

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Título del trabajo: Repelencia al agua en montes de eucalipto de distintas edades y su relación con la materia orgánica

Nombre del alumno: Camila Alejandra Miguel Villeda **DNI:** 95847293

Número de legajo: 29005/8 **Email:** camilaamv1@gmail.com

Teléfono: 221-3075768

Director: Dr. Lozano, Luis Alberto

Co-directora: Dra. Salazar, María Paz

Fecha de entrega: 05/07/2023

Institución: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Lugar de trabajo: Física Aplicada.

Modalidad: Investigación.

Área temática: Física de suelos.

RESUMEN

La expansión de la superficie cultivada con especies arbóreas en áreas originalmente cubiertas por pastizales y destinadas típicamente a la ganadería o agricultura puede modificar las propiedades hidráulicas del suelo, afectando la dinámica hídrica. Se ha reportado que una de las principales propiedades del suelo que se ve modificada es la hidrofobicidad. Este fenómeno de repelencia al agua y su dinámica temporal en plantaciones de *Eucalyptus spp.* en suelos de la Región Pampeana ha sido poco estudiado hasta la actualidad. El presente trabajo tiene los siguientes objetivos: i- determinar la hidrofobicidad del suelo en rodales de *Eucalyptus spp.* de distintas edades; ii- analizar la relación entre la edad del rodal y la repelencia al agua presentada por la capa superficial del suelo; iii- determinar el efecto de la MO del suelo en rodales de diferentes edades sobre la hidrofobicidad y las propiedades físicas. Se extrajeron muestras indisturbadas de suelo en cilindros de acero inoxidable en cuatro parcelas de *Eucalyptus spp.* implantadas en los años 1990, 2011, 2015 y 2019 en la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhörner. Se realizaron sobre las muestras ensayos de mini-infiltración a distintas tensiones de entrega de agua. Se determinaron la conductividad hidráulica no saturada $K(h)$, la sortividad del agua (S_w) y del etanol (S_e), el índice de repelencia al agua (RI) y el contenido de carbono orgánico (COT). Los resultados mostraron que la edad del rodal tiene influencia sobre el fenómeno de repelencia al agua del suelo, además, la hidrofobicidad afecta sus propiedades físicas, disminuyendo su capacidad de infiltración. Finalmente, el COT del suelo no muestra un aumento a medida que la edad del rodal es mayor, por lo que no se encontró relación con el fenómeno de repelencia al agua del suelo.

Palabras clave: Hidrofobicidad, suelos forestales, conductividad hidráulica.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. HIPÓTESIS	7
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo general	7
3.2. Objetivos particulares	7
4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1. Sitio y tratamientos	7
4.2. Muestreo	10
4.3. Determinación de propiedades generales del suelo	11
4.3.1. <i>Mini-infiltración en laboratorio</i>	11
4.3.2. <i>Sortividad y repelencia al agua</i>	12
4.4. Análisis estadístico	13
5. RESULTADOS	13
5.1. Densidad Aparente y superficie específica	13
5.2. Infiltración	14
5.3. Repelencia al Agua y Carbono Orgánico Total	15
6. DISCUSIÓN	16
6.1. Densidad Aparente y superficie específica	16
6.2. Infiltración	16
6.3. Repelencia al Agua y Carbono Orgánico	17
7. CONCLUSIONES	18
8. BIBLIOGRAFÍA	19

1. INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus*, de la familia *Myrtaceae* tiene una diversidad de más de 500 especies. Este género es originario del continente australiano dominando con una amplia diversidad adaptativa a diferentes condiciones climáticas y de suelo (Granados-Sánchez et al., 2007). Es el segundo género en área implantada a nivel mundial (26 %), secundando al pino (*Pinus* spp; Pinaceae) (42 %) (Binkley et al., 2017). Hoy en día, las plantaciones de *Eucalyptus* spp. ocupan aproximadamente 22 millones de hectáreas en todo el mundo (Hoogar et al., 2019). La expansión de los monocultivos de *Eucalyptus* spp. genera preocupaciones con respecto a los posibles impactos negativos que puede tener sobre los ecosistemas, especialmente en la calidad y la dinámica hídrica del suelo. Estos cambios están relacionados con los tipos de rodales, el historial de uso de la tierra y las condiciones geográficas en las regiones de estudio (Chu et al., 2018).

En Argentina, los primeros centros de desarrollo de forestaciones con especies de *Eucalyptus* spp. fueron la Provincia de Buenos Aires, Mendoza y la Mesopotamia (Aguerre et al., 1995). Las principales especies incluyen *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*, la industria forestal las ha seleccionado en base a las propiedades de su fibra y sus altas tasas de crecimiento (Rubilar et al., 2008). En la Provincia de Buenos Aires, de la superficie forestada con este género, el 70 % se concentra en el sudeste y el resto se caracteriza por emprendimientos productivos de pequeña escala (Achinelli et al., 2011). La introducción de forestaciones en la Región Pampeana, en áreas originalmente cubiertas por pastizales y destinadas típicamente a la ganadería o la agricultura conlleva fuertes cambios en el funcionamiento del ecosistema (Jobbágy et al., 2006).

El servicio ecosistémico de regulación hídrica consiste en la capacidad de interceptación e infiltración de las precipitaciones y su incorporación a las napas subterráneas. Este proceso inicia con la interceptación por parte de la vegetación, donde una parte se pierde por evaporación. El agua residual de esta etapa fluye por el fuste de los árboles acoplándose a la precipitación directa que no fue interceptada y llegando al suelo donde una parte se convierte en escurrimiento superficial, otra parte se almacena a través del proceso de infiltración y el resto se acumula en las napas

subterráneas. Por tanto, la capacidad de regulación hídrica queda condicionada por el tipo de vegetación y las características físicas del suelo (Grizzetti et al., 2016)

El género *Eucalyptus* posee una gran adaptabilidad a diferentes escenarios de disponibilidad hídrica, presentando requerimientos desde 40-50 litros por planta por día hasta 90 litros por planta por día en condiciones favorables. Es capaz de extraer agua de una gran área en la proximidad de su sistema radical (Hoogar et al., 2019). Brites & Vermeulen (2011) y Hazrat et al. (2014) mencionan que la forestación con estas especies puede tener un impacto significativo sobre la disminución del nivel freático del suelo. La expansión de estas plantaciones despierta inquietudes acerca de su efecto sobre los recursos hídricos locales, por lo cual toman relevancia los estudios sobre la dinámica hídrica en suelos forestados. Investigaciones enfocadas en forestaciones de Pino y Eucalipto mencionan que las resinas, ceras, aceites aromáticos y otras sustancias orgánicas producidas por estos árboles pueden causar un recubrimiento orgánico en las partículas del suelo que es responsable de la repelencia al agua del suelo o hidrofobicidad (Doerr et al., 2000).

La hidrofobicidad o repelencia al agua del suelo se refiere a la propiedad transitoria por la cual los suelos aumentan la resistencia a la humectación e infiltración (Lozano-Baez et al., 2020). Este fenómeno hace capaces a los suelos de resistir la penetración de agua aplicada en la superficie (Piyaruwan et al., 2020). Esta propiedad varía espacial y temporalmente. Existen diversos factores relacionados a la repelencia al agua del suelo, entre los que pueden mencionarse la textura, temperatura del suelo, pH, contenido de agua, cantidad de carbono orgánico, uso y cobertura del suelo (Doerr et al., 2000). Este es un fenómeno por lo general poco considerado en los estudios de suelo, especialmente en el sector forestal, a pesar de que los bosques con condiciones de repelencia al agua han sido reconocidos por alterar las propiedades hidráulicas de los suelos (Kajiura et al., 2012).

Piyaruwan et al. (2020) mencionan que la hidrofobicidad es causada por compuestos orgánicos que contienen propiedades hidrofóbicas, los cuales recubren partículas individuales del suelo o están presentes en este como material intersticial. El fenómeno de repelencia al agua es frecuentemente encontrado en suelos cubiertos por especies arbóreas del género *Eucalyptus* (*Eucalyptus globulus*), y *Pinus* (*Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*) (Alagna et al., 2017; Benito et al., 2019). Es mencionado

por Doerr et al. (2009) que la hidrofobicidad observada en bosques de coníferas está más relacionada a características naturales que a factores externos que puedan provocarla.

La pérdida de afinidad al agua por parte de los suelos es conocida por influenciar el agua subterránea induciendo flujos preferenciales que proveen rutas más cortas y rápidas para el transporte de solutos aumentando el riesgo de contaminación de las napas subterráneas (Bauters et al., 1998; Ziogas et al., 2005). Es responsable también de generar menores tasas de infiltración en el suelo y aumentar los eventos de escorrentía especialmente en terrenos de pendientes pronunciadas en las etapas iniciales de una lluvia (Contreras et al., 2008; Siteur et al., 2016).

Las alteraciones hidrológicas provocadas por las condiciones hidrofóbicas de estos suelos y sus efectos negativos sobre la dinámica hídrica subterránea y las propiedades físicas relacionadas a ésta no han sido temas de relevancia en estudios del ámbito agrícola y forestal (Piyaruwan et al., 2020).

Por otro lado, en cuanto al efecto de la edad del rodal, Zema et al. (2021) en un estudio sobre rodales de *Pinus spp.* afirman que se encontraron mayores niveles de infiltración en rodales de mayor edad y estos niveles fueron menores en plantaciones más jóvenes. Mencionan también que se observó hidrofobicidad únicamente en los rodales de menor edad.

A diferencia de la vasta bibliografía relacionada a los efectos que pueden tener sobre las propiedades del suelo los diversos sistemas agrícolas, son poco frecuentes los estudios que han caracterizado el impacto de las plantaciones de especies exóticas arbóreas y su edad en las propiedades físicas e hidráulicas del suelo (Julich et al., 2021). En este sentido, el análisis del fenómeno de repelencia al agua del suelo en rodales de *Eucalyptus spp.* de diferentes edades ubicados en la Región Pampeana permitirá ampliar el conocimiento en torno a los efectos que puede tener sobre las interacciones suelo-agua-planta y de esta forma contribuir en un futuro a un manejo holístico de las plantaciones forestales abocando a la sustentabilidad de los recursos hídricos y edáficos.

2. HIPÓTESIS

- La edad de los rodales de *Eucalyptus spp.* tiene influencia sobre el fenómeno de repelencia al agua del suelo.
- La hidrofobicidad afecta las propiedades físicas del suelo, disminuyendo su capacidad de infiltración, la densidad aparente y la superficie específica.
- Los rodales de mayor edad presentan un aumento de contenido de Materia Orgánica (MO) que favorece el fenómeno de repelencia al agua del suelo afectando a su vez las propiedades físicas.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Contribuir al conocimiento de la hidrofobicidad en el suelo de rodales de *Eucalyptus spp.* y su relación con las interacciones suelo-agua-planta

3.2. Objetivos particulares

- Determinar la hidrofobicidad del suelo en rodales de *Eucalyptus spp.* de distintas edades.
- Analizar la relación entre la edad del rodal y la repelencia al agua presentada por la capa superficial del suelo.
- Determinar el efecto de la edad de los rodales de *Eucalyptus spp.* sobre el COT y las propiedades físicas del suelo y su relación con la hidrofobicidad.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Sitio y tratamientos

Los muestreos se realizaron sobre cuatro parcelas con plantaciones de *Eucalyptus spp.* de diferentes edades en la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn, de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), ubicada en la localidad de Los Hornos, partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires (Figura 1). El muestreo se realizó en abril de 2022. Según lo descrito por Lanfranco & Carrizo (1987) los rodales se encuentran sobre un Argiudol típico arcilloso fino illítico térmico. La distribución de tamaño de partículas del horizonte A es 59,3 % de limo, 23,5 % arcilla y 17,2 % arena. Los rodales contaban con 32, 11, 7 y 3 años al momento del muestreo, habiendo sido implantados en los años 1990, 2011, 2015 y 2019, respectivamente.



Figura 1. Ubicación de los rodales de *Eucalyptus spp.* en la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhörn, de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Rodal 1990 – 32 años

Rodal con una superficie de 0,12 ha aproximadamente, implantado con individuos de la especie *Eucalyptus dunnii* (Figura 2). Presenta un marco de plantación de 4m x 4m (Achinelli et al., 2017).



Figura 2. Foto representativa del rodal 1990 – 32 años de edad.

Rodal 2011 – 11 años

Este rodal es un ensayo de especies, orígenes y procedencias. Cuenta con una superficie de 0,58 ha, fue implantado con individuos de la especie *E. dunnii*, *E. camaldulensis* y el híbrido GC-INTA-18 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) (Figura 3). Tiene una configuración de plantación rectangular de 4 m x 3,5 m (Achinelli et al., 2017).



Figura 3. Foto representativa del rodal 2011 – 11 años de edad.

Rodal 2015 – 7 años

Plantación de 0,4 ha de superficie, posee un diseño sistemático tipo Nelder modificado, con 10 densidades que van desde 485 pl/ha hasta 2500 pl/ha. En esta parcela se implantaron los clones híbridos GC-INTA-12 Y GC-INTA-27 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) (Goya, 2020). Las muestras fueron tomadas dentro de la menor densidad.

Rodal 2019 – 3 años

Ensayo con una superficie aproximada de 1 ha, con marco de plantación de 3 m x 3,5 m. Las especies implantadas en esta parcela son *E. dunnii* y el híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis* (Goya, 2020) (Figura 4).



Figura 4. Foto representativa del rodal 2019 – 3 años de edad.

4.2. Muestreo

Se seleccionó un ejemplar representativo de cada rodal, donde se delimitó su área de influencia, dependiendo del marco de plantación, establecida como la mitad de la distancia entre ejemplares. En dicha área, se extrajeron muestras indisturbadas de suelo en cilindros (5 cm de diámetro por 5 cm de altura) del horizonte superficial para el análisis de diferentes propiedades hidráulicas. Se extrajeron 10 muestras en cada rodal. Adicionalmente se extrajeron muestras indisturbadas en cilindros (7,5 cm

diámetro por 10 cm de altura) para la determinación de la densidad aparente del suelo (DAP). Por último, se extrajeron muestras compuestas disturbadas para la determinación de contenido de carbono orgánico.

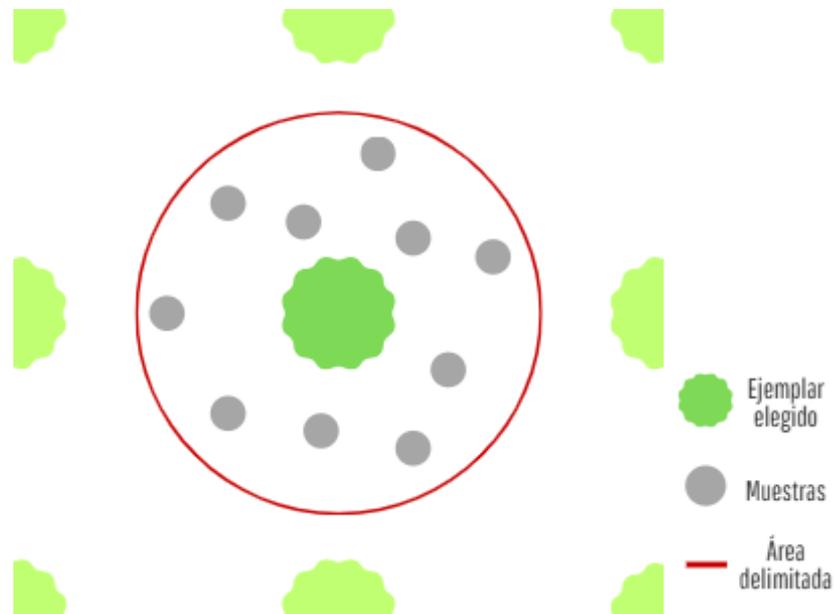


Figura 5. Esquema del muestreo dentro de cada rodal. Se tomó un individuo representativo y se delimitó su área de influencia, recolectando muestras al azar dentro de esta.

4.3. Determinación de propiedades generales del suelo

Se determinó la densidad aparente a partir del peso de muestras de suelo tomadas con cilindros de acero inoxidable de volumen conocido y secadas en estufa a 105°C hasta peso constante (Hillel, 1998). Se determinó el carbono orgánico total (COT) mediante el método de Walkley & Black (1934). Adicionalmente, se determinó la superficie específica (SE) a través del método del etilenglicol monoetiléter (Carter et al., 1986).

4.3.1. Mini-infiltración en laboratorio

Se realizaron ensayos de mini-infiltración en las muestras indisturbadas en cilindros (5 cm de diámetro por 5 cm de altura). El dispositivo empleado consiste en un tubo con un pequeño disco (con una membrana del mismo material que la base del infiltrómetro de disco a tensión) de 1 cm de radio conectado a un reservorio de agua (Figura 5). El depósito de agua se coloca en una balanza analítica (± 0.001 g),

conectado a una computadora. Previamente, las burbujas de aire son eliminadas del mini infiltrómetro. Cada muestra de suelo se coloca en contacto con el disco. Las medidas de infiltración se realizaron a 3 valores de tensión h (6 cm, 3 cm, 0 cm), en ese orden y para cada muestra. La tensión se consiguió elevando la muestra a una altura (h) sobre el nivel del agua en el reservorio. Cada determinación demoró aproximadamente 3 minutos en alcanzar el estado estacionario y la masa de agua que infiltra por capilaridad se calculó a partir de la variación de masa registrada en la balanza segundo a segundo. La infiltración acumulada se determinó como la relación entre el volumen infiltrado y el área del disco.

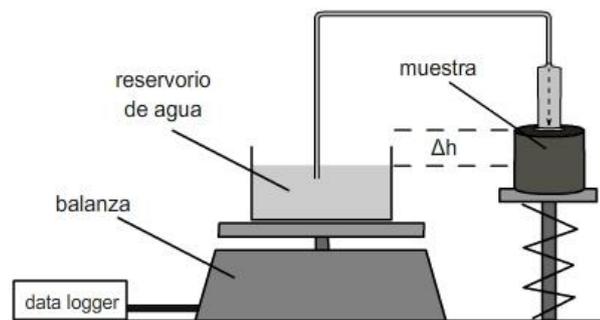


Figura 6. Dispositivo empleado para la determinación de mini-infiltración en laboratorio.

A partir de los datos de infiltración acumulada obtenidos a las distintas tensiones se obtuvieron los valores de conductividad hidráulica (K) a 0, 3 y 6 cm de tensión (K_{0MI} , K_{3MI} y K_{6MI}) utilizando el método de Ankeny et al. (1991) de cargas múltiples.

4.3.2. Sortividad y repelencia al agua

Luego del ensayo de mini-infiltración las muestras se secaron al aire a temperatura ambiente para la posterior determinación de la Sortividad (S) del suelo con agua (S_w) y con etanol (S_e) ($\text{cm s}^{-1/2}$). La S fue determinada siguiendo la metodología propuesta por Villarreal et al. (2017), que es una modificación del método original de Leeds-Harrison et al. (1994), utilizando el mismo mini-infiltrómetro descrito en la sección anterior. El tubo con la membrana fue sustituido por una pequeña esponja de 4 mm de radio. El volumen de agua y etanol que infiltra por capilaridad es calculado a partir de la variación de masa registrada en la balanza segundo a segundo. Las S_w y la S_e se determinaron para cada muestra según la ecuación 1:

$$S_{w,e} = \sqrt{\frac{Q_{w,e}f}{4br}} \quad (1)$$

donde Q_w y Q_e es el caudal infiltrado de agua y etanol, respectivamente, en estado estacionario, r es el radio de infiltración, f es la diferencia entre el contenido volumétrico de agua (o etanol, según la determinación) del suelo final e inicial y b es un parámetro de forma tomado como 0,55 (White & Sully, 1987).

Se determinó el Índice de Repelencia (RI) utilizando los datos de S_w y S_e según Tillman et al. (1989) con la ecuación 2:

$$RI = 1,95 \frac{S_e}{S_w} \quad (2)$$

4.4. Análisis estadístico

Para determinar la influencia de la edad de los distintos rodales sobre las propiedades estudiadas se realizaron ANOVAs unifactoriales (Sokal & Rohlf, 1995). Se realizaron test de medias LSD Fischer para comparar las medias. Los análisis se realizaron con un nivel de significancia de $p = 0,05$. Aquellas variables que presentaron distribución log normal se transformaron para su análisis.

5. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de las determinaciones realizadas sobre los 4 tratamientos muestreados. En primera instancia se muestran las propiedades físicas e hidráulicas del suelo: DAP, SE y K (h) de cada rodal. La segunda sección de los resultados comprende los valores de RI para cada tratamiento. Finalmente se presentan los resultados de la determinación de COT.

5.1. Densidad Aparente y superficie específica

La Tabla 1 detalla los valores de DAP y SE obtenidos para los distintos tratamientos. En cuanto a la DAP, se observan dos grupos homogéneos (a; b). El grupo b comprende a los rodales del 3, 7 y 11 años, con un valor de densidad aparente mayor que el del rodal más viejo.

Tabla 1. Valores de densidad aparente (DAP) para cada tratamiento.

Edad del rodal	DAP	SE
años	g cm^{-3}	$\text{m}^2 \text{g}^{-1}$

3	1,157 b	9,178 a
7	1,185 b	9,082 a
11	1,160 b	35,826 b
32	0,864 a	42,878 b

Letras diferentes indican diferencias significativas entre rodales (LSD de Fisher, p-valor < 0,05).

En cuanto a la variable SE, los rodales más jóvenes (3 y 7 años) presentaron una SE menor que los dos rodales de mayor edad (11 y 32 años). En la Tabla 1 puede observarse de forma más específica la diferencia entre los valores de los dos grupos a y b, siendo el menor valor determinado 9,08 y el mayor 42,8.

5.2. Infiltración

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos con el método de mini infiltración, fue necesaria la transformación a escala logarítmica. Las medias de K (h) para cada tratamiento a las distintas tensiones se presentan en la Figura 6.

En las tres tensiones se observaron medias de K significativamente diferentes entre tratamientos, y una tendencia a ser mayor en el rodal más joven y disminuir a medida que aumenta la edad de estos, presentándose el menor valor para cada tensión en el rodal más viejo.

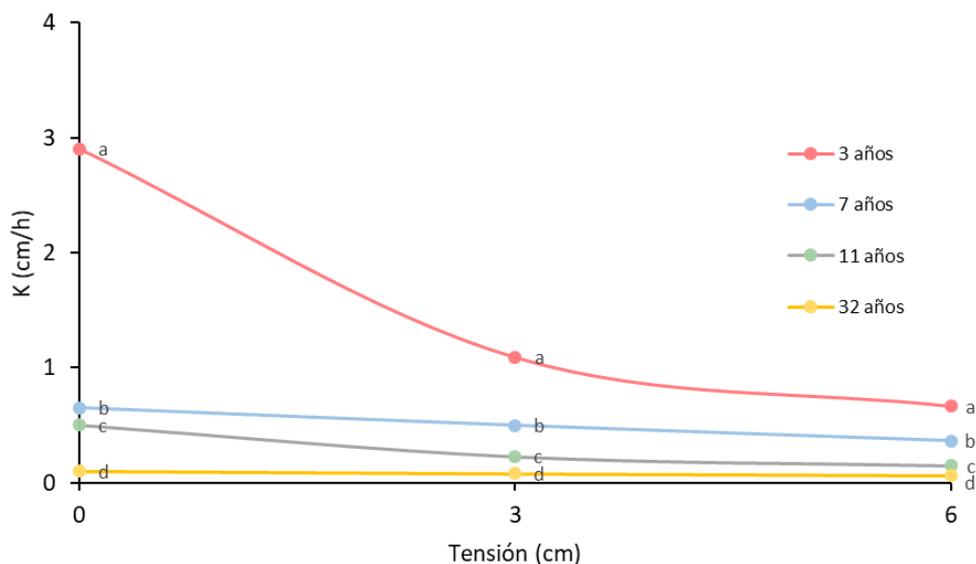


Figura 7. Valores de conductividad hidráulica (K) a tensiones de 0, 3 y 6 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas entre rodales para una misma tensión (LSD de Fisher, p-valor < 0,05).

5.3. Repelencia al Agua y Carbono Orgánico Total

En la Figura 7 se muestran los RI obtenidos para cada rodal. El rodal de 32 años de edad muestra el RI más alto (52,60), seguido por el rodal de 11 años con un valor de 20,22, finalmente las medias de los rodales 3 y 7 años no son significativamente diferentes entre sí, y muestran los valores más bajos (2,12 y 3,43 respectivamente).

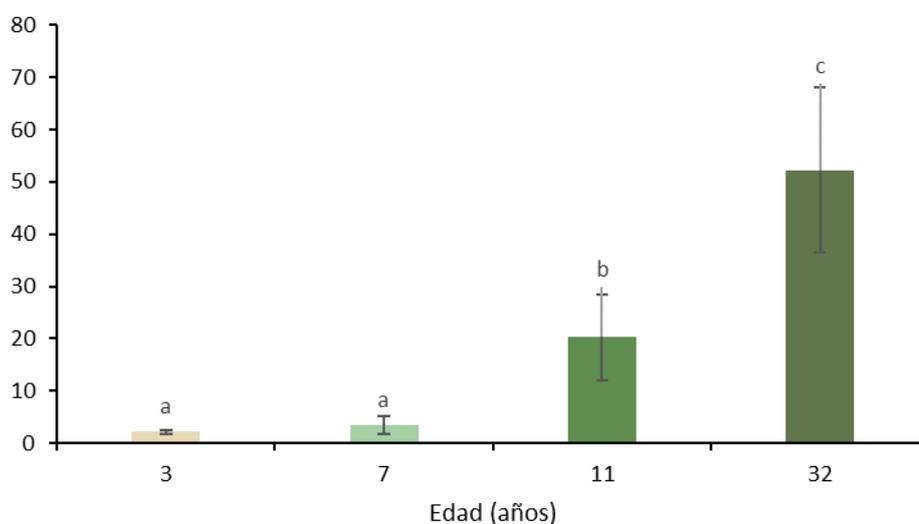


Figura 8. Índice de Repelencia al Agua (RI) correspondientes a los rodales de 3, 7, 11 y 30 años. Letras diferentes indican diferencias significativas entre rodales (LSD de Fisher, p-valor < 0,05). Barras verticales denotan el desvío estándar.

En cuanto al COT, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los rodales de distinta edad, con valores que oscilaron entre 1,71 y 2,36 % (Tabla 2).

Tabla 2. Carbono Orgánico Total (COT) (%) promedio y su desvío estándar para cada tratamiento.

Edad del rodal	COT
----------------	-----

(años)	%
3	1,710 ± 0,115
7	2,160 ± 0,298
11	2,360 ± 0,010
32	2,160 ± 0,093

Ausencia de letras indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos

6. DISCUSIÓN

6.1. Densidad Aparente y superficie específica

Los valores de DAP de la capa superficial del suelo no mostraron diferencias significativas entre los rodales de 3, 7 y 11 años, estos resultados concuerdan con lo hallado por Zhao et al. (2022), quienes reportaron que en rodales de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* de diferente edad, los valores de DAP no mostraron diferencias significativas para la profundidad de 0 – 20 cm. El rodal de 32 años sí presentó diferencias significativas con respecto a los demás rodales, mostrando una disminución de la DAP. Estos resultados indican que la DAP disminuye al aumentar la edad, pudiendo deberse al efecto de agregación de las raíces. Sin embargo, la falta de diferencias entre los rodales de 3, 7 y 11 años indican que este proceso es relativamente lento. Un estudio con mayor frecuencia de muestreo permitiría obtener información sobre la tendencia de cambio en la DAP.

En cuanto a la SE, los valores encontrados fueron similares a los reportados por distintos autores para suelos de textura similar (Feller et al., 1992; Mayer & Xing, 2001) y fueron mayores en los rodales de mayor edad. Los mayores valores de SE encontrados en los rodales de mayor edad pueden estar relacionados con una mejor estructuración debido a una mayor actividad biológica. Keller et al. (2007) reportaron que suelos con mejor estructuración y mejor calidad física, presentan mayores valores de SE.

6.2. Infiltración

Los menores valores de K (h) observados en los rodales de mayor edad está de acuerdo con lo reportado por Zhao et al. (2022), que encontraron en montes de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* en un suelo franco arcillo limoso, una disminución

de la tasa de infiltración a medida que la edad del rodal aumenta. Sin embargo, las plantaciones evaluadas en ese estudio no superan los 7 años. Con los resultados obtenidos actualmente, incluyendo rodales de hasta 32 años, se puede asumir que la tendencia a la disminución de las tasas de infiltración con el aumento de la edad se mantiene a lo largo del tiempo. Por el contrario, Zema et al. (2021) reportaron en rodales de Pino mayores valores de infiltración en rodales de mayor edad y estos niveles fueron menores en plantaciones más jóvenes. Estos resultados muestran que el efecto de las plantaciones forestales sobre las propiedades hidráulicas del suelo puede depender de la especie y el tipo de suelo. Los resultados de nuestro estudio con menores valores de $K(h)$ a pesar de una disminución en la DAP, lo que implica una mayor porosidad total, pueden deberse a la oclusión de poros por raíces, y a la repelencia al agua.

6.3. Repelencia al Agua y Carbono Orgánico

La mayor repelencia al agua a medida que aumenta la edad del rodal (Figura 7) está de acuerdo con lo encontrado por Lozano-Baez et al. (2020), quienes en rodales de bosques atlánticos nativos semidecíduos encontraron que, a mayor edad, la repelencia al agua aumenta. Varios autores han mencionado que el fenómeno de repelencia al agua produce efectos hidrológicos importantes, como la reducción de la capacidad de infiltración, lo que puede traer aparejados procesos de erosión o flujo preferencial (Bauters et al., 1998; Ziogas et al., 2005). Nuestros resultados están de acuerdo con lo hallado por Lozano-Baez et al. (2020). Se puede observar en la Figura 7 que, al aumentar los años de los rodales, estos presentan mayores valores de RI, asimismo, como puede verse en la Figura 6, la infiltración disminuye. Estos resultados muestran un efecto negativo de la hidrofobicidad sobre la dinámica hídrica y las propiedades físicas relacionadas, estando de acuerdo con otros autores (Piyaruwan et al., 2020).

En cuanto al COT, los resultados están en desacuerdo con estudios previos, que mencionan un incremento de COT a medida que la edad del rodal aumenta (Bughici & Wallach, 2016). Esto puede deberse a que, durante el muestreo, se retiró el mantillo orgánico en los rodales de mayor edad, donde ocurre la acumulación de materia orgánica producto de la acumulación de restos vegetales (Mao et al., 2016). Raramente no se observaron tendencias similares entre el COT y el RI, estando en desacuerdo con varios estudios, los cuales mencionan que el fenómeno de repelencia

al agua está fuertemente influenciado por la materia orgánica del suelo (Majid et al., 2023). Sin embargo, Alagna et al. (2017) afirman que la repelencia al agua se explica mejor por la composición que por el contenido de materia orgánica. Por lo tanto, un estudio de las distintas fracciones del COT podría contribuir a una mejor comprensión de los cambios en el RI. Adicionalmente, los tratamientos con mayor SE coinciden con los menores valores de infiltración y con los valores más altos de RI, estando de acuerdo con Majid et al. (2023), quienes reportaron que la hidrofobicidad en suelos arcillosos se encuentra relacionada a mayores valores de SE.

Los resultados encontrados en esta tesis muestran la complejidad del fenómeno de repelencia al agua, dada la gran cantidad de factores involucrados. Futuros estudios deberían tener en cuenta no solo el COT del suelo, sino las distintas fracciones y calidad de la materia orgánica, dada su importancia sobre el fenómeno. Estos resultados aportan al conocimiento en torno a los efectos que pueden tener las plantaciones forestales en las interacciones suelo-agua-planta y de esta forma contribuyen al manejo holístico de las plantaciones forestales abocando a la sustentabilidad de los recursos hídricos y edáficos.

7. CONCLUSIONES

La edad de los rodales tiene influencia sobre el fenómeno de repelencia al agua del suelo.

La hidrofobicidad afecta las propiedades físicas del suelo, disminuyendo su capacidad de infiltración.

El COT del suelo no muestra un aumento a medida que la edad del rodal es mayor, y no se encontró una relación con el fenómeno de repelencia al agua del suelo. Sería recomendable profundizar en el estudio de la influencia de las distintas fracciones de la materia orgánica del suelo sobre la repelencia al agua.

8. BIBLIOGRAFÍA

Achinelli, F., Galarco, S., Arturi, M., Cellini, J. M., Boldes, A., Pincioli, L., Refort, M., Briones, V., Roussy, L., Russo, F., Smith, J. & Garcés, J. 2011. Inventario de macizos forestales de *Eucalyptus Globulus* Labill. en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires.

Achinelli, F., Galarco, S., Pérez, F., Ciocchini, G., González, A. & Donna, F. 2017. Crecimiento de *Eucalyptus dunnii* Maiden en el noreste de la Pampa Deprimida de Buenos Aires. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos (Concordia, 2017), 1–5. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/72838Aguerre>

Aguerre, M., Carpineti, L. A., Dalla Tea, F., Denegri, G., Frangi, J. L., Garran, S. M., Gimenez, E., Glade, J. E., Larocca, L. H., Marco, M. A., Mendonza, L., Pujato, J., Rembado, G., Sanchez Acosta, M. M. & Vaccaro, N.C. 1995. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina Grupo Forestal, EEA. INTA. Concordia.

Ankeny, M. D., Ahmed, M., Kaspar, T. C. & Horton, R. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 55(2), 467-470.

Alagna, V., Iovino, M., Bagarello, V., Mataix-Solera, J. & Lichner, L. 2017. Application of minidisk infiltrometer to estimate water repellency in Mediterranean pine forest soils. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65, 3, 254–263.

Bauters, T.W., Steenhuis, T.S., Parlange, J.Y. & DiCarlo, D.A. 1998. Preferential flow in water-repellent sands. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 5, 1185–1190.

Benito, E., Varela, E. & Rodríguez-Alleres, M. 2019. Persistence of water repellency in coarse-textured soils under various types of forests in NW Spain. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67, 2, 129–134.

Brites C.M. & Vermeulen, D. 2011. A case study- The environmental impact of ground water on the ST. Lucia wetland, South Africa.

Binkley, D., Campoe, O.C., Alvares, C., Carneiro, R.L., Cegatta, Í. & Stape, J.L. 2017. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus*

plantations across Brazil and Uruguay. *Forest Ecology and Management*, 405, 271–283.

Bughici, T., & Wallach, R. 2016. Formation of soil–water repellency in olive orchards and its influence on infiltration pattern. *Geoderma*, 262, 1-11.

Carter, D. L., Mortland, M. M. & Kemper, W. D. 1986. Specific surface. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 413-423.

Chu, S., Jacobs, D. F., Sloan, J. L., Xue, L., Wu, D. & Zeng, S. 2018. Changes in soil properties under *Eucalyptus* relative to *Pinus massoniana* and natural broadleaved forests in South China. *Journal of Forestry Research*, 29(5), 1299–1306.

Contreras, S., Cantón, Y. & Solé-Benet, A. 2008. Sieving crusts and macrofaunal activity control soil water repellency in semiarid environments: evidences from SE Spain. *Geoderma*, 145, 3–4, 252–258.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A. & Walsh, R. 2000. Soil water repellency: Its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Sci. Rev.*, 51, 33–65.

Doerr, S.H., Woods, S.W., Martin, D.A. & Casimiro, M. 2009. ‘Natural background’ soil water repellency in conifer forests of the north-western USA: its prediction and relationship to wildfire occurrence. *Journal of Hydrology*, 371, 1–4, 12–21.

Feller, C., Schouller, E., Thomas, F., Rouiller, J. & Herbillon, A. J. 1992. N₂-BET specific surface areas of some low activity clay soils and their relationships with secondary constituents and organic matter contents. *Soil Science*, 153(4), 293-299.

Goya, J. 2020. Actividades del curso de silvicultura en el sector forestal. Parcelas forestales experimentales y demostrativas.

Granados-Sánchez, D. & López-Ríos, G.F. 2007. Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 13(2), 143-156

Grizzetti B., Lanzasova, D., Liqueste, C., Reynaud, A. & Cardoso, A. 2016. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy* 61: 194-203.

Hazrat, B., Sobia, N. & Syed, S.A. 2014. Effects of exotic Eucalyptus plantation on the ground and surface water of district Malakand, Pakistan. *Int. J Innovation Scientific Res.*; 8(2):299-304.

Hoogar, R., Malakannavar, S. & Sujatha, H. T. 2019. Impact of eucalyptus plantations on ground water and soil ecosystem in dry regions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 2929-2933.

Hillel, D., 1998. *Environmental Soil Physics*, Academic Press, San Diego.

Jobbágy, E.G., Piñeiro, G., Nosoetto, M.D. & Paruelo, J.M. 2006. Las forestaciones rioplatenses y el agua. *Ciencia Hoy*, 16(95), 12–21.

Julich, S., Kreiselmeier, J., Scheibler, S., Petzold, R., Schwärzel, K. & Feger, K.-H. 2021. Hydraulic Properties of Forest Soils with Stagnic Conditions. *Forests*, 12(8), 1113.

Kajiura, M., Etori, Y. & Tange, T. 2012. Water condition control of in situ soil water repellency: an observational study from a hillslope in a Japanese humid-temperate forest. *Hydrological Processes*, 26, 20, 3070–3078.

Keller, T., Arvidsson, J. & Dexter, A. R. 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 45-52

Lanfranco, J. W. & Carrizo, R. 1987. Carta de suelos de la estación experimental central (Inédito).

Leeds-Harrison, P. B., Youngs, E. G. & Uddin, B. 1994. A device for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal of Soil Science*, 45(3), 269-272.

Lozano-Baez, S. E., Cooper, M., de Barros Ferraz, S. F., Ribeiro Rodrigues, R., Lassabatere, L., Castellini, M. & Di Prima, S. 2020. Assessing water infiltration and soil water repellency in Brazilian Atlantic forest soils. *Applied Sciences*, 10(6), 1950.

Majid, N., Bahar, M. M., Harper, R., Megharaj, M. & Naidu, R. 2023. Influence of Biotic and Abiotic Factors on the Development of Non-wetting Soils and Management Approaches: A Review. *Soil Security*, 100091.

- Mao, J., Nierop, K.G.J., Rietkerk, M., Sinninghe Damste, J.S. & Dekker, S.C.**, 2016. The influence of vegetation on soil water repellency-markers and soil hydrophobicity. *Sci. Total Environ.* 566-567, 608–620.
- Mayer, L. M. & Xing, B.** 2001. Organic matter–surface area relationships in acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(1), 250-258
- Piyaruwan, H. I. G. S., Jayasinghe, P. K. S. C. & Leelamanie, D. A. L.** 2020. Water repellency in eucalyptus and pine plantation forest soils and its relation to groundwater levels estimated with multi-temporal modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 68(4), 382-391.
- Rubilar, R., Fox, T., Allen, H., Albaugh, T. & Carlson, C.** 2008. Manejo intensivo al establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus* sp. y *Eucalyptus* sp. en Chile y Argentina. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 40, 1-7.
- Siteur, K., Mao, J., Nierop, K.G., Rietkerk, M., Dekker, S.C. & Eppinga, M.B.** 2016. Soil water repellency: a potential driver of vegetation dynamics in coastal dunes. *Ecosystems*, 19, 7,1210–1224.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J.** 1995. *Biometry*. Macmillan.
- Tillman, R. W., Scotter, D. R., Wallis, M. G. & Clothier, B. E.** 1989. Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Soil Research*, 27(4), 637-644
- Villarreal, R., Soracco, C.G., Lozano, L.A., Melani, E.M. & Sarli, G.O.** 2017. Temporal variation of soil sorptivity under conventional and no-till systems determined by a simple laboratory method. *Soil and Tillage Research*, 168, 92-98
- White, I. & Sully, M.J.** 1987. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. *Water Resources Research*, 23(8), 1514-1522.
- Walkley, A. & Black, I. A.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Woche, S. K., Goebel, M. O., Kirkham, M. B., Horton, R., Van der Ploeg, R. R. & Bachmann, J.** 2005. Contact angle of soils as affected by depth, texture, and land management. *European Journal of Soil Science*, 56(2), 239-251.

Zema, D. A., Plaza-Alvarez, P. A., Xu, X., Carra, B. G. & Lucas-Borja, M. E. 2021. Influence of forest stand age on soil water repellency and hydraulic conductivity in the Mediterranean environment. *Science of the Total Environment*, 753, 142006.

Zhao, M., Li, D., Huang, Y., Deng, Y., Yang, G., Lei, T. & Huang, Y. 2022. Soil matrix infiltration characteristics in differently aged eucalyptus plantations in a southern subtropical area in China. *Catena*, 217, 106490.

Ziogas, A.K., Dekker, L.W., Oostindie, K. & Ritsema, C.J. 2005. Soil water repellency in north-eastern Greece with adverse effects of drying on the persistence. *Soil Research*, 43, 3, 281–289.