

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN.
MODALIDAD TESINA**

AUTOR: GÓMEZ, Ramiro Joaquín

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

**TEMA: “Indicadores de calidad de suelo de orden
químico y biológico en sistemas naturales y forestales
de Corrientes”**

AÑO 2019

RESUMEN:

La provincia de Corrientes, con alrededor de 516 mil ha contiene la mayor superficie de bosques implantados de la República Argentina. Esta superficie se encuentra dividida de la siguiente manera: 352.171,69 hectáreas de *Pinus sp* (Pi), 161.972,29 hectáreas de *Eucalyptus*, 2.567 hectáreas en la que se distribuyen otras especies. Los cambios en el uso de suelo, debido a la actividad forestal pueden provocar alteraciones y disminución en la calidad del mismo. Por ello se considera necesario detectar estos cambios mediante el uso de los llamados indicadores de calidad de suelo (IC). El objetivo general de este trabajo fue evaluar el impacto del sistema forestal de *Pinus sp*. (Pi) sobre la calidad de los suelos del Departamento Ituzaingó, ubicado al NE de la provincia de Corrientes, en la región fitogeográfica “Distrito de campos correntinos misioneros (Figura 1)”. El área se caracteriza por la presencia de suelos Alfisoles y Ultisoles. Para la evaluación de los distintos indicadores, se tuvieron en cuenta: un Tratamiento (Pi) correspondiente a *Pinus sp* y un Testigo (Pz) correspondiente a suelo con tapiz natural (pastizal). Para el Pi, se muestrearon 3 lotes al igual que en el caso del Testigo Pz. Por cada lote se delimitaron al azar 5 sitios tomando muestras compuestas de suelo a 4 profundidades: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 y 0,30-1,00 m. Las variables analizadas fueron: pH, Textura, Acidez y aluminio intercambiables (H y Al^{+3}). Capacidad de intercambio efectiva (CICe), Nitrógeno total (NT), Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), carbono soluble en agua (COS), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico Infostat mediante Análisis de la Variancia, comparación de medias entre tratamientos a través de una Prueba LSD ($P < 0,05$). Los atributos de suelos estudiados que resultaron sensibles a los cambios en el uso del suelo fueron: pH, nitrógeno potencialmente mineralizable, carbono orgánico, nitrógeno total, acidez y aluminio intercambiables. El uso forestal produjo una acidificación del suelo y cambios en la actividad biológica, puestos de manifiesto en los valores de pH, acidez y aluminios intercambiables, nitrógeno potencial. El reemplazo del pastizal natural por el uso forestal afectó la calidad de suelo produciendo una disminución del carbono orgánico total y de macronutrientes como N, Ca, Mg y K.

INTRODUCCION:

El suelo es un recurso indispensable para la vida que permite el desarrollo de las plantas, los animales y el hombre. Sin embargo, aún no se reconocen todas las funciones que realiza, por lo que el concepto general de suelo fértil se refiere más bien a sus propiedades químicas, específicamente a la disponibilidad de los macroelementos como el nitrógeno, fósforo y potasio (García *et al.*, 2012).

Cuando al suelo se le reemplaza su tapiz vegetal original, por otro a fin de volverlo más rentable, puede provocar un conjunto de cambios y alteraciones en el mismo, a nivel tanto físico, químico como en sus componentes biológicos.

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 en la investigación en busca de la sostenibilidad del bosque y de las funciones de los ecosistemas (FAO, 2011).

La República Argentina se halla ubicada en el extremo sureste de América del Sur, en ella se encuentra la provincia de Corrientes, ubicada al noreste de la misma en las coordenadas: norte 27° 15' de latitud sur, oeste 59 37' de latitud oeste, sur 30 44' y este 55° 40'. (Fig. 1). Ésta, cuenta con la mayor superficie de bosques implantados del país, siendo el género *Pinus* el que abunda con 68,25% del total de las hectáreas implantadas (Gobierno de la provincia de Corrientes, 2019).

La gran cantidad de superficie ocupada por esta especie nos obliga a estar atentos a los cambios que puede producir este sistema sobre el suelo haciendo énfasis en su calidad.

El poder detectar los cambios producidos por el uso del suelo a través de indicadores de calidad de suelo, puede brindar una herramienta clave para conocer el estado actual de los suelos, el impacto del uso y generar mejores estrategias de manejo con fines de sustentabilidad, evitando la su degradación.

No está de más mencionar que llamamos "calidad del suelo" (CS) a la capacidad del suelo 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).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el impacto del sistema forestal con *Pinus sp.* sobre la calidad del suelo en el noreste de la Provincia de Corrientes.

Objetivos Específicos

- Determinar indicadores de calidad de orden químico y biológico.
- Evaluar su sensibilidad para detectar cambios en el uso del suelo.

HIPOTESIS DE TRABAJO

- El sistema forestal con *Pinus sp.* produce acidificación del suelo y cambios en la actividad biológica del mismo.

- El reemplazo del pastizal natural por el uso forestal afecta la calidad de suelo produciendo una disminución del carbono orgánico total y de macro nutrientes como N, Ca, Mg y K.

ANTECEDENTES

La provincia de Corrientes, presenta la mayor superficie de bosques implantados de Argentina con alrededor de 516 mil ha, de las cuales 352.171 hectáreas corresponden a *Pinus* sp.; 161.972 ha a *Eucalyptus*, y 2.567 ha de otras especies. (Gobierno de la provincia de Corrientes, 2019).

La gran heterogeneidad de suelos en Corrientes y el clima subtropical sin estación seca, hacen que exista una gran factibilidad de adaptación de especies de rápido crecimiento. Dentro de los órdenes reconocidos de suelos, los Alfisoles ocupan el 29,4 % de la superficie provincial y le siguen los Molisoles con 28,3 %, Entisoles 18,8 %, Inceptisoles 7 %, Vertisoles 6,3 %, Ultisoles 4,2 % y por último los Histosoles con 3,9% (Escobar *et al.*, 1996).

En la Mesopotamia, el desmonte para habilitar tierras para cultivos, da inicio a la degradación de las tierras llegando a elevadas tasas de pérdidas por erosión hídrica. (SAGPyA e INTA, 1990. Cit. Toledo, 2018)

El uso del suelo provoca cambios en la CS ya que impacta sobre las propiedades físicas, químicas y/o biológicas. Esta la podemos definir en base a tres puntos claves según Astier (2002):

- a) La productividad del suelo, que se refiere a la habilidad del mismo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- b) La calidad medio ambiental, entendida como la capacidad de un suelo para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos, y cualquier posible daño hacia el exterior del sistema, incluyendo también los servicios ecosistémicos que ofrece (reservorio de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, recarga de acuíferos, etc.).
- c) La salud, que se refiere a la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos.

Estimar la calidad de los suelos es importante, puesto que contribuye a establecer la sustentabilidad de los diferentes sistemas de manejos. Los suelos con alta calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo disturbio ambiental. (Ferrerías *et al.*, 2008)

Los indicadores de la CS, constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema. (García *et al.*, 2012).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas pueden ser buenos indicadores de CS, aunque la mayoría no son universales, varían en función del ambiente, el tipo de suelo (Shukla *et al.*, 2005) y la escala de estudio (Toledo, 2014).

Estos para ser considerados indicadores tienen que cumplir con una serie de condiciones (Masería *et al.*, 1999 en Ramírez, 2004)

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.
- Deben ser sensibles a los cambios que sufre el suelo, tanto en los procesos de degradación como en los de recuperación.
- Debe haber una alta correlación con los procesos del ecosistema.
- Deben integrar los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.
- Deben ser relativamente fáciles de medir en condiciones de campo, tanto por los productores como por los especialistas.

Un importante indicador de CS y de sustentabilidad de los sistemas es la materia orgánica del suelo (MOS) (Reeves, 1997). Su cantidad y calidad pueden ser modificadas por factores naturales y antrópicos. Muchos autores concuerdan en que 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 *et al.*, 2006).

Por otra parte, las fracciones más lábiles de la MO como la materia orgánica particulada (MOP) y el carbono soluble en agua, son consideradas las fracciones más dinámicas de carbono en los suelos y una porción de este es rápidamente disponible como sustrato para la actividad microbiana (McGill *et al.*, 1986; Toledo, 2014).

El principal constituyente del a MO es el carbono, que llega a representar entre el 40% y 60% dependiendo del estado de transformación, teniendo marcado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de allí la importancia de su cuantificación como uno de los indicadores más importantes de la calidad del mismo. (Bustos, 2016). El contenido de MO, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad, 2) sustentabilidad) y 3) capacidad productiva. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) es una medida de la capacidad que tiene el suelo, a su pH, para adsorber cationes equivalentes a la carga negativa del suelo que está influenciada por el contenido de MO y la cantidad y tipo de arcilla (Jaramillo, 2002).

El nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) es otro importante indicador de calidad, el cual es una aproximación del nitrógeno que estará disponible para los vegetales en el próximo ciclo de cultivo, por cuanto es esencial al considerar la nutrición de los cultivos (Waring y Bremner, 1964; Toledo *et al.*, 2013).

El cambio de uso del suelo afecta los niveles de carbono y nitrógeno en, principalmente a través de la pérdida y aceleración de los procesos de oxidación, que alteran la cantidad y composición de la materia orgánica (Rivas *et al.*, 2009).

El estudio de las fracciones orgánicas como el carbono soluble y el carbono fácilmente oxidable, resultan atributos sensibles al manejo del suelo y a la naturaleza de los residuos y/o estado cultural al momento del muestreo (Mandolesi *et al.*, 2014).

Galantini *et al.* (2016), estudiaron en un Argiudol bajo labranza cero y convencional, la variación de la cantidad y calidad de las fracciones orgánicas respecto a la profundidad del perfil de suelo, y destacaron que principalmente la cobertura de residuos afecta la dinámica de la descomposición de la MOS y de la humificación a través de la profundidad del suelo.

Arzuaga *et al.* (2016), investigaron los stocks y relaciones de estratificación del carbono y del nitrógeno bajo sistemas forestales, y concluyeron que la eliminación de la selva y su reemplazo por *Pinus sp.* en suelos rojos provocó una pérdida del 28% del stock de carbono y del 51% del stock de nitrógeno, indicando degradación y pérdida de CS por el uso forestal.

Autores como Doran y Parkin (1996), señalaron la necesidad de determinar indicadores físicos, químicos y biológicos como: Nitrógeno total (N), nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), potasio extraíble (K) y respiración del suelo.

Los indicadores de calidad (IC), varían de acuerdo al tipo de suelo, sistema de manejo y condiciones ambientales (entre otros factores), motivo por el cual no se debería poner énfasis en presentar un conjunto mínimo universal (CMI universal), si no en plantear una metodología de selección mediante la cual puedan obtenerse los indicadores apropiados para cada situación en particular (Romaniuk, 2011).

Algunos autores como Dalurzo *et al.* (2005,) y Toledo *et al.* (2015), han efectuado estudios de CS en suelos rojos bajo cultivo agrícola, determinando como indicadores de calidad a los siguientes atributos del suelo: macro y microporosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, MO, nitrógeno total, MOP, fósforo orgánico, capacidad de intercambio efectiva, el stock de carbono y la actividad de la fosfatasa ácida entre otros.

Resulta fundamental, como se ejemplificó en los párrafos anteriores, evaluar el impacto del uso forestal sobre los distintos atributos del suelo y su fertilidad, determinando indicadores de calidad, a fin de evaluar los cambios producidos por el uso y la calidad actual de los suelos bajo los sistemas naturales y forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Se trabajó con muestras de suelo que fueron tomadas en el Departamento de Ituzaingó, ubicado al NE de la provincia de Corrientes, en la región fitogeográfica “Distrito de campos correntinos misioneros” en el marco de un Proyecto de la Cátedra de Edafología.

Se efectuó un diseño de muestreo completamente al azar, con dos tratamientos: un Tratamiento correspondiente a *Pinus sp.* (Pi) y un Testigo correspondiente a suelo con tapiz natural del tipo pastizal (Pz).

Para el Pi, se muestrearon 3 lotes al igual que en el caso del Testigo Pz.

Por cada lote se delimitaron al azar 5 sitios tomando muestras compuestas de suelo a 4 profundidades: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 y 0,30-1,00 m.

Variables:

En laboratorio sobre las muestras de suelo previamente secas al aire, molidas y tamizadas con malla de 2 mm, se efectuaron los siguientes análisis:

- pH: por potenciometría en relación 1:2,5 en agua (Dewis y Freitas, 1970).
- Textura: Método de Bouyoucos. (Dewis y Freitas, 1970).

- Acidez y aluminio intercambiables (Dewis y Freitas, 1970).
- Capacidad de intercambio catiónico efectiva (Dewis y Freitas, 1970)
- Nitrógeno total (NT) y Carbono orgánico total (COT) por combustión seca con analizador C y N-LECO (Gasparoni, 2008).
- Nitrógeno potencialmente mineralizable (Waring y Bremner modificado por Keeney, 1982 Cit. en Page *et al.*, 1982).
- Carbono disuelto en H₂O (COD): extractado en agua destilada y determinado por oxidación con Dicromato de Potasio (Burford y Bremner, 1975).

Análisis estadístico:

Se aplicó análisis de la variancia y se efectuaron comparaciones de las medias entre tratamientos mediante prueba de LSD ($P < 0,05$). Se utilizó el software estadístico Infostat Profesional (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Los suelos bajo estudio resultaron de textura entre franco arenosa y franco arcillo arenosa, considerando los porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos (Tabla 1), y su aplicación en el triángulo textural de la USDA (Fig.2), la mayor fracción correspondió a la gruesa representada por la arena y tomó valores medios entre 57,9 y 60 %.

pH:

Los suelos resultaron ácidos, siendo el tratamiento Pi el que presentó un valor de pH menor con respecto al tratamiento Pz (Tabla 3). Esta reacción tiene 2 posibles factores, la primera el valor más elevado de ion (Al^{+3}) que al hidrolizarse provoca una liberación de (H^+) dando como consecuencia una disminución del valor de pH (Bernier y Alfaro, 2006). La segunda es a causa de las acículas de pino, que al descomponerse liberan ácidos orgánicos en mayores cantidades. Una descomposición restringida impide, por un lado, la adecuada disponibilidad de elementos nutritivos para el rodal y, por otro, favorece la formación de ácidos orgánicos menos estables y de efecto ácido más pronunciado (Schlatter, 1987).

Poner tabla 3 en este lugar

Carbono soluble en agua (COD):

Los suelos bajo pastizal presentaron los mayores valores de carbono soluble, los cuales disminuyeron con la profundidad del perfil, en superficie tomo valores medios de 98 ppm, en tanto que a mayor profundidad fue de 19 ppm (0,3 a 1 m).

En los suelos bajo forestaciones con pino, los valores de COD, oscilaron entre 84 ppm (en superficie) y 10 ppm en profundidad (0,3 a 1 m). Si bien los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos esperables (Burford y Bremner, 1975), son necesarias mayores repeticiones y puesta a punto del método empleado lo cual seguirá siendo realizado por integrantes de la cátedra en el marco de un proyecto mayor.

Carbono orgánico total (COT):

El carbono orgánico en todas las situaciones bajo estudio, disminuyó con la profundidad del suelo (Tabla 3).

El mayor valor con diferencia significativa se presentó en el tratamiento Pz con 3,28% en los primeros 0,10 m, en comparación a los suelos con Pi donde presentaron un valor de 2,77%. Si bien las en las profundidades de 0,20 y 0,30 m hubo mayor cantidad de COT no hubo diferencia significativa. Al metro de profundidad nuevamente se encuentran diferencias significativas, siendo el pastizal el que presenta mayor valor 1,03% mientras que pino 0,77%

La principal fuente de C es aquella que corresponde al fijado por las plantas desde la atmosfera por fotosíntesis (Imbillone *et al.*, 2010). La entrada de carbono al suelo está regulada por los vegetales presentes y por cuándo, cómo y durante cuánto tiempo permanecen en el sitio (Echeverría y García, 2014).

Este comportamiento se atribuye a la mayor cantidad de materia orgánica que se encuentra entre los primeros 0,2 m de suelo, proveniente del mayor número de raíces que se presentan en los primeros centímetros del perfil (Botero, 2013). La descomposición de las raíces muertas presenta beneficios para la formación y estabilidad de la estructura del suelo. A la cosecha de los cultivos, el C almacenado derivado de las raíces alcanza 50 % del C total, mientras tan sólo el 13 % corresponde a biomasa aérea (Gale *et al.*, 2000). A su vez factores como humedad, temperatura y pH pueden intervenir en los procesos biológicos de descomposición de esos residuos.

Nitrógeno total (NT):

En ambos tratamientos, el contenido de NT fue mayor en superficie con 0,27% en Pz y 0,18 % en Pi y disminuyó con la profundidad con un valor final de 0,07 % para pastizal y 0,03%, lo cual está asociado a la distribución de la materia orgánica en el perfil. En ecosistemas terrestres más del 90% del N existente proviene de la materia orgánica del suelo, siendo de importancia el N contenido en los residuos vegetales ya animales (Echeverría *et al.*, 2014).

Los mayores valores se presentaron en suelo bajo pastizal natural (Tabla 3). El contenido de N orgánico en suelos prístinos varía ampliamente dependiendo de los factores formadores del suelo. Cuando los suelos son disturbados por la actividad antrópica, el contenido de N orgánico disminuye progresivamente hasta alcanzar un nuevo nivel de equilibrio, el cual puede ser sustancialmente menor que aquel suelo inalterado (Echeverría *et al.*, 2014).

Esto puede ser explicado por el efecto de la materia orgánica aportada por las raíces de las distintas especies, mientras que los pinales presentan raíces más gruesas y menor cantidad. En los pastizales las distintas especies herbáceas que se desarrollan ahí aportan una mayor cantidad de materia orgánica que luego del proceso de mineralización aportara un mayor contenido de nitrógeno que los pinos. Además, las distintas relaciones de pH y actividad microbiana. Los contenidos de NT se encuentran íntimamente relacionado a los contenidos orgánicos del suelo.

Nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM):

El mayor valor para mineralización de nitrógeno correspondió a la situación natural.

Bajo pastizal el NPM fue de un valor promedio de 0,01 ppm, y superó al obtenido en el tratamiento pino que mostró un valor de 0,003 ppm, con diferencias significativas (Tabla 2). Esto se atribuye a 2 factores principales que mostraron variación en ambos tratamientos, la relación carbono/nitrógeno calculada en superficie fue de 15 en pino y de 12 para pastizal, cuando dicha relación es elevada, los microorganismos necesitan nitrógeno adicional, cuya asimilación les permite formar sus propias proteínas (López,

1999). Este proceso, origina un descenso temporal en la concentración de NO_3^- (inmovilización), lo que demuestra que la relación C/N juega un papel crucial en relación con el nitrógeno potencialmente asimilable (Appel Y Mengel, 1990) Lo cual se atribuye a la mayor acidez en suelos bajo pino.

El pH del suelo tiene un efecto fuerte en la tasa de nitrificación. En general, la nitrificación se detiene una vez que los valores de pH caen debajo de 4,5 o se incrementan por arriba de 9. (Cabrera, 2007). El uso del suelo afectó negativamente el potencial de mineralización de N.

Calcio y Magnesio

Los mayores valores de Ca y Mg se presentaron en Pz, con valores de 1,01 y 0,3 meq/100g suelo respectivamente. Aunque no presentaron diferencias significativas en comparación al pinal (Tabla 2).

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores esperados para suelos ácidos de reciente formación. En ambos tratamientos los valores de Ca y Mg fueron bajos si tenemos en cuenta a Cabalceta y Molina (2006) quienes determinaron que valores < 2 meq/100g suelo de Ca y valores de Mg $< 0,6$ meq/100g suelo, son propios de suelos deficientes en estos macroelementos.

Acidez y aluminio intercambiables:

En relación a la acidez (H^+ y Al^{+3}) esta se presentó con un valor mayor en los suelos bajo Pi 4,13 meq/100g suelo en contraposición al Pz 3,34 meq/100gsuelo (Tabla 2) con diferencias significativas. Esto se relaciona con las reacciones de hidrolisis que se produce con el aluminio en suelos ácidos.

El aluminio intercambiable presente en la solución del suelo es reconocido como uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo. Estos iones se desplazan desde las arcillas por otros cationes se hidrolizan para formar complejos de hidroxialuminios y liberan de ese modo (H^+) (Bernier, 2006). Como puede verse en la Tabla 2, el contenido de Al intercambiable bajo *Pinus sp* supera considerablemente al de los pastizales con diferencias significativas ($P < 0,0001$), lo cual se asocia al pH.

Capacidad de intercambio catiónico efectiva:

Si bien se puede observar un valor mayor de CICE en los suelos bajo uso forestal (6,51 meq/100g suelo) respecto a pastizal (6,09 meq/100g suelo), las diferencias entre tratamientos no fueron significativas y los valores correspondieron en ambos casos a una baja capacidad de intercambio catiónico (Tabla 2). La CICE es un índice de la fertilidad del suelo, valores de 8 a 10 meq/100g suelo son considerados mínimos aceptables para un horizonte A, para poder tener una producción satisfactoria, estando los demás factores a niveles adecuados (Porta et al 1994).

CONCLUSIONES

- Los atributos de suelos estudiados que resultaron sensibles a los cambios en el uso del suelo fueron: pH, nitrógeno potencialmente mineralizable, carbono orgánico, nitrógeno total, acidez y aluminio intercambiables.
- El uso forestal produjo una acidificación del suelo y cambios en la actividad biológica puestos de manifiesto en los valores de pH, acidez y aluminio intercambiables, nitrógeno potencial por cuanto se acepta la primera hipótesis planteada: “El sistema forestal con *Pinus sp.* produce acidificación del suelo y cambios en la actividad biológica del mismo”.

- Con respecto a la segunda hipótesis propuesta "el reemplazo del pastizal natural por el uso forestal afecta la calidad de suelo producido una disminución del carbono orgánico total y de macro nutrientes como N, Ca, Mg y K", si bien se observaron fluctuaciones en los niveles de Ca, Mg estos no fueron suficientemente significativos como para poder dar por cierto al planteamiento, en el caso del carbono solo se pudieron observar diferencias significativas en superficie, presentándose una caída de los contenidos orgánicos bajo uso forestal.

TABLAS:

Tabla 1: Los análisis de textura fueron realizados por el método de Bouyoucos en las primeras profundidades del suelo: Los siguientes datos fueron tomados a una profundidad de 10 cm en el punto cardinal sur para los 2 tratamientos “pino” y “pastizal”.

	Pino	Pastizal	CV	p-valor
ARENA (%)	57,9 A	60,31 A	8,56	0,2021
LIMO (%)	21,79 B	16,85 A	19,83	0,0015
ARCILLA (%)	20,30 A	22,84 A	17,31	0,0730

Tabla 2: Los siguientes datos fueron tomados a una profundidad de 10 cm en el punto cardinal sur para los 2 tratamientos “pino” y “pastizal”. Nitrógeno potencialmente mineralizable. (NPM), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), acidez intercambiable (H), aluminio intercambiable (Al), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).

	Pino	Pastizal	CV	p-valor
NPM (ppm)	0,003 A	0,01 B	55,7	< 0,0001
Ca (meq/100gsue)	0,84 A	1,01 A	25,81	0,0661
Mg (meq/100gsue)	0,36 A	0,40 A	51,73	0,5937
K (meq/100gsue)	1,17 A	1,34 B	14,61	0,0217
H (meq/100gsue)	4,13 B	3,34 A	22,81	0,0176
Al (meq/100gsue)	2,6 B	1,71 A	23,52	<0,0001
CICE (meq/100gsue)	6,51 A	6,09 A	16,65	0,2843

Tabla 3: Los valores obtenidos provienen de los muestreos en profundidad de 0 a 100 cm en el punto cardinal sur de ambos tratamientos (pino y pastizal) para los atributos: pH, nitrógeno total (NT) y carbono total (CT) efectiva (CICE).

	Profundidad (cm)	Pino	Pastizal	CV	p-valor
COT (%)	10	2,77 A	3,28 B	17,16	0,0115
	20	1,99 A	2,00 A	13,33	0,4254
	30	1,19 A	1,31 A	15,5	0,0962
	100	0,77 A	1,03 B	11,08	<0,0001
NT (%)	10	0,18 A	0,27 B	33,04	<0,0033
	20	0,13 A	0,17 B	25,8	0,0381
	30	0,08 A	0,09 A	40,37	0,2138
	100	0,03 A	0,07 B	45	<0,0001
pH	10	4,88 A	5,17 B	4,91	0,003
	20	5,14 A	5,28 A	4,68	0,1063
	30	5,17 A	5,33 A	42,46	0,01782
	100	5,42 A	5,42 A	3,22	0,9731

FIGURAS:

Figura 1: ubicación geográfica de la provincia de corrientes y sus límites políticos

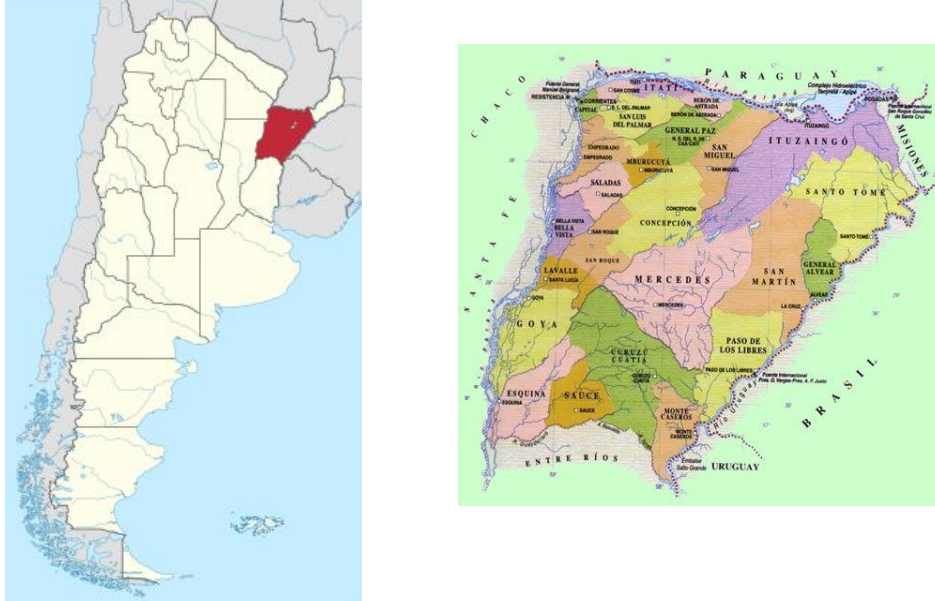
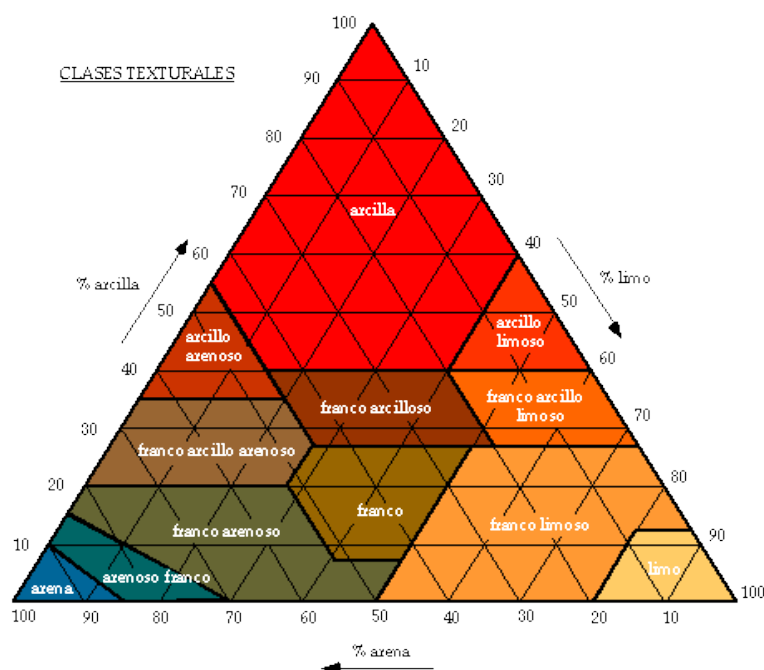


Figura 2: Triángulo textural (USDA)



BIBLIOGRAFÍA:

- Appel, T y K Mengel. 1990. Importance of organic nitrogen fractions in sandy soils, obtained by electroultrafiltration or CaCl_2 , for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. *Biol. Fertil. Soils* 10, 97-101.
- Arzuaga, S; DM Toledo; S Contreras Leiva y S Vázquez. 2016. Stocks y relaciones de estratificación del carbono y nitrógeno en Oxisoles bajo sistemas forestales. Vol. 34(1) *Ci Suelo*.
- Astier, M; M Maass y J Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable.
- Bernier, R y M Alfaro. 2006. Aluminio intercambiable. En: *Acidez de suelo y efecto del encalado*. INIA Pag 14.
- Botero, R. 2013. Renovación de pasturas degradadas en suelos ácidos de América Tropical. Engomix.
<https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/renovacion-pasturas-degradadas-suelos-t29932.htm>
- Burford, J y J Bremner. 1975. Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter. *Soil Biology y Biochemistry* 7: 389–394.
- Bustos, A. 2016. Carbono Orgánico total y particulado: potenciales indicadores de calidad en suelos de la región pampeana bajo siembra directa.
- Cabalceta, G y, E Molina. 2006. Niveles críticos de nutrientes en suelos usando solución extractora Melich 3. *Agronomía Costarricense* 30(2): 31-44. ISSN:0377-9424 / 2006.
- Cabrera, M. 2007. Mineralización y Nitrificación: Procesos Claves en el Ciclo del Nitrógeno.
- Dalurzo, HC; DM Toledo y S Vázquez. 2005. Parámetros químicos y biológicos en Oxisoles con uso citrícola. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 23 (2): 159-165.
- Dewis, J. y 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 y CW Robledo. 2011. InfoStat, Versión 2011. Grupo InfoStat. FCA, UNC, Córdoba, Argentina.
- Doran, JW y TB Parkin. 1996. Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. In: Doran, JW y A J Jones. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. Special Publication No. 49, Soil Science Society of America, Madison, 1996, pp. 25-37.
- Echeverría, HE y FO García. 2014. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA ediciones. Pp 194-195.
- Escobar, EH. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes, INTA. Pp. 258.

- 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>
- Ferreras, L; G Magra; F Besson; E Kovalevski y F García. 2008. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa 2008.
- Galantini, JA y R Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res.* 87:72-79.
- Galantini, JA; M Duval; JM Martínez; V Mora; R Baigorri y JM García-Mina. 2016. Quality and Quantity of Organic Fractions as Affected by Soil Depth in an Argiudoll under Till and No-till Systems. *International Journal of Plant y Soil Science* 10(5).
- Gale, WJ; CA Cambardella y T. Bailey. 2000. Surface residue and root derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 196-201.
- García, Y.; W Ramírez y S Sánchez. 2012 indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes vol.35 no.2*
- Gasparoni, JC. 2008. Determinación de la materia 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.
- Gobierno de la provincia de Corrientes. Ministerio de producción. 2019. Sector forestal Actualización del Inventario Forestal de Bosques Cultivados.
<https://www.mptt.gov.ar/site13/index.php/29-sector-forestal/2535-actualizacion-del-inventario-forestal-de-bosques-nativos>
- Imbillone, PA; JE Gimenez y JL Panigatti. 2010. Suelos de la región pampeana. Procesos de formación. Ediciones INTA, C.A Buenos aires, Argentina.
- Jaramillo, D. 2002. Activo, set. 2005. El Intercambio Iónico. En Introducción a la Ciencia del Suelo. Fac. Ciencias – Medellín de la Universidad Nacional de Colombia.
- Karlen, DL; MJ Mausbach; JW Doran; RG Cline; RF Harris; y GE Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 4-10.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-Availability Indices. In: Page AL et al (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties.* Nº 9. SSSA, Madison, EEUU.
- López, JA. 1999. Nitrógeno potencialmente mineralizable en. Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestra y elección de tipos de fertilizantes. *Sociedad española de ciencias de suelo.* Pag 5.
- Mandolesi, ME; R Storniolo; ML Manso; HJ Forján y M de las M. Ron. 2014. Fracciones granulométricas y carbono orgánico oxidable en un suelo típico del centro sur bonaerense (Argentina). *CI SUELO (Argentina)* 32(2): 159-170.
- Martínez, E; JP Fuentes y E Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. En R.C. *Suelo Nutr. Veg.* v.8 n.1 Temuco.

- Masera, O. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. GIRA. Mundi-Prensa e Instituto de Ecología-UNAM. México. 109 p.
- McGill, WB; KR Cannon; JA Robertson y FD Cook 1986. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton after 50 y. of cropping to rotations. *Can. J. Soil Sci.* 66:1-19.
- Porta, C; M López-Acevedo Reguerín y C Roquero De Laburu. 1994. Determinación de la CIC y cations intercambiables. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-prensa. Pp. 217.
- Ramírez, M. 2004). Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. En: Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Reeves, DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil y Tillage Res.* 43: 131-167
- Rivas, Y; C Oyarzún; R Godoy. y E Valenzuela. 2009. Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (mirb) oerst y una plantación de *Pinus radiata* d. don. del centro-sur de Chile. *Rev. chil. hist. nat.* v.82 n.1.
- Romaniuk, RL. 2011. Índices de calidad de suelos: evaluación en sistemas intensivos de producción Agrícola. Tesis doctoral de la universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 133p.
- Schlatter, JE. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo *Pinus radiata* D. Don en Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.
- Shukla, MK; L Lal y M Ebinger. 2005. Soil quality indicators for reclaimed mine soils in southeastern Ohio. *Soil Sci.* 169: 133-142.
- Toledo, DM; JA Galantini; H Dalurzo; S Vázquez y G Bollero. 2013. Methods for Assessing the Effects of Land Use Changes on Carbon Stocks of Subtropical Oxisols. *Soil Science Society of America Journal Abstract - Soil Chemistry*. Vol. 77 No. 5, p. 1542-1552.
- Toledo, DM. 2014. Calidad de suelo en agro-ecosistemas 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 en el Área de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.
- Toledo, DM; JA Galantini; SM Contreras Leiva y S Vázquez. 2015. Stocks de Carbono y Relaciones de Estratificación como Índices de Calidad en Oxisoles Subtropicales. En: Impacto de los Sistemas Actuales de Cultivos sobre las Propiedades Químicas del Suelo: Efectos sobre los Balances de Carbono. De Sá Pereira *et al.* (Eds.). Bs. As. Edic. INTA, 2015. Pag. 139-144.
- Toledo, DM; JA Galantini; SA Arzuaga y S Vázquez. 2018. Indicadores e índices biológicos de calidad de suelos en sistemas forestales. *Ciencias del suelo (Argentina)* 36 (2): 1-12, 2018

-Waring, SA. y JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature (London)* 201:951-952.