la Plata. La implementación de pastoreos no tradicionales en establecimientos ganaderos familiares comerciales mostró una tendencia a compactar el suelo principalmente en los estratos más profundos (3 de los 4 establecimientos), aunque estas diferencias no fueron significativas en la mayoría de los casos. No se encontraron diferencias claras en el Nan entre los dos sistemas de pastoreo. En 2 de los 4 establecimientos evaluados los valores de Nan-MAOM fueron mayores para el pastoreo no tradicional, en cambio para la fracción Nan-POM, solo 1 de los 4 establecimientos evaluados mostró valores mayores. Los estratos superficiales del suelo aportaron más Nan que los estratos profundos y la fracción MAOM aportó mayores cantidades de N en incubación anaeróbica que la fracción POM, en todos los sitios e independientemente del sistema de pastoreo. En esta tesis se evaluaron por

primera vez, en la región y en el mundo, los aportes de N mediante el Nan de la fracción POM y MAOM por separado en pastizales naturales. Esta tesis contribuyó a evaluar en condiciones reales de producción los efectos de sistemas de manejos no tradicionales del pastoreo (pastoreos con descansos) en comparación con manejos tradicionales (pastoreo continuo).

BIBLIOGRAFIA

1. Agostini, M.A., Studdert, G.A., Domínguez, G.F. (2012). Relación entre el cambio en el diámetro medio de agregados y el carbono orgánico y sus fracciones. Actas "XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo". 16 a 20 de abril de 2012. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. En CD. Álvarez
2. Allard V., Newton P., Lieffering M., Clark H., Matthew C., Soussana J. & Gray M. (2003). Nitrogen cycling in grazed pastures at elevated CO₂: N returns by ruminants. *Global Change Biol.*, 9, 1731 – 1742, doi:10.1111/j.1365-2486.2003.00711.x
3. Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay: Clasificación de Suelos. *Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.*
4. Altesor, A., Oesterheld, M., Leoni, E., Lezama, F. & Rodríguez, C. (2005). Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179: 83–91
5. Altesor, A. I., Piñeiro, G., Lezama, F., Jackson, R.D., Sarasola, M y Paruelo J. (2006). Ecosystem changes associated with grazing removal in sub-humid grasslands of South America. *Journal of Vegetation Science* 17:323-332.
6. Altesor, A., Lezama F., Piñeiro G., Leoni E., Rodríguez C., Paruelo J. & Baeza (2007) El efecto del pastoreo sobre la estructura y el funcionamiento de las praderas naturales uruguayas: ¿Qué sabemos y cómo podemos usar ese conocimiento para manejarlas mejor?. Serie Técnica INIA v. 151, p. 21-32.
7. Amundson, R. (2001). The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29(1), 535-562.
8. Briske, D. D., Derner, J. D., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., Teague, W. R., Havstad, K. M., ... & Willms, W. D. (2008). Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology & Management*, 61(1), 3-17.
9. Cambardella, C.A., Elliott, E.T. (1992). Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Science Society of America Journal*. 56, 777-783.
10. Conant, R. T., Six, J., & Paustian, K. (2003). Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. I. Management-intensive versus extensive grazing.

Biology and Fertility of Soils, 38(6), 386-392.

11. Conant, R. T., K. Paustian, S. J. Del Grosso, and W. J. Parton (2005), Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 71, 239–248,oi:10.1007/s10705-004-5085-z.
12. Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., & Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 1-6
13. Chappell, A., Sanderman, J., Thomas, M., Read, A., & Leslie, C. (2012). The dynamics of soil redistribution and the implications for soil organic carbon accounting in agricultural south-eastern Australia. *Global Change Biology*, 18(6), 2081-2088.
14. Davidson, E. A., & Ackerman, I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20(3), 161-193..
15. Domínguez, G.F., Andersen, A.; Studdert, G.A. (2008). Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. 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.
16. Doran, JW & TB Parkin. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. Pp. 25-37 en: JW Doran & AJ Jones (eds) *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, EEUU.
17. Dorrough, J., Yen, A., Turner, V., Clark, S. G., Crosthwaite, J., & Hirth, J. R. (2004). Livestock grazing management and biodiversity conservation in Australian temperate grassy landscapes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(3), 279-295.
18. Earl, J. M., & Jones, C. E. (1996). The need for a new approach to grazing management-is cell grazing the answer?. *The Rangeland Journal*, 18(2), 327-350.
19. Echeverría, H., San Martín, NF & Bergonzi R. (2000). Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo* 18:9-16.
20. Fabrizzi, K.P., Morón, A., García, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(6):1831–1841.
21. Ferrary Laguzzy, F., Osinaga, R., Arzeno, J.L., Becker, A.R., Rodríguez, T. (2014). Fraccionamiento y mineralización de la materia orgánica en distintos sistemas de labranza en un inceptisol de Salta. *Ciencia del Suelo* 32, 63–72.

22. Fontaine, S., Mariotti, A., & Abbadie, L. (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition?. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 837-843
23. Frank, D. A. & Evans, R. D. (1997). Effects of native grazers on grassland N cycling in Yellowstone National Park. *Ecology* 78:2238-2248
24. Kemp, D. R., Michalk, D. L., & Virgona, J. M. (2000). Towards more sustainable pastures: lessons learnt. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(2), 343-356.
25. Lavallee, J. M., Soong, J. L., & Cotrufo, M. F. (2019). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global change biology*.
26. Lazzarri, J.C., 1(982). Influencia de distintos tipos de pastoreo sobre algunas propiedades físicas del suelo. Trabajo de intensificación. Fac agronomía (UBA)
27. Leigh, J. H., & Holgate, M. D. (1978). Effects of pasture availability on the composition and quality of the diet selected by sheep grazing native, degenerate and improved pastures in the Upper Shoalhaven Valley, New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 18(92), 381-390.
28. Lodge, G. M., & Fitzgerald, R. D. (Eds.). (1997). *Grazing management of temperate pastures: literature reviews and grazing guidelines for major species*. NSW Agriculture.
29. Lodge, G. M., & Whalley, R. D. B. (1985). The manipulation of species composition of natural pastures by grazing management on the northern slopes of New South Wales. *The Rangeland Journal*, 7(1), 6-16.
30. Keeney, D.R., Nelson, D.W. (1982). Nitrogen—Inorganic Forms 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), 643-698.
31. Kahn, L. P., Earl, J. M., & Nicholls, M. (2010). Herbage mass thresholds rather than plant phenology are a more useful cue for grazing management decisions in the mid-north region of South Australia. *The Rangeland Journal*, 32(4), 379-388.
32. Mikola, J., Seala H., Virkajarvi P., Saarijarvi K., Ilmarienen K. & Voigt W. (2009). Defoliation and patchy nutrient return drive grazing effects on plant and soil properties in a dairy cow pasture. *Ecological Monographs*. 79 (2): 221-224

33. Rubio, G., & Lavado, R. S. (1990). Efectos de alternativas de manejo pastoril sobre la densidad aparente de un Natracuulf. *Ciencia del suelo*, 8(1), 79-82.
34. Ota M, Nagai H. & Koarashi J. (2013). Root and dissolved organic carbon controls on subsurface soil carbon dynamics: A model approach
35. Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Baldi, G. & Baeza, S. (2006) Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*. Vol. X N° 2 pp. 47 – 61
36. Perelman, S. B., León, R. J. C., & Oesterheld, M. (2001). *Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands*. *Journal of Ecology*, 89(4), 562-577.
37. Powlson, D.S., Gregory, P.J., Whalley, W.R., Quinton, J.N., Hopkins, D.W.; Whitmore, A.P., Hirsch, P.R., Goulding, K.W.T. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy* 36:S72-S87.
38. Piñeiro, G., J. M. Paruelo, E. G. Jobbágy, R. B. Jackson, y M. Oesterheld. (2009). Grazing effects on belowground C and N stocks along a network of cattle exclosures in temperate and subtropical grasslands of South America, *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB2003, doi:10.1029/2007GB003168.
39. 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(7), 1267–1284. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01173.x
40. Teague, W. R., & Dowhower, S. L. (2003). Patch dynamics under rotational and continuous grazing management in large, heterogeneous paddocks. *Journal of Arid Environments*, 53(2), 211-229.
41. Teague, W. R., Dowhower, S. L., & Waggoner, J. A. (2004). Drought and grazing patch dynamics under different grazing management. *Journal of Arid Environments*, 58(1), 97-117.
42. Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., & Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(3-4), 310-322.
43. Teague, R., Provenza, F., Kreuter, U., Steffens, T., & Barnes, M. (2013). Multi-paddock grazing on rangelands: why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience?. *Journal of Environmental management*, 128, 699-717.
44. Sanford, P., Cullen, B. R., Dowling, P. M., Chapman, D. F., Garden, D. L., Lodge, G. M., ... & Johnston, W. H. (2003). SGS Pasture Theme: effect of climate, soil factors and management on pasture production and stability across the high rainfall zone of

- southern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(8), 945-959.
45. Sanjari, G., Yu, B., Ghadiri, H., Ciesiolka, C. A., & Rose, C. W. (2010). Effects of time-controlled grazing on runoff and sediment loss. *Soil Research*, 47(8), 796-808.
 46. Schlesinger, W. H. (1991), *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*, 2nd ed., Academic, San Diego, Calif.
 47. Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., & Janssens, I. A. (2011). a, Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J. *Manning, D. a C., Nannipieri, P., Rasse, DP, Weiner, S. and Trumbore, SE: Persistence of soil organic matter as an ecosystem property., Nature*, 478(7367), 49-56.
 48. Senra, A., Ugarte, P. (1983). *Sistemas de Producción de Leche*. En: *Los Pastos en Cuba*. Tomo II: Utilización. EDICA, La Habana. p. 331-429.
 49. Six, J., Conant, R.T., Paul, E. a, Paustian, K., (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturatin of soils. *Plant Soil* 241, 155–176.
 50. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S.; Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31.
 51. Six, J., Elliott, E.T., Paustian, Y.K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32(14):2099-2103.
 52. Soriano, A., León, R. J. C., Sala, O. E., Lavado, R. S., Deregibus, V. A., Cauhépé, M. A., ... & Lemcoff, J. H. (1991). Río de la Plata Grasslands. In 'Ecosystems of the world 8A. Natural grasslands. Introduction and Western Hemisphere'. (Ed. RT Coupland) pp. 367–407.
 53. Solomon, D., Fritzsche, F., Lehmann, J., Tekalign, M., & Zech, W. (2002). Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 969-978.
 54. Studdert, G.A. (2014). *Materia orgánica y sus fracciones como indicadores de uso sustentable de suelos del Sudeste Bonaerense*. In XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmicas, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina (pp. 5-9).
 55. Videla, C., Pazos, A., Trivelin, P. C., Echeverría, H. E., & Studdert, G. A. (2005). Mineralización bruta de nitrógeno bajo labranza convencional, siembra directa y pastura. *Ciencia del suelo*, 23(2), 1850-2067.

56. Wander, M. (2004). Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. Pp. 67-102. In: K Magdoff & RR Weil (eds.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, EEUU.
57. Waring, S.A., Bremner, J.M. (1964). Ammonium production in soil under waterlogged condition as an index of nitrogen availability. *Nature* 201: 951-952.
58. Warren, S. D., Nevill, M. B., Blackburn, W. H., & Garza, N. E. (1986). Soil Response to Trampling Under Intensive Rotation Grazing 1. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1336-1341.
59. Watts, C., Clark, L., Poulton, P., Powelson, D.; Whitmore, A. (2006). The role of clay, organic C and long-term management on mouldboard plough draught measured on the Broadbalk wheat experiment at Rothamsted. *Soil Use and Management*, 22, 334–341.

ANEXO

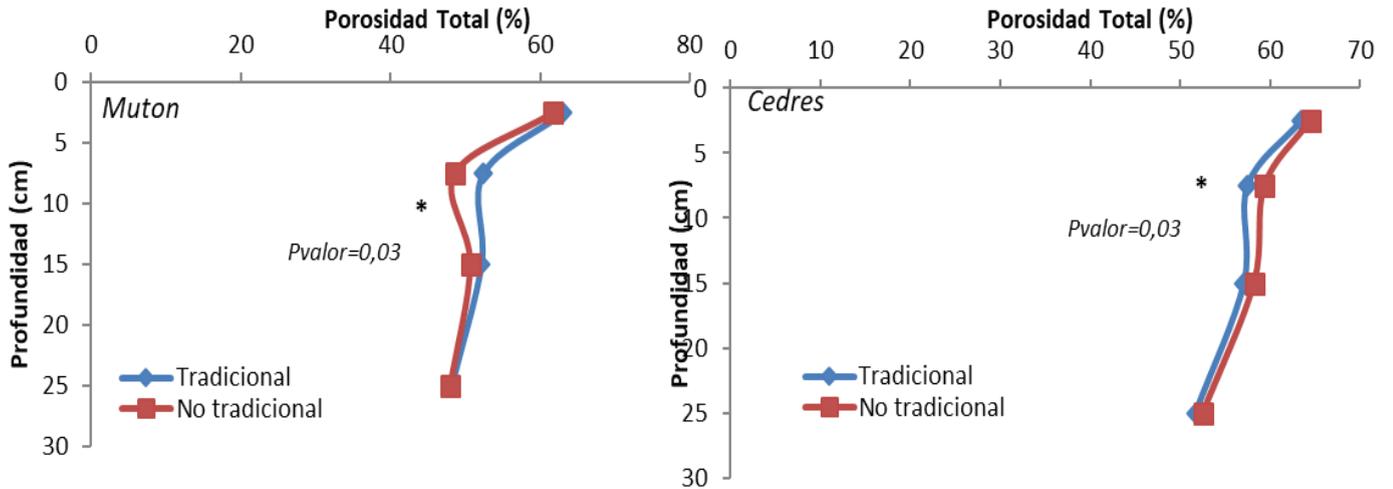


Figura 1. Porosidad total (%) bajo pastoreo Tradicional y No tradicional en función de las profundidades (cm). Las diferencias estadísticamente significativas se indican con * para $p < 0.05$ y con † para aquellas marginalmente significativas $p < 0.1$ (prueba de t-pareada) en los distintos tratamientos.

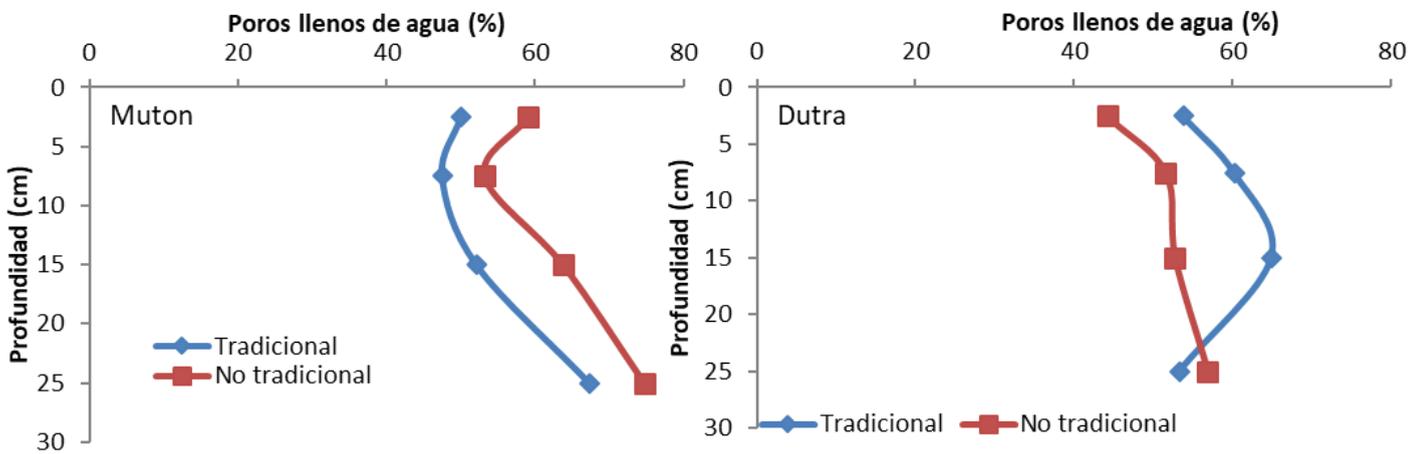


Figura 2. Poros llenos de agua (%) bajo pastoreo Tradicional y No tradicional en función de la profundidad (cm). Para los establecimientos Muton y Dutra

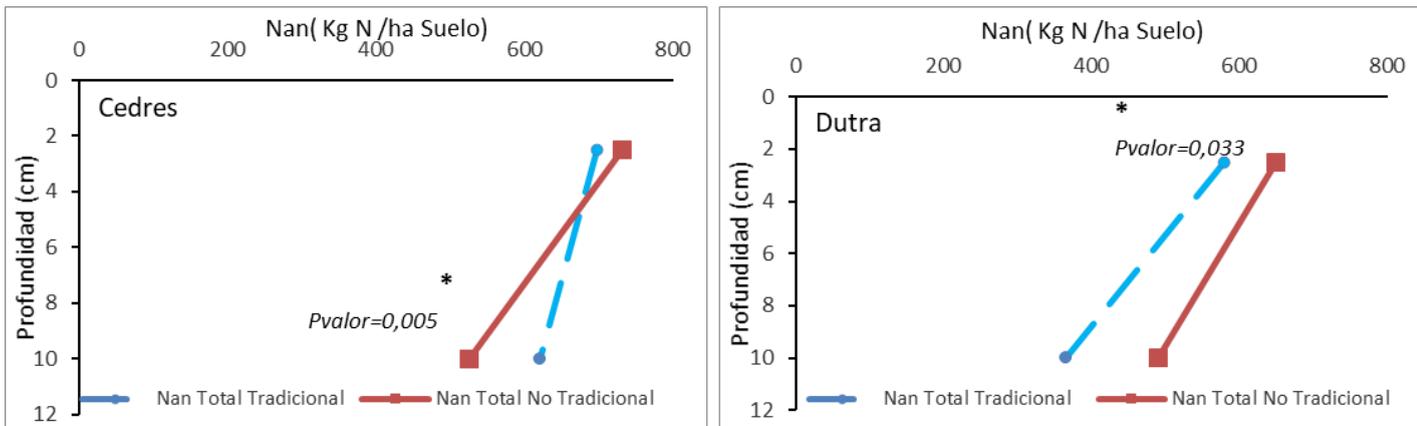


Figura 3 : Valores de nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) en Kg/ha expresado como NAN TOTAL (NAN-POM+NAN-MAOM) para los establecimientos Cesar-Cedres y Dutra , para las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm. Los datos están en kg de N por ha por profundidad. Las diferencias significativas entre valores de Nan entre tratamientos se indican con un * para diferencias significativas ($p < 0,05$) y con † para aquellas marginalmente significativas y $\ddagger = p < 0,1$ (prueba de t-pareada).

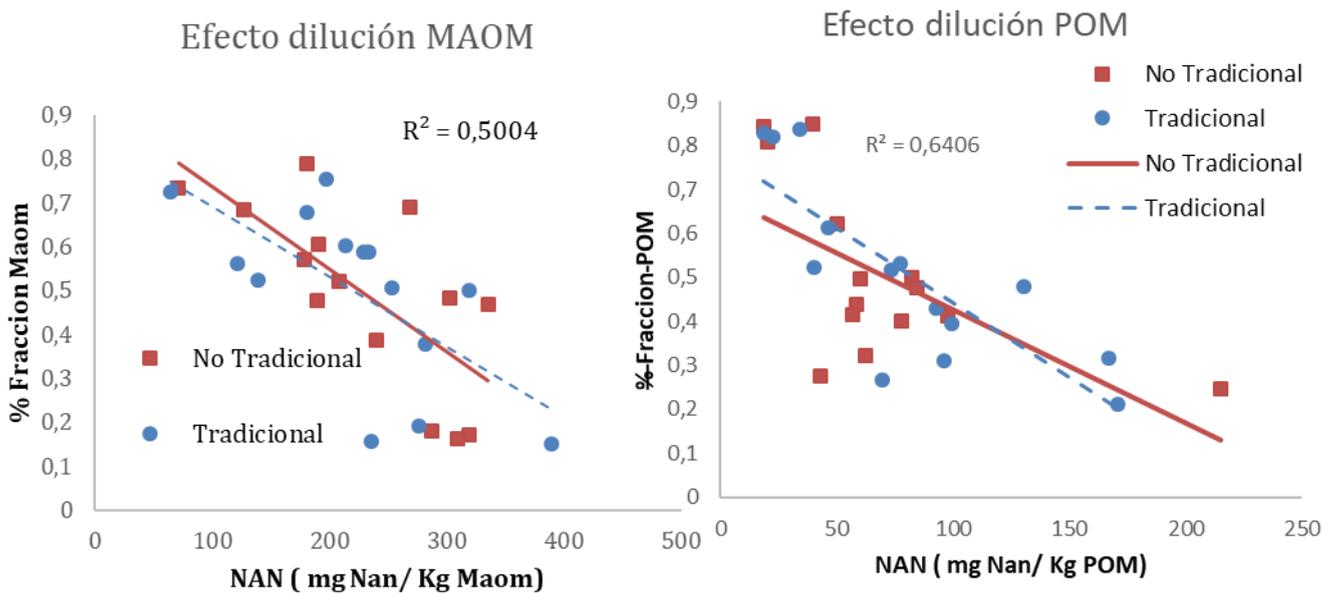


Figura 4 : Valores de nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) en mg N/ Kg Fracción ,la fracción de materia orgánica particulada (POM) a la izquierda y en la materia orgánica asociada a los minerales del suelo (MAOM), para todos los establecimientos..

