



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACION (MODALIDAD TESINA)

“Fracciones de la materia orgánica y distribución de los agregados en
suelos rojos en respuesta al uso forestal con *Pinus sp.*”

AUTOR: Acosta, María Gabriela Luján.

ASESOR: Ing. Agr. (Dra.) Diana Marcela Toledo.

JURADO:

Ing. Agr. (Mgter.) BERNARDIS, Aldo Ceferino.

Ing. Agr. (Dr.) DALURZO, Humberto Carlos.

Ing. Agr. (Dra.) LUNA, Claudia Verónica.

2016

Título: “Fracciones de la materia orgánica y distribución de los agregados en suelos rojos en respuesta al uso forestal con *Pinus* sp.”

Autor: Acosta, María Gabriela Luján.

Lugar de trabajo: Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

Resumen:

La Provincia de Misiones, cuenta con 365 mil hectáreas de bosques implantados, siendo la segunda provincia forestal después de Corrientes. Miles de hectáreas de selva son anualmente eliminadas y reemplazadas por forestaciones con especies exóticas principalmente *Pinus* sp. Los cambios en el uso del suelo en la provincia, generan la necesidad de investigar y 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. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del uso forestal con *Pinus* sp. sobre las fracciones de la materia orgánica y la distribución de los agregados en suelos rojos de Misiones. El trabajo fue llevado a cabo en suelos rojos del departamento de Oberá (Misiones). Se empleó un diseño completamente al azar, con dos tratamientos: Selva subtropical (Sv) y forestación con *Pinus* sp. (Pi) de 17 años de edad, con 12 lotes por tratamiento. El tratamiento sin disturbio antrópico, correspondió a la selva subtropical y se tomó como referencia de alta calidad de suelo. Se seleccionaron muestras al azar a una profundidad de muestreo de 0 a 0,10 m. Se determinaron las siguientes variables: textura, densidad aparente (Da), pH, nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT); carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA); carbono orgánico particulado (COP); nitrógeno orgánico particulado (NOP) y la distribución de agregados entre 2 y 0,053 mm. La eliminación de la selva y la incorporación de las tierras a la producción forestal con *Pinus* sp. produjeron un aumento de la acidez, una disminución del contenido total de carbono orgánico y de sus fracciones, un aumento de la densidad del suelo, y una nueva distribución del tamaño de los agregados, aumentando la proporción de microagregados respecto a la situación prístina.

Introducción:

A nivel mundial el 31 % de las tierras están ocupadas por forestaciones existiendo en la actualidad una preocupación por el manejo forestal y su impacto ambiental, con un enfoque de investigación hacia la sostenibilidad del bosque y de las funciones de los ecosistemas (FAO, 2011).

Los bosques implantados o de cultivo están conformados casi exclusivamente por especies exóticas de rápido crecimiento.

La República Argentina cuenta actualmente con aproximadamente 1.200.000 hectáreas de bosques cultivados, que se componen principalmente por coníferas (54%), seguidas por eucaliptos (32%) y salicáceas (9%). Estos bosques se concentran en la región de la Mesopotamia (Misiones, Corrientes y Entre Ríos), Delta del Río Paraná, Buenos Aires, Córdoba y Neuquén (Beale *et al.*, 2013).

La Provincia de Misiones se encuentra ubicada en la región noreste del país, entre los paralelos 25°28' y 28°10' de latitud Sur y los meridianos 53° 38' y 56° 03' de longitud oeste (Fig.1).

En base al Sistema de Información Foresto-industrial de la Provincia, la misma cuenta con 365 mil hectáreas de bosques implantados, de los cuales el 83% corresponde a *Pinus* sp., 7% a *Eucalyptus* sp., un 4,5% a *Araucaria* sp. y el restante a otras especies (Uasuf & Hilbert, 2012).

En la mencionada provincia, abundan las llamadas “tierras coloradas” o “suelos rojos”, que comprenden suelos ácidos de baja fertilidad y elevada susceptibilidad a la erosión, del orden de los Alfisoles, Oxisoles y Ultisoles (Peña Zubiate *et al.*, 1990). La mayor parte de su superficie (70%) tiene fuertes pendientes y no son aptas para la agricultura, pero sí para la forestación.

Objetivo:

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del uso forestal con *Pinus* sp. sobre las fracciones de la materia orgánica y la distribución de los agregados en suelos rojos de Misiones.

Antecedentes

Autores tales como Giuffré *et al.* (2003) y Lupi *et al.* (2012), señalaron que en la provincia, la implementación de técnicas intensivas forestales (quema más laboreo), produce una reducción en los niveles de materia orgánica total (MOT), de su fracción liviana, como así también de algunos nutrientes como el nitrógeno.

Zinn *et al.* (2002), encontraron pérdidas de carbono orgánico del suelo (COS) de 11 Mg ha⁻¹ en Oxisoles de Brasil, cuando la selva fue reemplazada por forestaciones con pinos. Los cambios en las reservas de carbono debidas al uso de las tierras, han sido en general establecidos a partir de comparaciones de los stocks de carbono en suelos bajo diferentes sistemas (Toledo *et al.*, 2013).

En general la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas disminuye las reservas de carbono del suelo debido a prácticas de manejo inapropiadas, siendo esto más acentuados en regiones de climas tropicales, donde los procesos de mineralización prevalecen sobre los de humificación (Cerri *et al.*, 2003). Los cambios en las reservas de COS después de la mencionada conversión ha sido estudiado por numerosos autores (De Moraes *et al.*, 1996; Jiménez *et al.*, 2011), con varias respuestas que incluyen incrementos, disminuciones o sin cambios netos en el carbono orgánico del suelo. La recuperación de las reservas de COS después de la deforestación depende del tiempo transcurrido, de la intensidad del uso de la tierra, pero en general lleva varias décadas hasta que se produce un nuevo equilibrio (Jiménez *et al.*, 2011).

La deforestación, y la conversión de tierras vírgenes a la agricultura, han llevado a la disminución de la calidad física, química y biológica del suelo en todo el mundo derivando en problemas de erosión, pérdida de suelo y deterioro del ecosistema, especialmente en aquellos más frágiles como los suelos subtropicales rojos (Dalurzo, 2002).

Dalurzo *et al.* (2005, 2006), han efectuado estudios en suelos de Misiones bajo distintos cultivos agrícolas, determinando como buenos indicadores de calidad de suelo (CS) a los atributos: macro y microporosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, materia orgánica (MO), nitrógeno total, materia orgánica particulada (MOP), fósforo orgánico, capacidad de intercambio efectiva y actividad de la fosfatasa ácida.

Lupi *et al.* (2007), evaluaron en Ultisoles de Misiones, el impacto de las prácticas de repoblación forestal con *Pinus* sp., sobre el COS, el carbono liviano (CL) y la estabilidad de los agregados. Señalaron que el sistema de repoblación forestal afecta la cantidad y calidad del carbono del suelo, y las pérdidas de CL y COS estuvieron acompañadas por una degradación en las condiciones físicas del suelo.

La MO está compuesta por fracciones de diferente labilidad, las más lábiles como la MOP, corresponde al material más joven, y es renovable en periodos cortos, aproximadamente 10 años (Jansen, 1997 Cit. Haynes, 2005).

La MOS es un indicador sensible a los cambios y lo consideran universal debido a su gran influencia en las funciones del suelo, en su calidad, y en la productividad (Galantini y Suñer, 2008).

Las fracciones orgánicas separadas físicamente han demostrado ser indicadores útiles para detectar cambios producidos por las prácticas de manejo en la mayoría de los estudios. (Galantini y Suñer, 2008). Tanto la MO total como la MOP, pueden afectar a las propiedades químicas del suelo, particularmente al contenido de nutrientes disponibles para las plantas (Haynes, 2005), como así también a las propiedades físicas ya que junto a los organismos vivientes asociados, juegan un papel principal en la agregación del suelo en diferentes escalas de su organización tanto a micro como a macronivel (Tisdall & Oades, 1982). Los microorganismos modifican la estabilidad de agregados (p.ej. aumentando la cohesión de los agregados a través de sustancias aglutinantes, construyendo un entramado físico o aumentando la hidrofobicidad), no obstante en suelos ferralíticos los agentes agregantes dominantes son los óxidos de hierro estando la agregación y los procesos de captura de carbono estrechamente asociados (Cosentino & Chenu, 2008).

Los cambios en el uso del suelo en la provincia, generan la necesidad de investigar y cuantificar el impacto sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica, y sobre atributos físicos como la densidad aparente y la agregación.

Materiales y métodos:

El trabajo fue llevado a cabo en Oxisoles de Misiones, Departamento de Oberá, bajo sistemas natural y forestal. La zona se caracteriza por presentar clima subtropical húmedo, con precipitaciones de 1500 a 1800 mm anuales, y temperatura media anual de 19,5°C (Kottek *et al.*, 2006).

Se empleó un diseño completamente al azar, con dos tratamientos: Selva subtropical (Sv) y forestación con *Pinus* sp. (Pi). La situación sin disturbio antrópico se tomó como referencia de alta calidad de suelo (Sv).

La selva subtropical presentó una alta biodiversidad, abundancia de árboles de gran porte, entre ellos: Guatambú (*Balfourodendron riedelianum*); Lapacho rosado, (*Handroanthus impetiginosus*), Peteribí, (*Cordia trichotoma*); Timbó u oreja de negro, (*Enterolobium contortisiliquum*); Laurel, (*Nectandra lanceolata*), como así también por la presencia de un gran número de arbustos, lianas, epifitas y bambúseas (Cabrera, 1971).

El sistema forestal correspondió a lotes de pequeños productores con implantación de *Pinus* sp. de 17 a 20 años de edad con manejo convencional de la zona. Estos lotes provinieron de suelos que estaban bajo selva y que fueron desmontados. A posteriori del desmonte, se realizaron tareas de preparación del terreno utilizando rastras de discos y de dientes en toda la superficie previa a la implantación del cultivo. Presentaron una densidad promedio de árboles de 1100 ha⁻¹, con una distancia de plantación 3 x 3 m, con raleo y poda manual.

Para este trabajo se seleccionaron muestras de 0 a 0,10 m que fueron tomadas, secadas al aire, molidas y tamizadas por malla de 2 mm (tierra fina) por integrantes de la Cátedra de Edafología.

En el total del suelo se determinaron:

pH: determinado potenciométricamente en solución alcalina (KCl 0,1 M), en relación suelo-líquido 1:2,5 y con un período de equilibrio de 30 minutos. (Jackson, 1970).

Textura: por el método hidrométrico de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970). Se pesaron 50 g de suelo seco al aire, se efectuó la destrucción de la materia orgánica mediante el agregado de H₂O₂ (peróxido de hidrógeno) de 100 volúmenes, y aplicando calor (85° C) en baño maría. Luego se realizó una dispersión, química con NaOH 1 N y mecánica con dispersor (15 minutos). Se transvasó a una probeta y con el densímetro ó hidrómetro de Bouyoucos, previamente calibrado, se tomaron las lecturas a los 40 segundos (limo+arcilla) y a los 120 minutos (arcilla), efectuando el cálculo de los porcentajes de arena, limo y arcilla con las correcciones de las lecturas por temperatura correspondientes.

Densidad aparente (Da): a partir de la extracción de muestras inalteradas por el método del cilindro (Forsythe, 1975). En cada lote bajo estudio, se extrajeron 3 muestras simples de 0-0,10 m, manteniendo intacta la estructura del suelo utilizando cilindros de Kopecki. Las muestras se llevaron a estufa 105°C hasta peso constante, se dejaron enfriar dentro de un desecador y se pesaron obteniendo el peso seco. Para su cálculo, se aplicó la ecuación 1:

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco a estufa } 105^{\circ}\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Carbono orgánico total (COT): en el total del suelo (tierra fina) se determinó el carbono por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008)

Carbono orgánico particulado (COP): en la fracción de suelo comprendida entre 2 y 0,053 mm, se determinó el carbono por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008)

Carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA): la fracción orgánica <0,053 mm, se obtuvo por cálculo a partir de la fórmula: COA=COT-COP

Distribución del tamaño de agregados:

Para evaluar la distribución de distintos tamaños de agregados, se efectuó una separación por tamaño de agregados usando tamices de mallas diferentes: 500, 250, y 53 μm (Tamices nº 35; 60 y 270 respectivamente). El material que quedó retenido en los tamices se colocó en frascos de vidrio y se llevó a estufa a 50°C, luego se llevaron a un desecador hasta equilibrio con temperatura ambiente y se pesaron (Elliot & Cambardella, 1991). De esta manera se obtuvieron 3 fracciones de agregados: **a** (2-0,5 mm), **b** (0,5-0,25 mm) y **c** (0,25-0,053 mm). Los pesos de los agregados correspondientes a cada fracción o tamaño, fueron corregidos por el contenido de arena por su similar tamaño, conforme a lo propuesto por Six *et al.*, 2000 (Figura 1).

En cada fracción de tamaño de agregados se procedió a determinar el carbono orgánico particulado (COP) y el nitrógeno orgánico particulado (NOP) mediante un Analizador de Carbono y Nitrógeno (Gasparoni, 2008).

En las distintas fracciones de agregados obtenidas (a, b y c): Se aplicó un **fraccionamiento físico** propuesto por Cambardella *et al.* (1999) para obtener la **materia orgánica particulada (MOP)**.

El fraccionamiento físico se efectuó utilizando tamices de 500 (Nº35) y 53 μm (Nº 270), obteniendo así dos fracciones de la MOP: una particulada gruesa (2 a 0,5 mm) y una particulada fina (0,5 a 0,053 mm).

Procedimiento para el fraccionamiento de la MO:

A 30 g de suelo seco al aire, se lo dispersó con 90 ml de hexametáfosfato de sodio (5 g. L⁻¹) y se agitó durante 16 horas. Posteriormente se tamizó utilizando tamices de 500 y 53 μm ayudando con agua destilada para separar las dos fracciones. Cada fracción fue transferida a una cápsula de porcelana, secada a 55 °C y pesada en balanza de precisión.

Se determinaron por combustión seca con Analizador de carbono y nitrógeno total- LECO (Gasparoni, 2008):

- Carbono de la materia orgánica particulada (COP)
- Nitrógeno orgánico particulado (NOP)

Como estos suelos rojos no tienen carbono inorgánico (carbonatos) y el material de arcilla predominante es la caolinita, el carbono total y el nitrógeno total determinados con el LECO se consideró carbono y nitrógeno orgánicos. (Toledo *et al.*, 2013).

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 ($P < 0,05$). Para el procesamiento de datos se utilizó el software estadístico Infostat Profesional (Di Rienzo, 2011).

Resultados y discusión:

Los suelos presentaron textura arcillosa, con valores medios entre 61 y 70 % de arcilla.

En las Tablas 1 y 2 se pueden observar los resultados obtenidos para las distintas variables en suelos bajo Selva (Sv) y Pino (Pi).

Los suelos *bajo Pinus* sp. sufrieron un aumento de la densidad aparente con diferencias significativas respecto a selva ($P < 0,0001$). La preparación del terreno para la actividad forestal, sin tener en cuenta prácticas de manejo y conservación de suelos, genera densificación provocando una restricción para la penetración de las raíces y absorción del agua (Sánchez, 1981).

Tanto los suelos prístinos como bajo pino, presentaron reacción ácida, correspondiendo la mayor acidez al sistema forestal, con diferencias significativas ($P < 0,0001$). Similares efectos fueron encontrados en suelos rojos bajo Pino por Schlatter & Otero (1995).

Los contenidos de carbono orgánico total (COT) y de nitrógeno total (NT), fueron mayores bajo selva con diferencias significativas ($P < 0,0001$). En regiones subtropicales, los suelos vírgenes reciben un constante aporte de materia orgánica no sólo desde la hojarasca sino también por la gran abundancia de raíces y raicillas que se renuevan constantemente (Dalurzo *et al.*, 2005). Debido al desmonte y al uso forestal por 20 años, el carbono orgánico disminuyó un 51 %, en tanto que el nitrógeno disminuyó un 61 %. Como era de esperar, las pérdidas de COT por efecto del uso forestal produjeron disminuciones en el NT debido a la estrecha relación entre la materia orgánica del suelo y los depósitos y flujos de nitrógeno edáfico. Estas pérdidas se atribuyeron a una mayor mineralización de la materia orgánica producida por el desmonte y la intensa remoción del suelo durante su preparación para la implantación de *Pinus* sp. Así mismo como no se realizaron fertilizaciones nitrogenadas, no hubo reposición del nitrógeno absorbido y el mismo dependió únicamente del aporte de los residuos. La falta de sistematización del terreno (curvas de nivel) favoreció las pérdidas por erosión hídrica tan común en la zona, debido a que las prácticas de manejo empleadas no entran dentro de las consideradas como buenas prácticas forestales (labores en curvas de nivel, uso de rastras de discos sólo en la franja de plantación, uso de escarificador o subsolador en la línea de plantación; ancho de labor de 1 a 2 m, cobertura del suelo durante el crecimiento del cultivo, etc.) (Saiz *et al.*, 2014). Similares pérdidas de COT y de NT fueron encontradas por Turner & Lambert, (2000) y Zinn *et al.* (2002) quienes las asociaron al efecto de la introducción de especies arbóreas exóticas de rápido crecimiento, a las técnicas de preparación del suelo con labranza convencional, a la falta de reposición de N entre otros.

En suelos bajo *Pinus* sp., los contenidos de COP y de COA disminuyeron un 18 y 61 % respectivamente, con diferencias significativas entre tratamientos sólo para COA ($P < 0,0001$). Estos resultados podrían estar relacionados a la gran mineralización de la MO ocurrida con la eliminación de la cobertura de selva que provocó disminuciones incluso del material orgánico más recalcitrante (COA). Similares disminuciones de COP y COA fueron encontradas por Toledo *et al.* (2010) y Ecclesia (2011) en suelos rojos de Misiones bajo sistemas agrícolas y forestaciones con Pino respectivamente.

La relación COP/COT fue de 0,22 en suelos bajo Selva, mientras que para Pino fue de 0,38. Estos valores estarían indicando condiciones menos favorables para la transformación del material orgánico que ingresa al suelo cuando la cobertura vegetal es el cultivo de Pino y a la

diferente calidad de los residuos orgánicos que llegan al suelo, que en el caso de la selva es debida a una gran diversidad de especies vegetales presentes.

Tosin (1977) y Fernández (1987), encontraron en suelos rojos bajo *Pinus elliottii* y *P. taeda*, un aumento de la acidez, y una disminución del carbono orgánico y lo atribuyeron a la calidad de materia orgánica aportada caracterizada por un bajo contenido en sales y bases, que favoreció la acidificación del medio y la proliferación de hongos.

En la Tabla 3 se pueden observar las distintas fracciones de agregados comprendidas entre 2 y 0,053 mm. Las tres fracciones (a, b y c) presentaron diferencias significativas entre Selva y Pino.

Tanto bajo sistema natural como forestal la mayor proporción de agregados correspondió a los macroagregados grandes (Figura 3).

Los suelos desmontados y forestados presentaron una menor proporción de macroagregados (a y b) y una mayor proporción de microagregados (c) en comparación a los suelos de selva, con diferencias estadísticas significativas. Esto coincide con lo hallado por Pulido-Moncada *et al.* (2010), quien encontró una menor proporción de macro-agregados y una mayor micro-agregación y menor estabilidad en suelos rojos bajo cultivo.

En las figuras 4 y 5 se pueden observar los contenidos de COP y NOP encontrados en las distintas fracciones de agregados bajo sistemas natural y forestal. Los coeficientes de variación fueron altos, pero similares a valores encontrados por otros autores como Toledo *et al.* (2013) y Sá Pereira *et al.* (2015).

Si bien no se encontraron diferencias significativas, los mayores valores de COP se dieron en la situación sin disturbio. La escasa diferencia encontrada en el COP entre selva y Pino se atribuye a que la descomposición de la MO en suelos de mayor acidez esta comandada por hongos, por lo cual el proceso sería más lento y la resultante un contenido de COP en suelos bajo Pino similar al de Selva. (Pastor *et al.*, 1987; Gómez *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2011). (Figura 4).

Respecto al nitrógeno orgánico particulado (NOP) si bien en todas las fracciones de agregados fue mayor en suelos bajo selva, solo se encontraron diferencias significativas en los macroagregados mayores (2 a 0,5 mm) (Figura 5). Esto se atribuyó a que la mineralización del nitrógeno orgánico es realizada por una gran variedad de microorganismos que proliferan bajo un amplio rango de condiciones de suelo (aireación, temperatura, humedad y pH).

Conclusiones:

La eliminación de la selva y la incorporación de las tierras a la producción forestal con *Pinus* sp. produjeron:

- Un aumento de la acidez, una disminución del contenido total de carbono orgánico y de sus fracciones,
- Un aumento de la densidad del suelo, y una nueva distribución del tamaño de los agregados, aumentando la proporción de microagregados respecto a la situación prístina.

Tablas

Tabla 1. Concentración de carbono orgánico total (COT); carbono orgánico particulado (COP), y carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COA) en fracciones de la materia orgánica en suelos bajo Selva (Sv) y Pino (Pi), de 0 a 0,10 m. de profundidad.

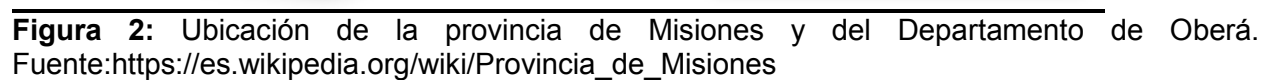
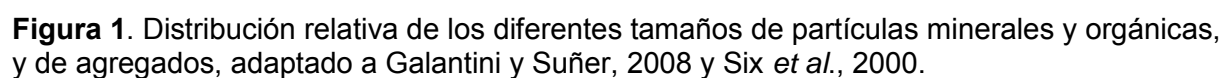
	COT	COP	COA
	%		
Sv	4,65 a	1,06 a	3,58 a
Pi	2,27 b	0,86 a	1,38 b
CV	23,84	43,66	43,69
P -valor	<0,0001	0,350	<0,0001

Tabla 2. Densidad aparente (Da), pH y nitrógeno total (NT) en suelos de 0 a 0,10 m de profundidad bajo Selva (Sv) y Pino (Pi).

Tratamiento	Da (Tn m ⁻³)	pH	NT (%)
Sv	0,75 b	5,35 a	0,37 a
Pi	1,01 a	4,50 b	0,15 b
CV	11,59	16,85	25,22
P -valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Tabla 3. Proporción de las distintas fracciones de agregados >53 µm, en el total del suelo.

Tratamientos	Fracciones de agregados > 53µm		
	Fracción a (2 a 0,5 mm)	Fracción b (0,5 – 0,25 mm)	Fracción c (0,25 – 0,053mm)
	%		
Sv	58,07 a	11,92 b	12,19 b
Pi	48,22 b	16,42 a	18,89 a
CV	14,15	34,49	25,84
P-valor	0,0001	0,0344	0,0005



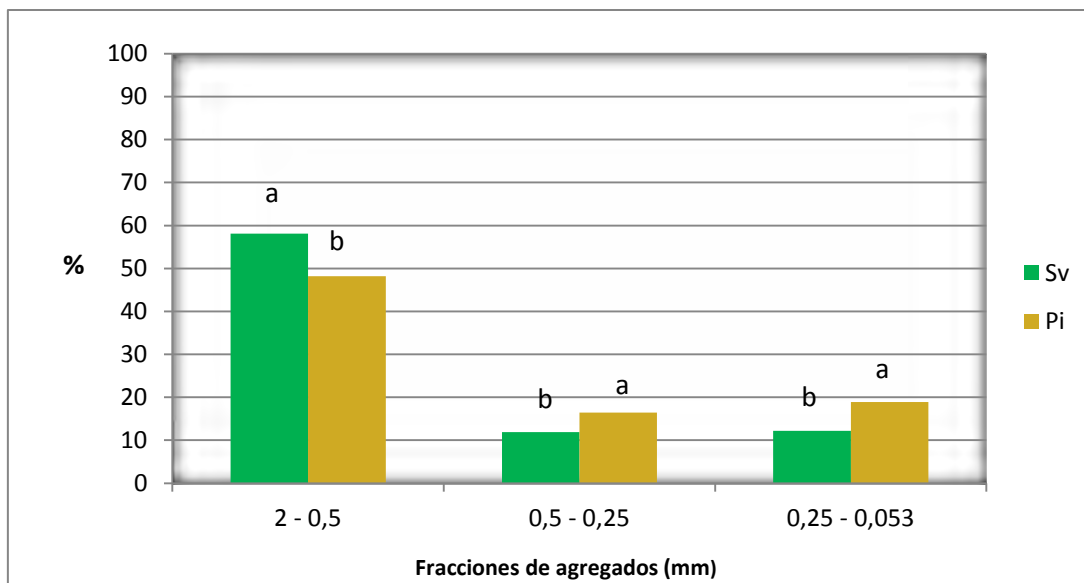


Figura 3. Proporción de las distintas fracciones de agregados comprendidos entre 2 y 0,053 mm. Fracciones: **a** (2 a 0,5 mm), **b** (0,5 a 0,25 mm), y **c** (0,25 a 0,053 mm) bajo los sistemas prístino (Sv) y forestal (Pi).

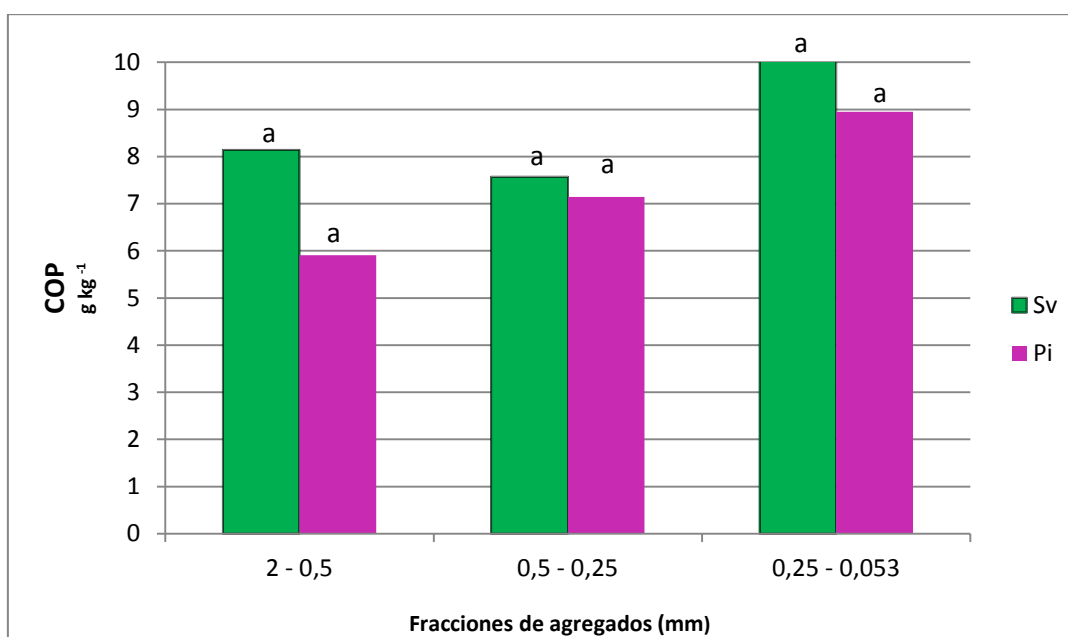


Figura 4. Distribución del COP contenido en las distintas fracciones de agregados bajo Selva (Sv) y Pino (Pi).

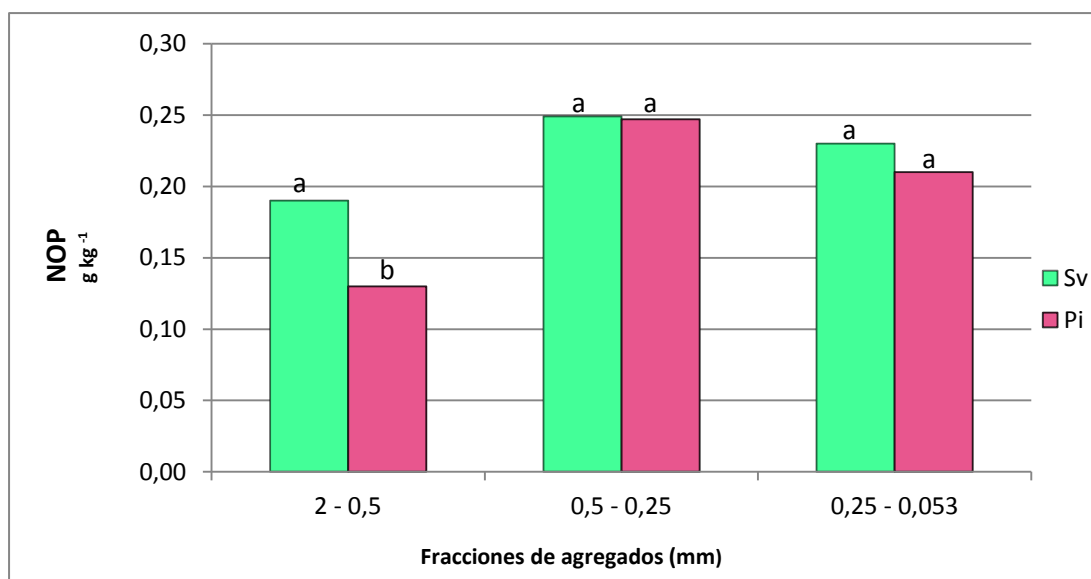


Figura 5. Distribución del NOP contenido en las distintas fracciones de agregados bajo Selva (Sv) y Pino (Pi).

Bibliografía:

- Beale, I. 2013. Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial. <http://www.agrariasvirtual.com.ar/fca/sivitec/revistas-redita/redita-revista41.pdf>
- Cabrera, AL. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, Vol. XIV, N° 1-2. Pp 52.
- Cambardella, CA; AM Gajda; JW Doran; BJ Weinhold & T Kettler. 1999. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. In: R Lal, JF Kimble & RF Follet (eds). Carbon methods. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Cerri, CEP; K Coleman; DS Jenkinson; M Bernoux; R Victoria & CC Cerri. 2003. Modelling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1879–1887.
- Cosentino, DJ & C Chenu. 2008. Los microorganismos como controladores de la arquitectura del suelo. Cap. 8, Pp. 199. En: Fertilidad física de los suelos. Buenos Aires, Argentina.
- Dalurzo, HC. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis de Magíster Scientiae. Área: Ciencia del Suelo. Escuela para Graduados Alberto Soriano UBA.
- Dalurzo, HC; DM Toledo & S Vazquez. 2005. Parámetros químicos y biológicos en Oxisoles con uso citrícola. Revista de la Ciencia del Suelo. Sociedad Argentina de la Ciencia del Suelo 23(2): 159-165.
- Dalurzo, HC; S Vazquez & DM Toledo. 2006. Calidad de Suelos en Agro-ecosistemas de Misiones. En: Bases para la conservación de suelos y aguas en la cuenca del Río Paraná. Antonio Paz González (Ed.). ISBN -10: 987-05-1102-3. Xunta de Galicia. España. Pp. 109-117
- De Moraes, JFL; B Volkoff; CC Cerri & M Bernoux. 1996. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. Geoderma. 70, 63-81.
- Dewis, J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N° 10. FAO. Roma. Pp 36-57.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat, Versión 2011. Grupo InfoStat. FCA, UNC, Córdoba, Argentina.
- Ecclesia, RP. 2011. En Tesis: Consecuencias del reemplazo de ecosistemas naturales sudamericanos por forestaciones y pasturas megatérmicas: efectos sobre el carbono orgánico edáfico. Entre Ríos, Argentina.
- Elliott, ET & CA Cambardella. 1991. Physical separation of soil organic matter. Agric. Ecosystems Environ. 34: 407-419.
- FAO, 2011. Situación de los bosques del mundo 2011. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s.pdf>
- Fernández, R. 1987. Influencia del sistema Desmonte-Reforestación con *Pinus* spp. Sobre algunas características químicas de los suelos. Ci del Suelo (Argentina) 5 (2): 123-129.
- Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. IICA. 212 p. San José. Costa Rica.
- Galantini, JA & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. Agriscientia Vol. XXV: 41-55.
- Gasparoni, JC. 2008. Determinación de la material orgánica del suelo. En Galantini J.A. Ed. Estudios de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Ed. Univ. Nac. del Sur. 41-50 p.
- Giuffré, L; G Piccolo; R Romaniuk & J Prat. 2003. Deforestación y sistemas productivos en suelos de Misiones.
- Gómez, Y; J Paolini & RM Hernández. 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200007
- Haynes, RJ. 2005. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. Advances in Agronomy 85: 221-268. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2876>
- Huang, Z; M Davis; L Condon y P Clinton. 2011. Soil carbon pools, plant biomarkers and mean carbon residence time after a forestation of grassland with three tree species. Soil Biol. Biochem. 43: 1341-1349.
- Jackson, ML. 1970. Análisis Químico de los Suelos. Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona, 662 pp.

- Jiménez, JJ; K Lorenz & R Lal. 2011. Organic carbon and nitrogen in soil particle-size aggregates under dry tropical forests from Guanacaste, Costa Rica — Implications for within-site soil organic carbon stabilization. *Catena* 86:178-191
- Kottek, M; J Grieger; C Beck; B Rudolf & F Rubel. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15:259-263.
- Lupi, AM; M Conti; R Fernández; D Cosentino & G López. 2007. Efecto de las prácticas de repoblación forestal sobre el carbono orgánico del suelo y la estabilidad de los agregados en el noreste de Argentina. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 2007 16(3), 230-240.
- Lupi, AM; ME Conti & RA Fernández. 2012. Calidad del carbono orgánico del suelo en diferentes técnicas de manejo de residuos forestales. *Ciencia Forestal*, vol. 22, núm. 2, abril-junio, 2012, pp. 295-303.
- Pastor, J; RH Gardner, VH Dale & WM Post. 1987. Succession changes in nitrogen availability as a potential factor contributing to spruce declines in boreal North America. *Can. J. For. Res.* 17: 1394-1400.
- Peña Zubiate, CA; D Maldonado Pinedo; A D'Hiriart; & AA Marchi. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. Tomo II. SAGPyA. Proyecto PNUD/ARG 85/019. INTA. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Imprenta La Paz. Buenos Aires, Argentina.
- Pulido-Moncada, M; B Flores; T Rondón S; RM Hernández & Z Lozano . 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, inceptisol y ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* v.22 n.3. Venezuela.
- Sá Pereira, E; M Duval; JO Iglesias & JA Galantini. 2015. Efecto de diferentes manejos sobre las Fracciones orgánicas en un Argiudol. *Rev. Impacto de los sistemas actuales de cultivos sobre las propiedades químicas del suelo* 1ª ed . Bordenave, Buenos Aires: Ediciones INTA. Pp. 127
- Saiz, JE; C Vera Bravo & CV Luna. 2014. Guía de buenas prácticas forestales para la provincia de Corrientes. Pag 24. 1a ed. — Bella Vista, Corrientes: Ediciones INTA. E-Book. <http://inta.gob.ar/documentos/guia-de-buenas-practicas-forestales-para-la-provincia-de-corrientes>.
- Sánchez, PA. 1981. Suelos del Trópico. Características y Manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica
- Schlatter, JE; Otero L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. En *Rev. Bosque*. Vol.16, no.1, p.29-46. Valdivia, Chile.
- Six, J; ET Elliott & K Paustian. 2000. Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1042-1049.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Toledo, DM; HC Dalurzo & S Vázquez. 2010. Fosfatasa ácida en oxisoles bajo cultivo de tabaco. *Ci del suelo (Argentina)*. Vol. 28 (1) 33-38.
- Toledo, DM; JA Galantini; E Ferreccio; S Arzuaga; L Giménez & S Vazquez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ci del suelo (Argentina)* Vol.31 (2) 201-212.
- Toledo, DM; JA Galantini; HC Dalurzo; S Vazquez & G Bollero. 2013. Methods for Assessing the Effects of Land Use Changes on Carbon Stocks of Subtropical Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:1542–1552. doi:10.2136/sssaj2013.03.0087.
- Tosin, JE. 1977. Influencia do *Pinus elliottii*, da *Araucaria angustifolia* e da mata native sobre microflora do solo. *Floresta*. 8; 73-74.
- Turner, J & M Lambert. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in Eastern Australia. *Forest Ecol Manag.*133: 231–247.
- Uasuf, A & J Hilbert. 2012. El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a bioenergía en la Argentina. *Informes Técnicos Bioenergía*. Año 1 N° 3. ISSN 2250-8481. Trabajo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en el marco del proyecto internacional BABETHANOL.
- Zinn, YL; DVS Resck & JE da Silva. 2002. Soil organic carbon as affected by forestation with Eucalyptus and Pinus in the cerrado region of Brazil. *Forest Ecol Manag.*166: 285-294.