



# **TRABAJO FINAL DE GRADUCIÓN**

(Modalidad Tesina)

## **Cambios en contenido de Fósforo, Nitrógeno y Materia Orgánica luego de una reforestación con *Pinus elliottii*, en el Parque Chaqueño**

**Autor:** Walter Enrique Neuendorf

**Director:** Ing. Agr. (Dr.) Juan Prause

**Lugar de Trabajo:** Cátedra de Edafología

**Tribunal Evaluador:**

- Ing. Agr. (Dra.) Luna Claudia Verónica
- Ing. Agr. (Mgter) Slukwa Mario Antonio
- Ing. Agr. (Mgter) Bernardis Aldo Ceferino

## RESUMEN

Generalmente los suelos forestales, o no han sido nunca cultivados o han sido abandonados por la agricultura y presentan propiedades físicas y químicas poco favorables para la implantación de árboles. Muchos han resultado empobrecidos por el pastoreo o por la recolección de materia orgánica, o de vegetación destinada al abonado de las tierras agrícolas (Bonneau, 1978). Los objetivos de este trabajo fueron: a) evaluar los cambios edáficos producidos por la introducción de *Pinus elliotii* en el Parque Chaqueño Húmedo; b) cuantificar los contenidos de Fósforo, Nitrógeno y Materia Orgánica en un suelo reforestado con *Pinus elliotii* respecto al suelo con vegetación nativa. Para ésto se localizó un ecosistema forestal con una especie introducida con más de 30 años de implantadas de *Pinus elliotii* donde se seleccionaron cinco (5) árboles en condiciones sanitarias similares y tamaño. Además, se ubicaron dos parcelas con vegetación nativa, próximas a cada una de las forestaciones, cuyos suelos sirvieron como testigos. Se procedió a realizar la identificación de los diferentes suelos y posteriormente se efectuaron los muestreos, éstos fueron realizados en el año 2013 a diferentes profundidades; en la plantación y los sitios testigos fueron muestreados a un mismo intervalo, de acuerdo a las características edáficas halladas en el área de trabajo y según la descripción edafológica de los perfiles de suelos en la forestación. Una vez obtenidas las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se secaron, molieron y tamizaron para realizar los diferentes análisis: pH, textura, densidad aparente, materia orgánica, fósforo disponible. El diseño utilizado para este trabajo fue en parcela dividida con cinco repeticiones. Con los datos obtenidos para cada profundidad se realizó un análisis de medias entre suelo testigo y tratamiento para cada variable y un análisis de componentes principales para establecer la participación de éstas respecto a los sitios. Con el análisis de los datos se pudo concluir que en los sitios con *Pinus elliotii* el aporte de materia orgánica se incrementa con respecto al testigo. Las variables químicas no son tan representativas en estos sitios entre tratamiento y testigo.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus elliottii* (Engelm.) es una de las especies forestales más cultivadas en Argentina, siendo su madera utilizada para el aserrado, la industria papelera y la producción de tableros (SAGyP 1999). Esta especie, originaria del sudeste de Estados Unidos, se ha adaptado exitosamente a un amplio rango de condiciones ecológicas en nuestro país, alcanzando elevados niveles de productividad. En diferentes zonas de cultivo es frecuente encontrar rodales establecidos a partir de regeneración natural con diferente grado de desarrollo (Lombardi 1982; De Bellis 1986; Brassiolo y Seitz 1988; Cozzo *et al.*, 1988; Torres *et al.*, 1994). Dicho proceso ha alcanzado su máxima expresión en la Mesopotamia Argentina, pudiendo constituir un recurso atractivo tanto desde el punto de vista económico como ecológico (Lombardi 1982; Cozzo *et al.*, 1988; Cabrelli *et al.*, 1997).

La sobrevivencia de los ecosistemas forestales es vital para la humanidad, sin embargo, su pertinaz destrucción continúa desde tiempos remotos. El riesgo es tal que lo acumulado durante centurias por la naturaleza puede ser destruido en pocas décadas (Prause, 2013).

Los suelos de los ecosistemas forestales son un reservorio importante del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico (Wit *et al.*, 2006). La capacidad de los mismos para acumular y estabilizar el carbono (C) orgánico ha recibido una gran atención los últimos años debido a la posibilidad de ver en qué medida el incremento en el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico podría ser compensado por políticas de reforestación o determinadas prácticas silvícolas de gestión (Rovira y Vallejos, 2003). En particular, los suelos de los pinares acumulan una cantidad de 53,0 Mg C.ha<sup>-1</sup>; dentro del cual la cantidad de mantillo que aporta el pinar muestra una concentración de C que supone el 13% del total de C fijado en el ecosistema (Gallardo, 2011).

A pesar de que las propiedades químicas de los suelos forestales fueron ignoradas durante mucho tiempo, en los últimos años han ganado considerable atención. Se

reconoce que la demanda anual de nutrientes es alta para los árboles y el uso de estos nutrientes es muy eficiente, a causa del ciclo cerrado y la exploración del espacio radical hasta zonas profundas. Se ha otorgado una importancia todavía mayor a los factores de fertilidad del suelo, pero el agua disponible parece ser el determinante más importante de la productividad de muchas especies arbóreas. Así, la fertilidad del horizonte "A" está íntimamente relacionada con el ciclo biogeoquímico en los bosques, favoreciéndose con un ciclo rápido y biológicamente activo. Un ciclo limitado por efecto de clima, suelo o composición vegetal disminuye esa fertilidad, ya que su efecto se produce principalmente sobre el suelo. Por otra parte, el contenido de materia orgánica en el horizonte "A" y el espesor de éste, influyen decisivamente en las propiedades del suelo. En este horizonte se presenta la principal masa de raíces finas por lo que es fundamental una adecuada disponibilidad de elementos nutritivos para lograr un buen nivel de la producción forestal (Schlatter, 1991). En un rodal de quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*) utilizando el isótopo  $^{32}\text{P}$  se detectó que la mayor cantidad de raíces fisiológicamente activas se encuentran a 10 centímetros de profundidad (Prause y Marinich, 2000).

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad de éste, tanto en sus funciones agrícolas (ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales - entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con ella. La materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Roberts, 1996).

Una gran parte de los residuos orgánicos que alcanzan el suelo son mineralizados incluyendo las hojas, tallos, flores, frutas y otras estructuras de las plantas que en su conjunto conforman la hojarasca que va liberando lentamente bioelementos, que pueden ser reabsorbido por las raíces de los árboles (Schlesinger, 2000; Prause y Gallardo Lancho, 2003; Mendoza *et al.*, 2014). La capa orgánica regula la mayoría de procesos funcionales en los ecosistemas forestales (Wilcke *et al.*,

2002), protegiendo el suelo de la erosión y favoreciendo la infiltración (Roig *et al.*, 2005). Tal liberación de nutrientes en última instancia depende de muchas variables como: las características genéticas de las especies, variación de la composición química de la hojarasca, composición de microorganismos y actividad, condiciones ambientales; todos estos factores influyen en la tasa de liberación de nutrientes en cada ecosistema forestal (Aceñolaza *et al.*, 2009; Prause y Fernández López, 2012).

El contenido de materia orgánica del suelo oscila entre 1-4%; sin embargo, no es el contenido lo que más interesa, sino que la velocidad de transformación de ella. La velocidad y el equilibrio de los procesos de transformación dependen de la actividad de los microorganismos encargados de estas transformaciones, que a su vez está condicionada por diversos factores (Fuentes Yagüe, 2002).

*Pinus sp.*, constituyen un nutrido grupo de especies que son muy importantes en el mundo pues representan la base más sólida de la forestación con coníferas de rápido crecimiento. Entre las numerosas especies de *Pinus*, se destacan *P. elliottii* y *P. taeda* como las de más notoria difusión mundial para forestaciones comerciales, hallándose también forestaciones de *Pinus elliottii*, en la región oriental de la Provincia del Chaco. Habitualmente se las estudia y considera conjuntamente, aún cuando tienen importantes diferencias; ambas de extrema rusticidad, de gran capacidad de adaptación a una diversidad de climas y suelos; su rasgo más destacado es el de adecuarse a terrenos superficiales, pedregosos o de inundación y a los pobres o agotados, en los cuales se adaptan de manera tan favorable que se debe recurrir a ellas en situaciones muy inconvenientes de suelo, temperatura y humedad. *P. elliottii* es originaria del sur de USA, se distribuye en una área original restringida y de menor variación ecológica, que requiere buenas lluvias estivales, pero puede soportar sequías que no sean prolongadas y también fríos no muy fuertes luego de veranos cálidos, por lo que se la puede cultivar en zonas de gran amplitud climática (Cozzo 2007).

Considerando la comparación de suelos con vegetación natural respecto a forestados, se estima que la forestación con *Pinus elliottii* incrementará el contenido de fósforo, materia orgánica y nitrógeno total en la capa superficial respecto al sitio testigo.

## **OBJETIVOS**

- Evaluar los cambios edáficos producidos por la introducción de *Pinus elliottii* en el Parque Chaqueño Húmedo.
- Cuantificar los contenidos de Fósforo, Nitrógeno y Materia Orgánica en un suelo reforestado con *Pinus elliottii* respecto al suelo con vegetación nativa.

## **ANTECEDENTES**

La necesidad de un estudio por separado del suelo forestal a veces se ha puesto en tela de juicio, con la suposición de que un suelo forestal no es de ninguna manera diferente de un suelo agrícola, ganadero o frutícola. En un sentido más amplio, se considera que un suelo forestal es cualquier suelo que se ha desarrollado bajo la influencia de una cubierta forestal. A causa de las alteraciones en las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los suelos forestales como resultado de un manejo intensivo, es obvio que la diferencia entre suelos forestales y suelos agrícolas se ha vuelto progresivamente menos evidente (Pritchett, 1986; Young, 1991).

Está comprobado que el aporte de materia orgánica al suelo proveniente de la incorporación de los restos vegetales, puede ser considerable, y que es un factor importante en el ciclo de los nutrientes (van Wesemael, 1993; Schlesinger, 2000; Gallardo Lancho, 2000). En este ciclo, la biomasa y las velocidades de transformación y transferencia de los elementos nutritivos dependen, en gran

parte, de las condiciones edafológicas y climatológicas (Grimm y Fassbender, 1981; Duchaufour, 1983), puesto que el bosque natural es extraordinariamente eficiente a la hora de conservar sus elementos minerales (Raven *et al.*, 1992).

Hasta el presente, no se hallaron estudios en forestaciones con especies introducidas en el Parque Chaqueño sobre los aportes y descomposición de las hojas, cantidad de nutrientes aportados al suelo y cómo las forestaciones con especies exóticas pueden originar cambios ecológicos producidos como consecuencia de la sustitución de la vegetación nativa, por forestaciones con especies introducidas en el Parque Chaqueño Húmedo, modificando las propiedades físicas, físico-químicas y químicas de esos suelos.

Geomorfológicamente la Ecorregión del Chaco Húmedo es un bloque hundido, relleno con sedimentos de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Juramento, es el diseño de un paisaje con albardones y amplias depresiones interfluviales. Dominan procesos fluvio-morfológicos (Morello, 2012). El microclima pluviométrico es monzónico, concentrando el 60% de las precipitaciones entre Octubre y Abril en el Este, las lluvias anuales también se organizan en un gradiente E-O con más de 1.300 mm en el área de los grandes colectores fluviales y unos 750 mm en el deslinde con el Chaco Seco. Con respecto a los suelos, predominan los Alfisoles y Molisoles. Dentro de los Alfisoles dominan los Albacualfes y Natracualfes y entre los Molisoles dominan los Haplustoles (Morello, 2012).

Los pulsos naturales que regulan el desarrollo de la sucesión son inundaciones, fuego y pastoreo. Se practica la agricultura y ganadería, con altos riesgos de erosión por sobrepastoreo y de invasión de pastizales por leñosas. La zona fue sometida a un fuerte proceso de extracción forestal tradicional, allí donde existió mayor explotación para la obtención de tanino y luego con la extracción de especies de menor valor para la elaboración de leña y carbón (Morello, 2012).

De acuerdo con el nuevo modelo fitoclimático basado en los regímenes estacionales de la temperatura del aire y de la humedad del suelo (Bruniard, 2000), partiendo

solamente de los datos térmicos y pluviométricos medios mensuales, clasifica el régimen de Bosque abierto y Parque semideciduo característico del Chaco Húmedo oriental. Constituye un mosaico de bosques con grandes abras con pastizales, cuyos montos pluviométricos son intermedios entre el bosque xerofítico con espinosas y la selva. Se diferencia del umbrófilo por ser más abierto, con un estrato inferior con predominio de gramíneas y por la condición semidecidua de sus árboles por efectos de la sequía invernal; adquiere los caracteres diferenciados que le imprime la temperatura.

Muchos han resultado empobrecidos por el pastoreo o por la recolección de materia orgánica, o de vegetación destinada al abonado de las tierras agrícolas (Bonneau, 1978). En general, los productores forestales tratan de escoger una especie adaptada al suelo antes que adaptar el suelo a la especie elegida (Brassiolo y Seitz 1988). De ahí la gran atención que tienen que dedicar a las propiedades físicas y químicas del suelo.

En consecuencia, el aporte al suelo de hojarasca de especies introducidas en el Parque Chaqueño debería contribuir a generar cambios en el contenido de Materia Orgánica, Fósforo y Nitrógeno del suelo, como consecuencia de la reforestación con *Pinus elliotii* en la Eco-región del Chaco Húmedo.

En la región en estudio se determinaron los aportes de las principales especies nativas a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes realizado en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo (Prause, 1997) y derivado de éste trabajo, otros temas relacionados (Palma *et al.*, 1998; de la Horra *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2000; Prause y Marinich, 2000; Palma *et al.*, 2001; Palma *et al.*, 2002; Prause *et al.*, 2002; Prause y Gallardo Lancho, 2003; Prause *et al.*, 2003; Jiménez *et al.*, 2005; Effron *et al.*, 2006; Defrieri *et al.*, 2007; Prause y Fernández López, 2007). Al efecto, se trabajó con las siguientes especies nativas: *Astronium balansae* Engl.; *Gleditsia amorphoides* (Griseb.) Taub.; *Maclura tinctoria* (L) Gaud.; *Patagonula americana* L.; *Prosopis alba* L.; *Schinopsis balansae* Engl.



## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Trabajo a campo**

Se localizó un ecosistema forestal con una especie introducida con más de 30 años de implantadas de *Pinus elliotii* donde se seleccionaron cinco (5) árboles en condiciones sanitarias similares y tamaño. Además, se ubicaron dos parcelas con vegetación nativa, próximas a cada una de las forestaciones, cuyos suelos sirvieron como testigos.

### **Muestreo de suelos**

Se procedió a realizar la identificación de los diferentes suelos y posteriormente se efectuaron los muestreos, éstos fueron realizados en el año 2013 a diferentes profundidades y en todas las plantaciones fueron muestreadas a un mismo intervalo, de acuerdo a las características edáficas halladas en el área de trabajo y según la descripción edafológica de los perfiles de suelos en cada forestación. El lote de *Pinus elliotii* corresponde a la serie "Rio Negro" (Rb): Epiacualf mólico, familia arcillosa fina, hipertérmico (Cuadro 1), epipedon ócrico y horizonte argílico (Ledesma y Zurita, 1995). En esta misma serie de suelo se ubicaron los sitios donde se tomaron la muestras testigos.

Dicha serie se encuentra en bajos tendidos y cerrados y playa de estero, de relieve subnormal. Tiene un horizonte superficial color gris, con su base lixiviada; un subsuelo color gris, que descansa sobre un material gris oscuro. Perfil completo textura pesada. Moderadamente alto contenido de materia orgánica; alta capacidad de retención de agua hasta los 130 cm de profundidad estudiados; alto contenido en fósforo; muy fuertemente ácido; alta capacidad de intercambio de cationes; bajo porcentaje de saturación de bases. Sus problemas principales son acidez y anegabilidad. Es un suelo ganadero que debería tratarse como a los de Capacidad de Uso Vh1.

## **Trabajo de laboratorio**

Una vez obtenidas las muestras fueron llevadas al laboratorio en la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias donde se secaron, molieron y tamizaron para realizar los diferentes análisis previstos en el proyecto; consistiendo en secarlas al aire en bandejas plásticas, dejándolas que las mismas adquieran equilibrio con la humedad del aire (secado al aire). Luego se procedió a desmenuzar la muestra suavemente en un mortero con pilón y posteriormente fueron tamizadas con un tamiz de 2 milímetros.

### **Determinación del Potencial Hidrógeno (pH) (Dewis y Feitas, 1970)**

Mediante el uso de suspensión acuosa, en este caso con una relación "suelo-agua" de 1:2,5 (Dewis y Feitas, 1970). Se precedió a pesar 10 gramos de suelo colocándolos en un vaso de 50 mL. Luego se añadieron 25 mL de agua destilada, agitándose la suspensión durante 30 minutos. Finalizado el tiempo, se midió el pH. Cabe aclarar que previo a la medición del pH, se calibró el potenciómetro con soluciones reguladoras de pH 4,01 y 7,00; siguiendo las instrucciones del instrumento.

### **Textura método de Bouyoucos (Dewis y Freitas, 1970):**

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura.

En las determinaciones sobre textura se procedió a pesar 50 g de suelo luego se destruyó la Materia Orgánica con agua oxigenada 100vol y se lo llevó a Baño María. A continuación se agregó 10 ml de Hidróxido de Sodio 1M, se dejó reposar y luego se dispersó durante 10 minutos y una vez terminado este procedimiento

se colocó en una probeta de 1205ml se enrazó hasta 1130 ml con el densímetro dentro , inmediatamente después se agitó y luego se realizó la lectura en un lapso de 40 seg y se registró la densidad de la solución que arrojó el densímetro y también se tomó la temperatura de la solución; pasadas dos horas nuevamente se realizó la lectura del densímetro y el registro de temperatura. Se procedió en simultáneo a tomar lectura del blanco.

#### Determinación de Materia Orgánica (MO): Método de Walkey-Black (Page, 1982)

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad de éste, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía), como en sus funciones ambientales, entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica y la cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica edáfica.

La materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996). El método de Walkey y Black tiene la ventaja que casi no ataca al C elemental que puede haber presente, oxida la materia orgánica en un 77% y combinado éste con el porcentaje del C orgánico, se obtiene el valor  $1,72/0,77=2,23$  para transformar carbono orgánico en materia orgánica.

#### Procedimiento:

Oxidación de la MO: Se introdujo en un matraz Erlenmeyer de 125 ml una muestra de suelo de aproximadamente 0,10 g de suelo, que pasaron por tamiz N° 35 equivalente a una malla de 0,5 mm (para excluir las partículas más gruesas de arena que no contienen MO). A continuación, se añadió a la muestra de suelo 2,5 ml de  $K_2Cr_2O_7$  1N mezclando ambos mediante un movimiento impreso al matraz. Luego se agregaron 5 ml de  $H_2SO_4$  concentrado y se siguió mezclando mediante un giro suave del matraz, durante 1 minuto para asegurar el íntimo contacto del reactivo con la muestra, con cuidado para evitar que el suelo quede adherido a las

paredes del matraz y fuera de contacto con el reactivo. Se dejó la mezcla en reposo durante 30 minutos.

Valoración por retroceso: Se diluyó la solución con 50 ml de agua destilada y se añadió 1 ml de  $H_3PO_4$  al 95% y 5 ml de difenilparasulfonato de bario. Se valoró la solución por retroceso con el reductor "sal de Mohr" agregado gota a gota con una bureta. El color verde oscuro (debido a los iones de cromo) en un principio se desplaza hacia un azul turbio a medida que avanza la valoración. En el punto final este color, cambia bruscamente a verde brillante, dando el viraje con una gota.

Determinación de Nitrógeno total por microdigestión de Kjeldahl (Page, 1982)

### **Procedimiento:**

Micro-digestión: Se pesa aproximadamente 0,10 g de suelo tamizado por malla de 0,5 mm (Nº35) en tubos de ensayo aforados a 20 ml.

Se agrega aproximadamente 0,35 g de mezcla catalítica y 1 ml de ácido sulfúrico. Dejar en reposo por una noche. Comenzar el calentamiento lentamente para evitar salpicaduras. Aumentar la temperatura ( $350^{\circ}C$ ) manteniendo el anillo de condensación del ácido sulfúrico en el primer tercio del tubo de ensayo. Mantener el calentamiento hasta que la suspensión se clarifique. Enfriar. Diluir con agua destilada y enrasar a 20 ml.

Destilación por arrastre de vapor: Homogeneizar la suspensión. Tomar una alícuota de la muestra digerida (10 ml) y colocarla en un balón de Kjeldahl de 250 ml. Agregar 10 ml de  $H_2O$  y 10 ml de NaOH 10N. Conectar al equipo de destilación y comenzar a destilar. Recoger el destilado en 5 ml de solución mezcla indicadora colocada en un erlenmeyer de 50 ml, hasta el aforo de 25 ml.

Titulación: Valorar el destilado con  $SO_4H_2$  0,01N usando una microbureta hasta que el color verde cambie a rosado.

$$\%N = \frac{(P - B) \cdot N \cdot \text{fac}H_2SO_4 \cdot Vd. 100 \cdot 0,014 \cdot \text{fac}1}{g \text{ suelo} \times ml \text{ alícuota}}$$

Dónde:

B: ml de  $H_2SO_4$  gastados en el blanco.

P: ml de  $H_2SO_4$  gastados en el problema.

N: normalidad del ácido.

fac  $H_2SO_4$ : factor de corrección del ácido.

0,014: meq del N.

Vd: volúmen de dilución de la muestra.

fac1: factor de corrección por humedad.

#### Determinación de Fósforo Método Bray-Kurtz I (Page, 1982)

##### **Procedimiento:**

Extracción: pesar 3 g de suelo y poner en un erlenmeyer de 50 ml; agregar 21 ml de la solución extractora y tapar. Agitar durante 1 minuto exactamente y filtrar a través de papel de filtro Whatman N° 42 o equivalente. El filtrado debe ser claro, de lo contrario se vuelve a filtrar.

Preparación de la curva de calibración del colorímetro: en matraces de 10 ml, preparar por duplicado, como se describe a continuación: pipetear 1 ml de las soluciones de 2, 4, 6, 8 y 10 ppm de fósforo. Agregar 2 ml de la solución extractora ( $FNH_4-ClH$ ), 5 ml de agua destilada y 2 ml de la solución de ácido ascórbico. Enrasar a 10 ml y mezclar bien. La concentración final de P obtenida es 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1 ppm. A partir de los 25 minutos, hacer la lectura en fotolorímetro, midiendo Absorbancia en 880 nm. Calcular el factor de absorbancia que resulta del promedio de los factores para cada concentración (0,2/lec1...).

Medición del P del suelo: en matraces de 10 ml, pipetear 2 ml de extracto. Llevar aproximadamente a 6 ml con agua destilada, agregar 2 ml de la solución de ácido ascórbico y mezclar bien. Leer en fotolorímetro, luego de 25 minutos, la Absorbancia en 880 nm. Para calcular las ppm de P en suelo, se procede así:

$$ppm P \text{ en suelo} = \frac{ml \text{ ext} \times Vol. d \times (Lx / fac \text{ abs}) \times fc1}{g \text{ suelo} \times ml \text{ alícuota}}$$

Dónde:

Lx: lectura problema, dividida por el fac abs. (absorbancia).

Vol.d: volumen de dilución.

fac1: factor de corrección por humedad.

### **Análisis estadístico**

El diseño utilizado para este trabajo fue en parcela dividida con cinco repeticiones. Con los datos obtenidos para cada profundidad se realizó un análisis de medias entre suelo testigo y tratamiento para cada variable y un análisis de componentes principales para establecer la participación de éstas respecto a los sitios. Se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

## **DISCUSIÓN**

Los datos texturales se han determinado en ambos sitios para poder corroborar que se trate de “la misma serie de suelos”; se observa que, en el contenido de arcilla, coloide del suelo y principal responsable de los proceso físico-químicos y químicos (Duchaufour. 1983), en ambos horizontes se corresponde directamente entre sitio con tratamiento y testigo (Cuadro 2). Los contenidos de arena y limo varían entre ambos sitios sin diferir en la clase textural para cada profundidad.

Los resultados recabados de los procesamiento de las muestras manifiestan tanto la acción de las forestaciones sobre las propiedades del suelo como así también el efecto de los microorganismos, coincidiendo con observaciones presentadas por otros autores (Bonneau, 1978; Gallardo Lancho, 2000; Barea, 2004).

El funcionamiento de un ecosistema terrestre depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo. Particularmente, la calidad del suelo y la productividad vegetal dependen de múltiples y diversas reacciones de los

microorganismos que estos llevan a cabo en la zona afectada por las raíces de las plantas. En efecto, los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes son propulsados por microorganismos que, además, protagonizan diversas acciones que producen beneficios para las plantas (Barea, 2004).

La densidad aparente (Da) es menor en superficie que en profundidad sin presentar diferencias significativas (Cuadro 2). El pH se incrementó en los duelos del sitio con pino, sin embargo, las variaciones entre estas medias no llegan a ser significativas; estos parámetros en suelos tan ácidos debido a su empobrecimiento con el tratamiento recomponen sus niveles originales de pH. Según la descripción de esta serie de suelo hasta los 25cm de profundidad su pH es de 5,2 (Ledesma; 1995).

La variable materia orgánica (MO) fue la única que mostró diferencias estadísticamente significativas en la segunda profundidad y fueron valores medios para estudios de la zona (Prause *et al.*, 1997) pero en el tratamiento esta diferenciación pudo deberse a la lenta descomposición que presenta la hojarasca que corresponde a la forestación de pino.

En la determinación del contenido Nitrógeno total se pudo observar una variación positiva entre las muestras testigo y las del sitio en estudio; debido al aporte vegetal (Bonneau, 1978; Gallardo Lancho, 2000). En la determinación de Fósforo se pudo observar una variación negativa con respecto al sitio testigo, valores éstos muy asociados a la posible colonización de micorrizas (Barea; 2004).

Al realizar el análisis con componentes principales (variables-sitios), los comportamientos son muy similares para ambas profundidades, por lo tanto, se realizó un sólo análisis con todos los datos. El gráfico blipot (Gráfico 1) generado a partir de componentes principales indican una separación el sitio testigo respecto al reforestado, este último más relacionado con el contenido de MO y N y el primero con el fósforo disponible y la densidad aparente.

## **CONCLUSIONES**

En los sitios con *Pinus elliottii* el aporte de materia orgánica se incrementa con respecto al testigo transcurrido desde su implantación.

Las variables químicas no son tan representativas en estos sitios entre tratamiento y testigo.



## CUADROS

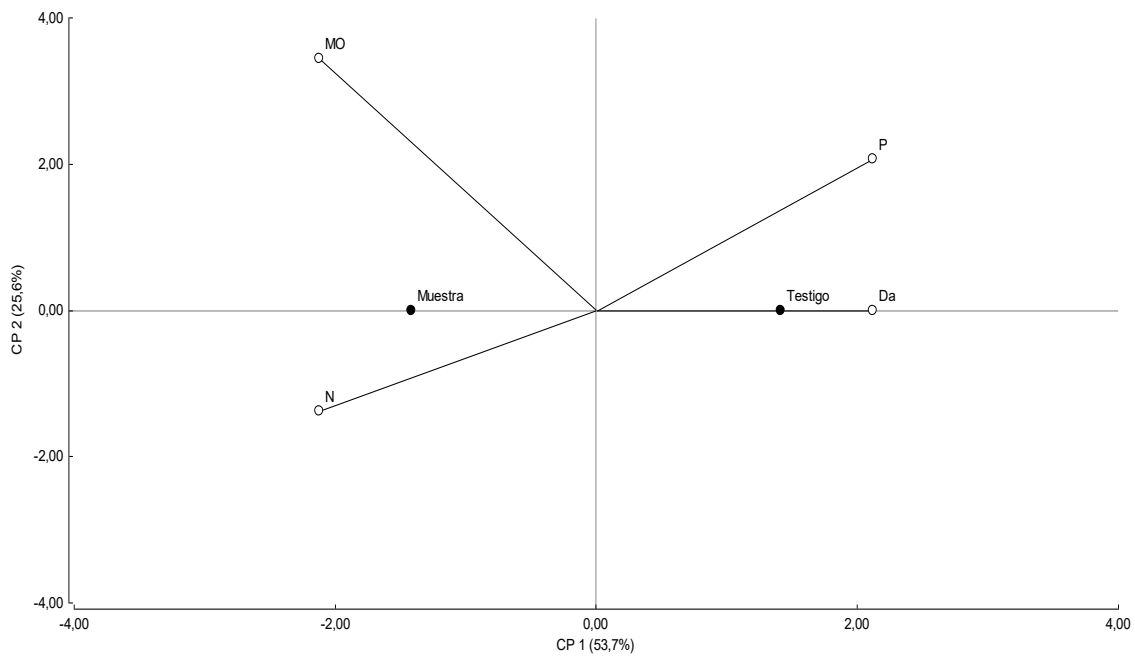
Cuadro 1. Serie Rio Negro, datos analíticos de los horizontes analizados en el presente trabajo (Ledesma y Zurita, 1995).

Perfil N° RR 13		A <sub>01</sub>	E <sub>g</sub>
N° Laboratorio		896	897
Profundidad (cm)		0-7	7-25
Factor de humedad		1.03	1.03
Mat.	C (%)	2.87	0.81
	N (%)	0.267	0.101
Org.	C/N	11	8
T E E X N T U R % A	Arcilla (<2 micrón)	27.7	32.6
	Limo (2-20 micrón)	31.4	33.7
	Limo (2-50 micrón)	53.3	49.1
	Arena m. fina 1(50-74 micrón)	6.5	8.5
	Arena m. fina 2(74-100 micrón)	3.3	5.5
	Arena fina (100-250 micrón)	7.1	4.2
	Arena media (250-500 micrón)	2.1	0.1
	Arena gruesa (500-1000 micrón)		
Arena m gruesa (1000-2000 micrón)		19.0	18.3
Gravilla (>2 mm)			
P (ppm)		59.1	11.2
CaCO <sub>3</sub> (%) V			
Equivalente de humedad (%)		35.1	28.9
Resistencia de la pasta (Ohms/cm)			
PH en pasta		5.1	5.0
PH en H <sub>2</sub> O (1: 2.5)		5.2	5.2
PH en 1N KCl (1:2.5)		4.7	4.4
Conductividad (mmhos/cm)		2.17	1.09
Cat. de Cambio. (m.e./ 100 g)	Ca ++	9.3	7.2
	Mg ++	5.4	2.9
	Na +	0.5	0.5
	K +	1.5	0.6
% Na+ en cambio de v.T		3	3
% Agua de saturación		65	51
Valor S (m.e/100 g) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> o Na <sup>+</sup>		16.7	11.2
H cambio (m.e/100g)		5.6	4.5
Valor T (m.e/100g) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> o Na <sup>+</sup>		18.7	16.5
% de saturación de T		89	68
% de saturación de S+H		75	71

**Cuadro 2:** datos físicos, físicos y químicos del suelo en ambos sitios y a dos profundidades.

Tratamiento	Arena	arcilla	Limo	Da	pH H <sub>2</sub> O	MO	N	P
	%	%	%	%		%	%	mg kg <sup>-1</sup>
Testigo 0-7	28,66	33,98	37,36	1,17	4,27	2,05	0,21	6,46
Testigo 7-25	25,52	39,01	35,46	1,27	4,39	0,57	0,12	6,36
Pinar 0-7	23,83	33,27	42,90	1,12	4,96	2,68	0,22	5,14
Pinar 7-25	23,12	38,65	38,24	1,22	5,20	1,21	0,14	4,62

## **GRÁFICO**



**Gráfico 1:** Gráfico biplot relacionando los sitios en estudio respecto a las variables de suelo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aceñolaza PG, Zamboni LP, Gallardo JF, 2009. Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina). Bosque 30: 135-145.
- Barea, JM. 2004. Impacto de las micorrizas en la calidad del suelo y la productividad vegetal en Sistemas Agrícolas y Espacios Naturales. En: Biología del Suelo (Ed. Monzón *et al.*) FAUBA. Buenos Aires. 317 págs.
- Brassiolo M, y R Seitz. 1988. Regeneración natural de *Pinus elliotii* Engelm, bajo cobertura. In Actas VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero, Argentina. Tomo II, p. 357-359.
- Bibby JS, RE Heslop y R Hartnup. 1988. Land capability classification for forestry in Britain. Monog. Soil Survey of Scotland, Macaulay Institute for Soil Research. Aberdeen. 34pp.
- Bonneau, M. 1978. Influencia de las propiedades físicas y químicas del suelo en relación con la utilización de los suelos forestales. In: ecología Forestal. El bosque: Clima, suelo, árboles, fauna. Pesson, P. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 393 pp.
- Bruniard, E. D. 2000. Los regímenes climáticos y la vegetación natural. Aportes para un modelo fitoclimático mundial. Academia Nacional de Geografía. Publicación Especial Nº 16. Buenos Aires, Argentina. 79 pp.
- Cabrelli D, S Rebottaro, C Winckler. 1997. Dinámica de poblaciones jóvenes de regeneración natural de *Pinus elliotii* Engelm. en el subtrópico húmedo de Argentina. En: XI Congreso Forestal Mundial. Antalya, Turquía. Vol. 3, p. 65.
- Cozzo D, D Cabrelli, S Cozzo, J Darraidou, M Dimitri, J Gambini, C Rezzano, M R Larrieu, A Torres. 1988. Introducción a una propuesta de plantaciones asilvestradas como alternativa de transición entre la economía maderera y la conservación ambiental. Primeros resultados obtenidos en la Argentina en *Pinus elliotii* y *Pinus taeda*. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 71 p.

- Cozzo, D. 2007. Silvicultura de Plantaciones Maderables. Tomos I y II. Primera Edición. Orientación Gráfica Editora. 1080 pp.
- Cadahía López, C; E Eymar Alonso; JJ Lucena Marotta; MP Muñoz-Cobo; I Martín Rueda; F Yañez Barrau; F LEgaz Paredes; JA Sentis Meijide; I Frutos Vazquez; T Montalvo López; ML Segura Pérez; M Abad Berjón; N Castilla Pados. 2005. Fertirrigación. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. 681 pág.
- De Bellis S. 1986. Contribución para el estudio sobre la regeneración natural de *Pinus elliottii-taeda* en el Delta inferior del río Paraná. Tesis Ingeniero Agrónomo. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 38 p.
- Dewis, J. y Freitas, F. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre Suelos N° 10. FAO. Roma, Italia. 36-57.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada y CW Robledo. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Duchaufour, pH. 1983. Edafología. Editorial Masson. Barcelona, España. 493 pp.
- Fuentes Yagüe JL. 2002. Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizante. MAPyA y Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España. 159 págs.
- Gallardo Lancho, J. F. 2000. Biogeochemistry of Mediterranean Forest Ecosystems. A Case Study. Soil Biochemistry 10. Marcel Dekker, Inc. New York. 519 pp.
- Gallardo Lancho, J. F. 2011. Materia orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos. Ed. SiFyQA.297pp.
- Grimm, U. y Fassbender, H. W. 1981. Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. Turrialba, 31 (1): 27-37.
- Ledesma L. (Ed.) 1995. Carta de suelo Estación Experimental Agropecuaria "Colonia Benítez". Eds. INTA. 43pp.

- Mendoza CA, JF Gallardo-Lancho, PG. Aceñolaza, MB Turrión and V Pando. 2014. Temporal evolution of litterfall and potential bio-element return in a successional forest sequence of the Espinal Ecoregion, Argentina. Forest Systems. 23: 411-424.
- Morello, J.; Pengue, W.; Rodríguez, A. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: El Chaco argentino. In: Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos. Matteucci, S. D. (Editora). 19- 51.
- Morello, J.; Pengue, W.; Rodríguez, A. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: El Chaco Argentino. In: Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos. Matteucci, S. D. (Editora). 19-51.
- Morello, J. 2012. Ecorregión Chaco Húmedo. En: Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos. Morello, J.; Matteucci, S. D.; Rodríguez, A. F.; Silva, M. (Eds.). Buenos Aires. Orientación Gráfica Editora. 752 pp.
- Page, P. A., Hiller, R. H. and D. R. Keeney, 1982. Methods of soil analysis. Series Agronomy N° 9, Part 2, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EUA.
- Page, A. L.; DH Miller; D.R Keeney (Eds) 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy Series 9 ASA SSSA, Madison, Wi. USA.
- Prause, J. y Marinich, M.J. 2000. Evaluación de la actividad radical en *Schinopsis balansae* Engler empleando 32P. Agricultura Técnica, Chile. Vol. 60 N° 4 : 423-429.
- Prause, J. y Gallardo Lancho, J.F. 2003. Influencia de la vegetación de un bosque nativo sobre las propiedades físicas de un Argiudol Óxico del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina). Revista Agrochimica. Edizioni PLUS-Università di Pisa. Italia. Vol. XLVII - N.3-4: 146-153.
- Prause, J. y Fernández López, C. 2012. Concentración estacional de micronutrientes en hojas de cuatro especies forestales del Parque Chaqueño, Argentina. revista Biología Tropical / International Journal of

Tropical Biology and Conservation. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Vol. 60 (3): 1109 – 1116.

- Prause, 2013. Un pedazo de bosque pensado para la posteridad. La Reserva Natural Educativa de Colonia Benítez provincia del Chaco. Ed. Librería La Paz. 138pp.
- Pritchett, W.L. 1986. Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial LIMUSA, México.
- Roberts. M. 1996. Le sol:interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Paris, Dunod Masson.240 pp
- Roig, S.; Del Rio, M.; Cañellas, I.; and Montero, G. 2005. Litter fall in Mediterranean Pinus pinaster Ait. Stands under different thinning regimes. For. Ecol. Manag. 206: 179-190.
- Rovira P. y V.R. Vallejos. 2003. Physical protection and biochemical quality of organic matter in mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. Soil Biol. Biochem. 35: 245-261.
- SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, AR) 1999. Argentina: oportunidades de inversión en bosques cultivados. Buenos Aires, Argentina. 208 p.
- Schlatter, J. 1991. Fertilidad del suelo, concepto y su aplicación a la producción forestal. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bariloche, Argentina.
- Schlesinger, W. H. 2000. Biogeoquímica. Un análisis del cambio global. Editorial Ariel. S.A., Barcelona, España. 577 pp.
- Torres A, D Cabrelli, C Winckler, S Rebottaro, C Rezzano. 1994. Evaluación preliminar de la regeneración natural de *Pinus elliottii* Engelm. en Gualaguaychú, provincia de Entre Ríos. *Revista de Facultad Agronomía* 14(3): 219-227.
- Wilcke, W.; Yasin, S.; Abramowski, U.; Valarezo, C.; and Zech, W. 2002. Nutrient storage and turnover in organic layers. Andean tropical montane rain forest in Ecuador. Eur. J. Soil. Sci. 53: 15-27.

- Wit HA, T Palosuo, G Hylen y J Liski. 2006. A carbón budgest of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. Forest Ecol. Manage. 225:015-26.
- Young, R.A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Editorial LIMUSA, México
- Yanai, R. D., Currie, W. S., & Goodale, C. L. (2003). Soil carbon dynamics after forest harvest: An ecosystem paradigm reconsidered. Ecosystems, 6, 197–212. doi: 10.1007/s10021-002-0206-5
- van Wesemael, B. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forest in southern Tuscany. For. Ecol. Manag. 57:99 – 114.