



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

**Trabajo final de tesina para optar por el título de
Ingeniero Agrónomo**

**Efectos del cambio de uso del suelo sobre las fracciones
de la materia orgánica en suelos del Departamento
Ituzaingó (Corrientes)**

Alumno: Mentasti, Mario Augusto

Directora: (Dra.) Ing. Agr. Toledo, Diana Marcela

Lugar de trabajo: Cátedra de Edafología. Departamento de Suelo y Agua. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.

2023



Tabla de contenido

Resumen	3
Introducción	4
Objetivos.....	5
Antecedentes.....	5
Materiales y métodos.....	7
Resultados y discusión	9
Conclusiones	12
Tablas y Figuras	13
Bibliografía.....	17



Resumen

La materia orgánica del suelo (MO) está compuesta por fracciones de diferente labilidad: una fracción lábil, constituida por restos vegetales, animales, y hongos en distintos grados de descomposición y un tamaño de partícula entre 0,053 mm y 2 mm y una fracción estable asociada a la fracción mineral o humus del suelo (<0,053 mm). Es una de las propiedades edáficas más importantes ya que constituye la principal fuente de nutrientes, contribuye a la estabilidad de la estructura, favorece la infiltración del agua, contribuye a la capacidad buffer o tampón, a la capacidad de intercambio catiónico, a la capacidad de biofiltro de contaminantes, siendo considerada un indicador universal de la calidad de suelo. La materia orgánica y sus fracciones presentan diferente grado de sensibilidad a los cambios producidos por las prácticas agronómicas, los sistemas de cultivo y el cambio en el uso de las tierras. El objetivo del trabajo fue cuantificar y evaluar el impacto del reemplazo de los pastizales naturales por una especie forestal exótica (*Pinus* sp.) sobre las fracciones de la materia orgánica en suelos del Departamento Ituzaingó. Se aplicó un diseño de muestreo completamente al azar, con dos tratamientos: pastizal (M) y forestación de *Pinus* sp. de 15 a 17 años (Pi). Los suelos bajo pastizal natural, se tomaron como referencia de las condiciones preexistentes a la forestación. Se seleccionaron 3 lotes por cada tratamiento, con 5 sitios de muestreo. En cada sitio se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m y de 0,30-1 m. En el caso del tratamiento Pi, en cada sitio se tomaron también muestras de 0 a 0,10 m de profundidad en cada punto cardinal alrededor del árbol, a los efectos de tener información adicional de si existe o no una variación espacial de la materia orgánica. Las muestras fueron molidas y tamizadas por malla de 2 mm. Se determinaron las variables: carbono orgánico total (COT), nitrógeno orgánico total (NOT), y se realizó un fraccionamiento físico de la materia orgánica obteniendo dos fracciones, una particulada gruesa (g) y una particulada fina (f) y por diferencia respecto a COT y NOT se obtuvieron el carbono y el nitrógeno asociados a la fracción mineral (COAM y NOAM respectivamente). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba LSD ($P<0,05$). Los mayores valores de COT y NOT correspondieron al sistema de pastizal, con diferencias significativas en todas las profundidades excepto de 0,20-0,30m. El COPf y el NOPf fueron sensibles para distinguir entre usos, en las 2 primeras profundidades evaluadas ($P>0,05$). En cuanto a la distribución espacial de las fracciones orgánicas bajo Pi, en la fracción particulada gruesa el COPg y el NOPg no presentaron



diferencias significativas entre puntos cardinales, en tanto que en la fina el COPf y el NOPf resultaron mayores en el Oeste, con diferencias significativas. Referente al COAM, en todos los casos, constituyó más del 80 % del COT del suelo. Las pérdidas de carbono y nitrógeno en el total del suelo debido al reemplazo del pastizal por forestaciones de *Pinus* sp., fueron del orden del 11 % y 33 % respectivamente, al considerar 1 m de profundidad. Considerando el carbono y el nitrógeno de las fracciones de la materia orgánica, resultaron indicadores sensibles al cambio de uso el carbono y el nitrógeno orgánico particulados (COP y NOP) y el nitrógeno asociado a la fracción mineral (NOAM). Los resultados indican que el reemplazo de los pastizales por forestación con *Pinus* sp. impactaron en el equilibrio natural y produjeron una pérdida de calidad de suelo.

Introducción

La provincia de Corrientes cuenta con 516.771 ha de plantaciones forestales, donde 352.171 ha corresponden al género *Pinus*, 161.972 ha a *Eucalyptus* y 2.567 ha a otras especies según datos del 2019 (Baruzzo, *et al.*, 2020).

El Departamento de Ituzaingó de la provincia de Corrientes, se encuentra ubicado en la región nordeste del país, en las coordenadas 27°36'00"Sur 56°40'00"Oeste.

En las últimas dos décadas, en el norte de la provincia de Corrientes, se produjo un considerable avance de las forestaciones mayoritariamente a partir del reemplazo de pastizales naturales (Acosta *et al.*, 2022).

El cambio en el uso de la tierra, de áreas sin disturbar a suelos antrópicos como bosques implantados puede afectar las propiedades del suelo relacionadas con su funcionalidad y productividad, provocando alteraciones en los suelos e impactando en su calidad (CS). La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo ha adoptado un concepto holístico de la CS (Toledo *et al.*, 2018), considerándola como la capacidad del mismo para funcionar dentro de ciertos límites naturales y antrópicos del ecosistema, sustentar la productividad vegetal y animal, mantener la calidad del agua y del aire, promover la salud de plantas, de animales y del hombre, y soportar su habitabilidad (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997; De la Rosa, 2005).



En Corrientes un gran número de hectáreas con vegetación natural han sido reemplazadas por forestaciones con especies exóticas, principalmente *Pinus* sp. y *Eucalyptus* sp. Estos cambios de uso en el suelo producidos en la provincia, generan la necesidad de investigar acerca del efecto sobre la calidad de los suelos, cuantificar el impacto sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica, y sobre atributos físicos como la densidad aparente y la agregación de suelo ya que puede provocar alteraciones en la calidad y funcionamiento del mismo.

Objetivos

Cuantificar y evaluar el impacto del reemplazo de los pastizales naturales por una especie forestal exótica (*Pinus* sp.) sobre las fracciones de la materia orgánica en suelos del Departamento Ituzaingó.

Antecedentes

En la provincia de Corrientes hubo un gran aumento de la cobertura forestal en los últimos años (120 a 500 mil hectáreas), disminuyendo las áreas ocupadas por vegetación natural, y la cantidad y diversidad de especies principalmente en la ecorregión “Campos y malezales”. Los cambios en el uso de las tierras, producen diversos efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y resulta de gran importancia detectarlos y cuantificarlos a la hora de realizar diagnósticos y desarrollar planes y estrategias (Toledo, 2014).

Con el fin de promover una agricultura sustentable, es importante desarrollar indicadores que reflejen tempranamente los cambios a los que son sometidos los ecosistemas a través de las prácticas de manejo y sistemas de cultivos (Acosta *et al.*, 2021).

Dentro de los atributos de suelo más importantes a monitorear a la hora de evaluar cambios por efecto del uso de las tierras, la materia orgánica (MO) es un componente clave del sistema, dada su influencia sobre las propiedades biológicas, físicas y químicas que definen la productividad, la calidad y salud del suelo. Por ello es considerada un indicador universal, siendo uno de los componentes del suelo que resulta más sensible a los cambios en las prácticas de manejo y sistemas de cultivo (Toledo, 2014). La caída del contenido de MO de



un suelo significa la reducción de su fertilidad, de su resistencia a la erosión, de su capacidad de infiltración y de su almacenaje de agua, de su habilidad para actuar como biofiltro y/o promover la degradación de sustancias tóxicas (Allmaras *et al.*, 2000).

La MO está compuesta por fracciones de diferente labilidad. La fracción lábil es fuente de nutrientes para las plantas y los microorganismos, siendo la que más contribuye al mantenimiento de la estabilidad de la estructura, la infiltración de agua, la resistencia a la erosión y la facilidad de laboreo de los suelos (Stevenson y Cole, 1999). Las fracciones más lábiles, en general, son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo de suelo y sistemas de cultivo (Carter, 2002).

La fracción lábil de la MO está constituida por restos vegetales, animales, y hongos en distintos grados de descomposición y un tamaño de partícula entre 53 μ m y 2000 μ m. Esta fracción que presenta un rápido reciclamiento es la llamada materia orgánica particulada (MOP) y puede ser fraccionada físicamente por tamizado (Cambardella y Elliott, 1992). El seguimiento de la variación del contenido de MOP puede dar indicios tempranos de los efectos producidos por las prácticas de manejo (Carter, 2002; Álvarez y Álvarez, 2000; Fabrizzi *et al.*, 2003).

En el Noreste de la Provincia de Corrientes (Argentina), ubicados en áreas de escasa pendiente a planas, abundan suelos frágiles y susceptibles a la erosión hídrica, con vegetación natural del tipo pastizal (Escobar *et al.*, 1996). Ante el avance de la frontera agraria, en los últimos años, se ha incrementado el interés por estos ambientes debido a la posible pérdida de provisión de servicios ambientales, como biodiversidad, conservación de suelos y carbono, impacto en la calidad biológica del suelo, etc. (Pereira *et al.*, 2019).

La calidad de suelo (CS) se define como su capacidad para funcionar dentro de ciertos límites del ecosistema, sustentar la productividad biológica, mantener la calidad del agua y del aire, además de promover la salud de plantas, animales y humanos (Karlen *et al.*, 1997).

Para evaluar la CS, se pueden establecer índices y relaciones vinculados al carbono orgánico del suelo (COS), entre ellos la relación MOP/COT (Galantini *et al.*, 2004); el índice de estratificación del COS y el índice de estratificación del nitrógeno potencialmente mineralizable, NPM (Franzuebbers, 2002; Toledo *et al.*, 2013). La estratificación del COS es un índice utilizado para evaluar calidad de suelo o el funcionamiento del ecosistema suelo, considerando que la materia orgánica en superficie es esencial para el control de la erosión, favorece la infiltración y la conservación de nutrientes (Nieto *et al.*, 2012).



Toledo *et. al.*, (2018) seleccionaron indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas naturales y forestales de Misiones, indicando que los atributos MO, MOP, NT, NPM y Respiración de suelo (RES), y los índices funcionales NPM/RES y MOP/RES fueron sensibles a los cambios debidos al uso.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en Inceptisoles del Departamento de Ituzaingó, ubicado al NE de la provincia de Corrientes (fig. 1), y perteneciente a la región Paranaense, Distrito Fitogeográfico de los Campos y Malezales (Escobar *et al.*, 1996).

Se aplicó un diseño de muestreo completamente al azar, con dos tratamientos: Pastizal (M) y plantación de *Pinus* sp. de 15 a 17 años (Pi).

Suelos bajo pastizal natural (M) se tomaron como referencia de una alta calidad de suelo. Se seleccionaron 3 lotes por cada tratamiento, con 5 sitios de muestreo (en el caso de Pi, cada sitio correspondió a un árbol). En cada sitio se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m y de 0,30-1 m.

En el caso del tratamiento Pi, en cada sitio se tomaron también muestras de 0 a 0,10 m de profundidad en cada punto cardinal alrededor del árbol, a los efectos de tener información adicional de si existe o no una variación espacial de la materia orgánica.

Las muestras fueron molidas y tamizadas por malla de 2 mm (tamiz nº 10) obteniendo así la llamada comúnmente tierra fina.

Muestras de suelo:

Tratamiento M: 3 lotes x 5 sitios x 4 profundidades= 60 muestras.

Tratamiento Pi: 3 lotes x 5 sitios x 4 profundidades= 60 muestras (Sur).

Tratamiento Pi: 3 lotes x 5 sitios x 1 profundidad x 3 puntos cardinales (Norte, Este, Oeste) = 45 muestras.

Total de muestras de suelo analizadas:165.

Para caracterizar el suelo bajo estudio, la reacción y la textura del mismo, se utilizaron valores de pH en agua 1:2,5 y de textura (método de Bouyoucos) (Dewis y Freitas, 1970), que fueron obtenidos por integrantes de la Cátedra de Edafología.

En las muestras molidas y tamizadas arriba mencionadas se procedió a realizar un fraccionamiento físico de la materia orgánica, aplicando el método propuesto por



Cambardella *et al.* (1999), obteniéndose así dos fracciones: una particulada gruesa (2 a 0,5 mm) y una particulada fina (0,5 a 0,053 mm).

Detalle del procedimiento efectuado para el fraccionamiento de la MO (Cambardella et al., 1999): se pesó 30g de suelo, se dispersó con 90 ml de hexametafosfato de sodio (5g. L⁻¹) y se colocó en un aparato agitador mecánico durante 16 horas. Una vez finalizado el agitado se realizó el fraccionamiento de la muestra por medio de tamices números 35 (500 µm) y 270 (53 µm) ayudado con agua destilada para separar las fracciones, obteniendo la porción gruesa a y la porción fina b, se transfirieron a cápsulas de porcelana y se llevó a estufa a una temperatura de 55 °C, luego se retiró, y se pesó en balanza de precisión. Posteriormente en cada fracción se realizaron las mediciones de COP y NOP por combustión seca con Analizador de Carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008).

En el total del suelo (tierra fina) se determinaron:

Carbono orgánico total (COT): por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008).

Nitrógeno orgánico total (NOT): por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008).

Los suelos estudiados, no contienen carbono inorgánico, por lo que el carbono total y el nitrógeno total determinados con el LECO correspondieron a carbono y nitrógeno orgánicos.

En las fracciones de la materia orgánica particulada se determinaron:

Carbono orgánico particulado grueso (COPg) y nitrógeno orgánico particulado grueso (NOPg) en la fracción comprendida entre 2 y 0,5 mm (tamiz nº 35), por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008).

Carbono orgánico particulado fino (COPf) y nitrógeno orgánico particulado fino (NOPf) en la fracción de suelo comprendida 0,5 mm y 0,053 mm (tamiz nº 270), por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008).

Por cálculo se determinaron:

Carbono orgánico en la fracción particulada (COP) correspondiente a la fracción orgánica entre 2 y 0,053 mm, a partir de la fórmula:

$$COP = COPg + COPf$$



Nitrógeno orgánico en la fracción particulada (NOP) correspondiente a la fracción orgánica entre 2 y 0,053 mm, a partir de la fórmula:

$$NOP = NOPg + NOPf$$

Carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COAM), correspondiente a la fracción orgánica <0,053 mm, a partir de la fórmula:

$$COAM = COT - COP$$

Nitrógeno orgánico asociado a la fracción mineral (NOAM): la fracción orgánica <0,053 mm, se obtuvo por cálculo a partir de la fórmula:

$$NOAM = NOT - NOP$$

Análisis estadístico: Con los datos obtenidos para los distintos parámetros determinados se aplicó análisis de la variancia (ANOVA) y se efectuaron comparaciones de las medias entre tratamientos mediante prueba de LSD de Fisher ($P<0,05$). Para el procesamiento de datos se utilizó el software estadístico Infostat Profesional (Di Rienzo, 2020).

Resultados y discusión

Los suelos bajo estudio, presentaron textura franco arenosa a franco arcillo arenosa. La reacción de los mismos fue ácida, con los menores valores de pH para Pi y los mayores valores para M (5,17 a 5,33). Coincidente con lo encontrado por autores como Schlatter y Otero (1995) y Toledo et al. (2023) al comparar Oxisoles y Entisoles. La mayor acidez está asociada a las características propias de las acículas de pino, alto contenido de ligninas, ciclado lento y efecto ácido más pronunciado (Schlatter, 1987).

En la tabla 1 pueden observarse los resultados de carbono y nitrógeno en el total del suelo (COT y NOT), en las fracciones orgánicas particuladas (COP y NOP) y humificada o asociada a la fracción mineral (COAM y NOAM), obtenidos para los distintos sistemas y profundidades estudiadas.

Los suelos presentaron los mayores valores de COT bajo pastizal en todas las profundidades, con diferencias significativas en la primera y la última profundidad ($P<0,05$). Los mayores valores de NOT se presentaron bajo pastizal en todas las profundidades y con diferencias significativas ($P<0,05$), excepto en la profundidad de 0,20 a 0,30m. Los mayores valores encontrados se atribuyen a que en regiones subtropicales, los suelos bajo



vegetación prístina reciben un constante aporte de materia orgánica de la hojarasca y de la gran abundancia de raíces y raicillas (Dalurzo *et al.*, 2005), que se renuevan en el caso de los pastizales cada 24 a 48 horas de manera de alcanzarse porcentajes de renovación anual de raíces hasta un 50 % en especies pratenses típicas (Gonzales y Soto, 2005, citado por Cadena Carbo, 2019.)

Tanto en la situación M como Pi, los contenidos de NOT se encontraron dentro de valores de nitrógenos considerados como bien provistos, y fueron similares a los encontrados en otros suelos bajo sistemas naturales y cultivados en Argiudoles y Oxisoles (Duval, *et al.*, 2014; Acosta, *et al.*, 2017).

Las pérdidas de COT y NOT por el cambio de uso, fueron del orden del 11 % y del 33 % respectivamente, al considerar el espesor de 0 a 1 m de profundidad (tabla 1). Las pérdidas de COT por uso forestal produjeron una disminución en NOT por su estrecha relación entre la materia orgánica del suelo y los depósitos y flujos de nitrógeno edáfico, y a una mayor mineralización de la materia orgánica que se produce por el uso antrópico, debido a la remoción de suelo y posterior implantación de *Pinus* sp. El nitrógeno presente en el suelo, se encuentra estrechamente vinculado a la captación y almacenamiento del COS, por tal motivo es importante conocer como las reservas de nitrógeno (N) y los flujos se ven afectados por el cambio de uso de suelo (Zhao *et al.*, 2014). En general entre el 85 % y el 95 % del nitrógeno del suelo es orgánico y el 98 % del N total del suelo proviene de la materia orgánica (Fassbender, 1987).

En ambos tratamientos los mayores contenidos de COP y de NOP se presentaron en superficie, y disminuyeron con la profundidad del perfil, con los mayores valores para la situación natural de pastizal. Similares disminuciones fueron encontradas por Toledo *et al.*, (2010), en suelos rojos de Misiones bajo sistemas agrícolas y forestaciones como pino respectivamente. Tanto COP como NOP resultaron indicadores sensibles de calidad, logrando distinguir sistema natural de sistema forestal, con diferencias significativas en las tres primeras profundidades para el caso de COP y en las dos primeras para el caso de NOP (tabla 1).

Al considerar el espesor de 0 a 1 m de profundidad, el COP fue de 0,31 y 0,22 % para M y Pi respectivamente, y el NOP fue de 0,013 y 0,011 % para M y Pi. Las pérdidas de COP y de NOP bajo uso forestal resultaron del orden del 28 % y del 16 %, respectivamente. Estos resultados podrían estar relacionados a la gran mineralización de la MO ocurrida con la



eliminación de la cobertura de pastizal y la posterior preparación del terreno para la implantación de la forestación, como así también al carácter acidófilo, ricas en lignina, de la hojarasca de pino que tiende a acumularse sobre la superficie sin descomponerse y a la acidez del suelo (Gómez et al., 2010; Huang et al., 2011). Similares disminuciones de COP y NOP fueron encontradas por Toledo et al. (2010) en suelos rojos de Misiones bajo sistemas agrícolas y forestaciones con *Pinus* sp. respecto de situaciones prístinas, respectivamente. En suelos de diferentes órdenes taxonómicos, bajo forestaciones de *Pinus* sp., fueron observadas pérdidas de carbono orgánico y relacionadas principalmente con el laboreo de preparación del suelo para la plantación (Hernández Legnazzi, 2016), así mismo en suelos de reciente formación como los Entisoles y los Inceptisoles, con bajos contenidos de arcilla, los mecanismos de protección física de la MO ocurren en menor medida y resulta una mayor fragilidad de las sustancias orgánicas (Galantini et al., 2008). Respecto al COAM y al NOAM los mayores valores se presentaron en general en el sistema M, con diferencias significativas para NOAM en todas las profundidades ($P<0,05$) excepto en la tercera (tabla 1). Las pérdidas de COAM y de NOAM bajo uso forestal resultaron del orden del 6 % y del 35 %, respectivamente, considerando el primer metro de profundidad (tabla 1).

En la figura 2, podemos observar la distribución del COPg, COPf y COAM respecto del carbono total del suelo. La mayor proporción correspondió al COAM, la materia orgánica humificada fue mayor a 80 % en ambos tratamientos. Relaciones similares fueron encontradas por Toledo (2014) al evaluar sistemas naturales y sistemas forestales. Dentro de la fracción de la materia orgánica particulada, la mayor proporción de carbono correspondió a la fracción particulada fina respecto de la gruesa (COPf bajo Pi: 6 y 9 % para 0,30 m, y 1 m; bajo M: 11 y 12 % para 0,30 m y 1 m). Duval et al., (2014) evaluaron el carbono en las fracciones orgánicas particuladas en suelos del orden Molisol bajo sistemas naturales y cultivados, encontrando similares proporciones.

Considerando el primer metro de profundidad, los contenidos de nitrógeno total, nitrógeno en la fracción particulada y nitrógeno en la fracción humificada, pueden observarse en la figura 3. En ambos tratamientos, la mayor proporción de nitrógeno estuvo asociado a la fracción humificada (NOAM) y la menor a la particulada (NOP). Dentro de la fracción particulada ($>0,053$ mm), al analizar los resultados obtenidos de NOPg y NOPf (figura 4) podemos observar que, en ambos tratamientos, la proporción de NOPf fue mayor, y que los



mayores valores del mismo se presentaron bajo M. Similares resultados fueron obtenidos por otros autores cuando compararon situación natural con situación forestal de *Pinus* sp. en suelos rojos de Misiones (Acosta et al., 2017).

Al evaluar la distribución espacial del carbono y del nitrógeno en los suelos bajo Pi, considerando los cuatro puntos cardinales (figuras 5 y 6, respectivamente), en todos los casos los mayores valores correspondieron al COP y NOP de la fracción fina.

En relación al COPg (fig. 5) y al NOPg (fig. 6) no se presentaron diferencias significativas entre los puntos cardinales, por cuanto no habría una diferencia en la distribución espacial en superficie. Con referencia al COPf y al NOPf se encontraron diferencias significativas entre los puntos cardinales, presentándose los mayores valores en el Oeste.

En la fracción particulada fina, los contenidos de carbono fueron en el orden: COPf Oeste> Este> Norte≥ Sur. En tanto que el contenido de nitrógeno fue NOPf Oeste≥ Este≥ Sur≥ Norte. Lo cual fue atribuido a la mayor radiación recibida y a su influencia en la temperatura de suelo y en la actividad microbiana que provocaría una mayor descomposición del material más fresco y grueso, y un aumento del carbono y de nitrógeno en el compartimento fino (COPf y NOPf). En el hemisferio sur el desplazamiento del sol se da de Este a Oeste con mayor radiación que la dirección Norte a Sur, con aumento de la temperatura del suelo del mediodía a las 16 horas (Donoso et al., 2018; Méndez et al., 2020), por ende, el punto oeste recibe mayor radiación y esto favorece a una mayor actividad microbiana (Ramos et al., 2008). Así mismo Acosta et al., (2020) trabajando con los mismos suelos y situaciones de esta tesis, midieron RES, obteniendo los mayores valores en el Oeste, indicando una mayor actividad microbiana en este punto cardinal.

Conclusiones

La eliminación del pastizal y su reemplazo por forestaciones con *Pinus* sp. produjeron pérdidas de carbono y nitrógeno total del suelo.

Considerando el carbono y el nitrógeno de las fracciones de la materia orgánica, resultaron indicadores sensibles al cambio de uso el carbono y el nitrógeno orgánico particulados (COP y NOP) y el nitrógeno asociado a la fracción mineral (NOAM).

Los resultados indican que el reemplazo de los pastizales por forestación con *Pinus* sp. impactaron en el equilibrio natural y produjeron una pérdida de calidad de suelo.



Se observó una distribución espacial diferencial respecto de los puntos cardinales para el carbono y el nitrógeno particulado fino, con los mayores valores al Oeste, no obstante, se considera necesario realizar mayores estudios.

Tablas y Figuras

Tabla 1. Contenido de carbono y nitrógeno en el total del suelo (COT y NOT), en las fracciones de la materia orgánica: particulada (COP y NOP), asociada a la fracción mineral (COAM y NOAM) bajo los sistemas pastizal (M) y forestal (Pi) en las distintas profundidades evaluadas.

Prof. (m)	Tratamiento	COT (%)	NOT (%)	COP (%)	NOP (%)	COAM (%)	NOAM (%)
0-0,10	M	3,28b	0,28b	0,56b	0,03b	2,71a	0,25b
	Pi	2,79a	0,17a	0,31a	0,02a	2,48a	0,15a
0,10-0,20	M	2,033a	0,169b	0,11a	0,006a	1,91a	0,16b
	Pi	2,017a	0,136a	0,15b	0,01b	1,86a	0,13a
0,20-0,30	M	1,3a	0,095a	0,349b	0,007a	0,91a	0,09a
	Pi	1,23a	0,077a	0,161a	0,006a	1,06a	0,07a
0,30-1	M	1,03b	0,07b	0,22a	0,01a	0,78b	0,07b
	Pi	0,77a	0,03a	0,26a	0,01a	0,51a	0,02a
0-1	M	1,91	0,153	0,309	0,013	1,57	0,14
	Pi	1,70	0,103	0,220	0,011	1,47	0,09

Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas mediante prueba de LSD de Fisher ($P < 0,05$).

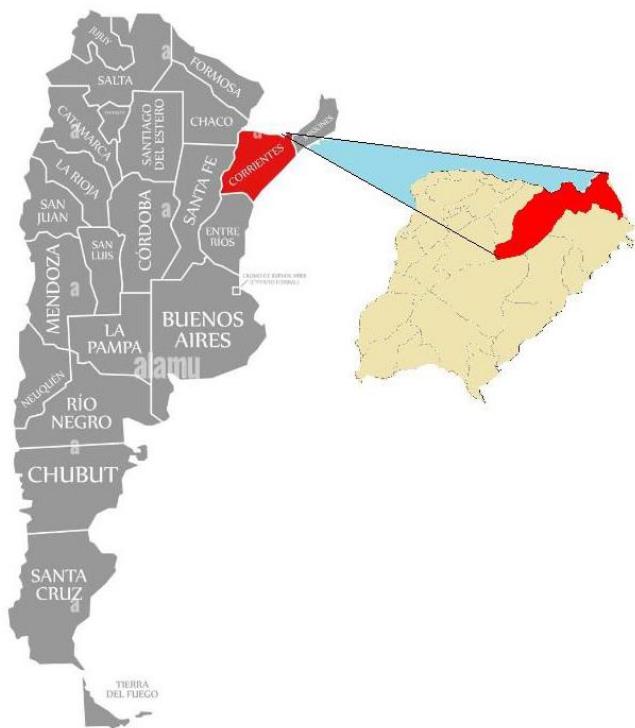


Figura 1: Ubicación geográfica del Departamento de Ituzaingó, provincia de Corrientes, Argentina.

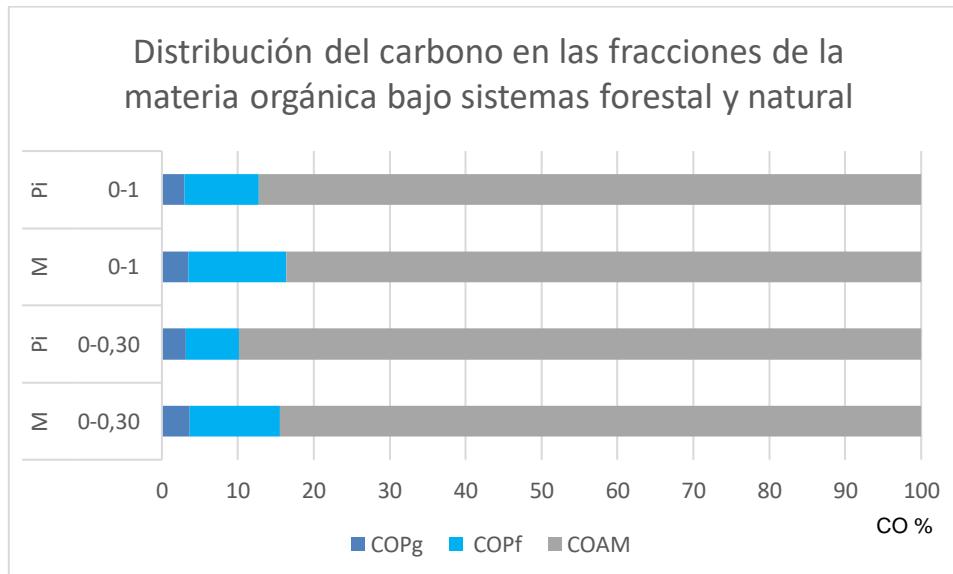


Figura 2: Distribución del carbono en las fracciones orgánicas gruesa (COPg), fina (COPf) y humificada (COAM) respecto del carbono total del suelo en los sistemas de pastizal (M) y *Pinus sp.* (Pi).

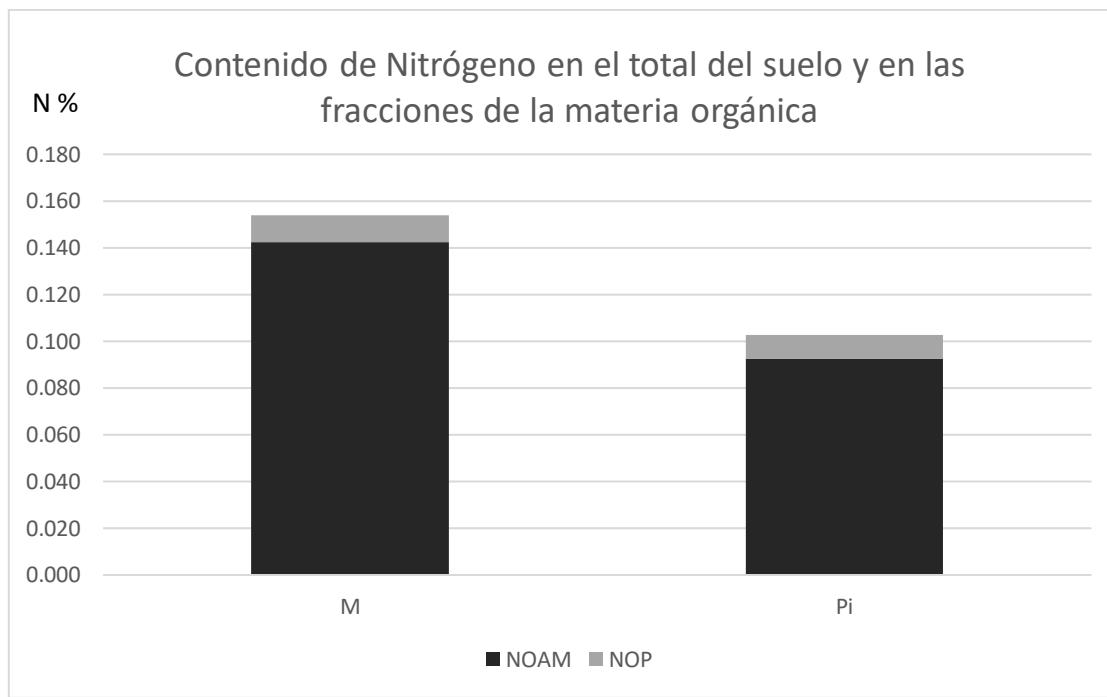


Figura 3: Contenido de nitrógeno total en la fracción particulada (NOP) y humificada o asociada a la fracción mineral (NOAM) en el en los sistemas de pastizal (M) y *Pinus sp.* (Pi) en su fraccion particulada (NOP) y humificada (NOAM).

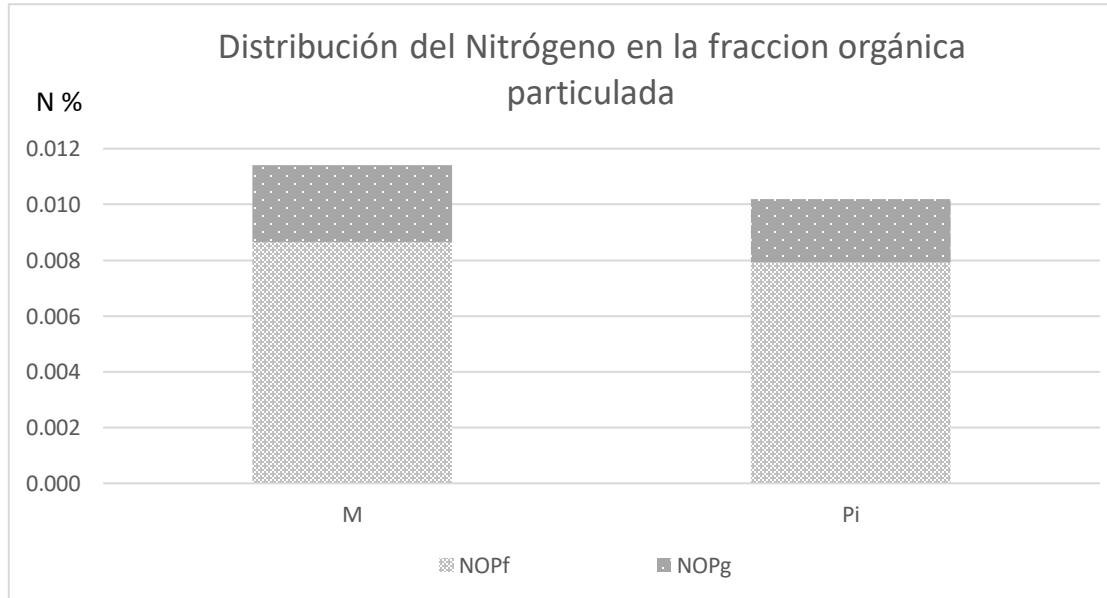
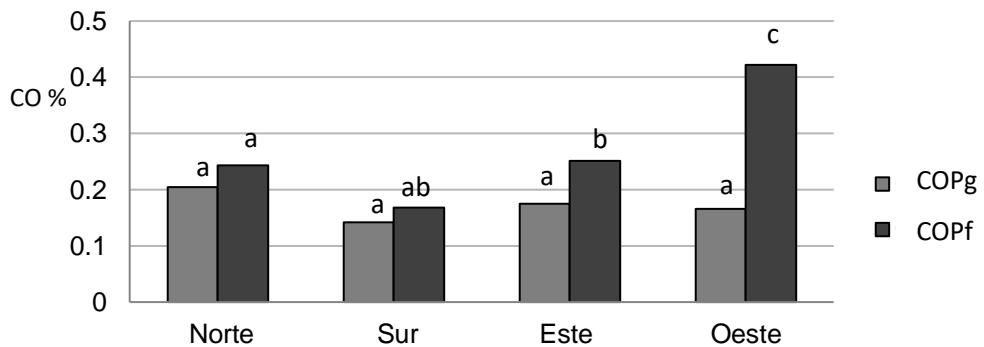


Figura 4: Distribución del nitrógeno en la fracción particulada gruesa (NOPg) y fina (NOPf) para los tratamientos pastizal (M) y *Pinus sp.* (Pi).



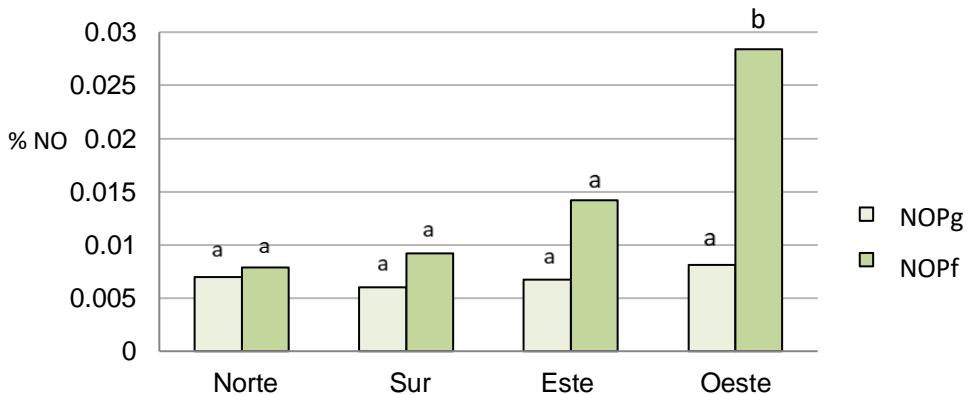
Carbono particulado en Forestaciones de *Pinus* sp: distribución espacial



Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P<0,05$).

Figura 5: Distribución espacial del carbono orgánico particulado grueso (COPg) y fino (COPf) en los distintos puntos cardinales de 0-0,10 m correspondiente al sistema forestal (Pi).

Nitrogeno particulado en Forestaciones de *Pinus* sp: distribución espacial



Nota: Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P<0,05$).

Figura 6: Distribución espacial del nitrógeno orgánico particulado grueso (NOPg) y fino (NOPf) en los distintos puntos cardinales de 0-0,10 m correspondiente al sistema forestal (Pi).



Bibliografía

- Acosta, M., Toledo, D., Contreras, S. y Urinovsky, K. (2017). *Efectos del cambio de uso del suelo, bajo sistema forestal con Pinus sp. sobre fracciones de la materia orgánica y distribución de los agregados*. Agrotecnia 25.
- Acosta, M., Toledo M., Folk M., Gandolfo D. y Galantini J. (2020). *Distribución espacial de la respiración y de otros atributos de calidad en suelos forestales del departamento de Ituzaingó (Corrientes)*. Trabajo presentado al XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, realizado en Corrientes, Argentina del 13 al 16 de octubre de 2020.
- Acosta, M., Toledo, D., y Contreras, S. (2021). *Indicadores e índices de calidad en inceptisoles de corrientes bajo forestaciones de coníferas*. Ciencia del suelo 40 (2), 137-148.
- Acosta, M., Toledo, D., Contreras, S. y Galantini, J. (2022). *Avance de forestaciones sobre pastizales en suelos de régimen ácuico del noreste de corrientes*.
- Allmaras, R., Schoemberg, H., Douglas, Jr. C. y Dao, T. (2000). *Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands*. Journal of Soil and Water Conservation, 55 (3), 365-373.
- Álvarez, R. y Álvarez, C. (2000). *Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics*. Soil Science Society of America Journal, 64 (1), 184-189.
- Baruzzo, M., Smichowski, H., Martínez, S. y Contreras, F. (2020). *Plantaciones Forestales: crecimiento y expansión de la actividad forestal en las Lomadas Arenosas en Corrientes, Argentina*. Revista Investigaciones y Ensayos Geográficos (IEG). UNAF, 1 (17), 71-82.
- Cadena Carbo, S. (2019). *Caracterización morfológica de pasto janeiro (Eriochloa polystachya) irradiado a dosis media letal de rayos gamma (52 Gy) en el cantón Babahoyo - Provincia de Los Ríos*. Trabajo final de graduación modalidad tesina de la Universidad Técnica de Babahoyo Facultad de Ciencias Agropecuaria. Ecuador. p.32.
- Cambardella, C. y Elliot, E. (1992). *Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence*. Soil Science Society of America Journal, 56 (3), 777-783.
- Cambardella, C., Gajda A., Doran J., Weinhold B., y amp; Kettler T. (1999). *Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition*. En Lal, R., Kimble, J. y amp; Follet, R. (Eds.). *Carbon methods*. (p.349-359). Boca Raton, Florida.
- Carter, M. (2002). *Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions*. Agronomy Journal 94 (1), 38-47.
- De la Rosa, D. (2005). *Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. Land degradation & development*, 16 (6), 551-559.
- Di Rienzo, J., Casanoves F., Balzarini M., González L., Tablada, M. y Robledo, C. *InfoStat versión 2020*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- Doran, J. y Parkin T. (1994). *Defining and assessing soil quality*. En Doran, J., Coleman, D., Bezdicek, D. y Stewart, B. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. (p. 321). Madison, Wisconsin.
- Dewis, J. y Freitas, F. (1970). *Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas*. Boletín sobre suelos Número 10. FAO. Roma.



- Donoso, P., Promis, A. y Soto, D. (2018). Silvicultura en bosques nativos. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Duval, M, De Sa Pereira, E., Iglesias, J. y Galantini, J. (2014). *Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol*. Ciencia del Suelo, 32 (1), 105-115.
- Escobar, E., Ligier, H., Melgar, R., Matteio, H. y Vallejos, O. (1996). *Mapa de suelos de la provincia de Corrientes, INTA*. (p. 258).
- Fabrizzi, K., Morón, A. y García, F. (2003). *Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non degraded Mollisols in Argentina*. Soil Science Society of America Journal, 67 (6), 1831-1841.
- Fassbender, H. W. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. (2^a ed.). San José, Costa Rica.
- Franzluebbers, A. (2002). *Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality*. Soil & Tillage Research, 66 (2), 95-106.
- Galantini, J., Senesi, N., Brunetti, G. y Rosell, R. (2004). *Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils*. Geoderma, 123 (1), 143-152.
- Galantini, J., Suñer, L., Landriscini, M. y Iglesias J. (2008). *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini et al., (eds.). Editorial Universidad Nacional del Sur.
- Gasparoni, J. (2008). *Determinación de la materia orgánica del suelo*. En Galantini J. (Ed.). Estudios de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. (p.4150). Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Gómez, Y., Paolini, J. y Hernández, R., (2010). *La sustitución de la sabana nativa por plantaciones de pino y la variabilidad temporal en la biomasa microbiana y la mineralización del carbono y nitrógeno en el suelo*. Terra Latinoamericana, México, 28 (2), 155-163.
- Hernández Legnazzi, J. (2016). *Dinámica de los nutrientes y la materia orgánica del suelo en los sistemas forestales*. [Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias] Universidad de la República Facultad de Agronomía. Montevideo (Uruguay). Repositorio Colibrí.
- Huang, Z., Davis, M., Condron, L. y Clinton, P. (2011). *Soil carbon pools, plant biomarkers and mean carbon residence time after a forestation of grassland with three tree species*. Soil Biology and Biochemistry. 43 (6), 1341-1349.
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran J., Harris R. y Schuman, G. (1997). *Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation*. Soil Science Society of America Journal, 61 (1), 410.
- Larson, W. y Pierce, F. (1991). *Conservation and enhancement of soil quality*. En International Board for Research and Management (Ed.). Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers. (p. 175-203). Bangkok, Thailandia.
- Méndez, M., Vergara, G. y Casagrande, G. (2020). *Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina*. 13 (1).



Nieto, O., Castro, J. y Fernández Ondoño, E. (2012). *Sustainable agricultural practices for Mediterranean olive groves. The effect of soil management on soil properties*. Spanish Journal of Soil Science, 2 (1), 70-77.

Pereira, L., Toledo, D., Acosta, L. y Kurtz, D. (2019). *Modelado del estado de degradación de inceptisoles del Noreste de la Provincia de Corrientes, Argentina*. XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 7 y 11 de octubre de 2019. Montevideo Victoria Plaza Hotel - Montevideo, Uruguay.

Ramos, E. y Zúñiga D. (2008). *Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio*. Ecología Aplicada, 2 (1), 367-368.

Schlatter, J. y Otero, L. (1995). *Efecto de Pinus radiata sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial*. En Revista Bosque, 16 (1), 29-46.

Schlatter, J. (1987). *La fertilidad del suelo y el desarrollo Pinus radiata D. Don en Chile*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Bosque 8 (1), 13-19.

Stevenson, F. y Cole, M. (1999). *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. (2^a ed.). USA: John Wiley, Sons, Inc.

Toledo, D., Dalurzo, H. y Vázquez, S. (2010). *Fosfatasa ácida en oxisoles bajo cultivo de tabaco*. Ciencia del suelo, Argentina, 28 (1), 33-38.

Toledo, D., Arzuaga, S., Galantini, J., Ferreccio, E., Gimenez, L. y Vázquez, S. (2013). *Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados*.

Toledo, D. (2014). *Calidad de suelo en agroecosistemas de Misiones: Desarrollo y validación de índices de calidad. Su aplicación en la evaluación de los cambios en el uso de las tierras*. Tesis Doctoral de la Universidad Nacional del Nordeste en el Área de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Argentina. p.164.

Toledo, D., Arzuaga, S., Galantini, J. y Vázquez, S. (2018). *Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales*. Ciencia del Suelo, Argentina, 36 (2), 112.

Toledo, D., Arzuaga S., Contreras S., Rey Montoya T., Villalba, F., Garay M. y Grancic C. (2023). *Avance de frontera forestal sobre pastizales en Entisoles ácuicos: impacto en la calidad del suelo*. Trabajo presentado al XXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (CLACS 2023). Florianópolis, Brasil del 30 de julio al 4 de agosto de 2023. p.138-147.

Zhao, F., Yang, G., Han, X., Feng, Y. y Ren, G. (2014). *Stratification of Carbon Fractions and Carbon Management Index in Deep Soil Affected by the Grain-to-Green Program in China*. PLOS ONE, 9 (6), e99657.