

Influencia de la vegetación en la conductividad hidráulica en tres tipos de coberturas forestales.

Leidy Tatiana Bermejo Cabrera email: ltbermejoc@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Angela Bibiana García Higuera email: abgarciah@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Luis Fernando Soler Umbarila email: lfsoleru@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

RESUMEN

La conductividad hidráulica saturada (K_s) determina el movimiento subsuperficial del agua en el suelo en condiciones de saturación, resulta importante en la relación agua – suelo – planta, además permite evidenciar las alteraciones en los ecosistemas producto de cambio de coberturas. Se evaluó la incidencia de la vegetación en la K_s para las coberturas de bosque-natural (BN) dominado por “*Weinmannia tomentosa*” L.f., plantaciones de “*Hesperocyparis lusitánica*” y “*Eucalyptus globulus*”, de la cuenca del río San Cristóbal (Bogotá-Colombia). Se cuantificaron las variables densidad y cobertura de la vegetación arbórea y sotobosque, además de características físicas del suelo. Las coberturas presentaron diferentes tasas de infiltración (mm/h): 4,21 a 0,89; 8,06 a 1,50 y 1,84 a 0,72 respectivamente. No hay diferencias significativas de la vegetación arbórea que incida en la K_s , pero si el sotobosque.

Palabras clave: Cobertura vegetal, Conductividad hidráulica, Cuenca del Río San Cristóbal.

Influence of vegetation on hydraulic conductivity in three types of forest coverage

ABSTRACT

The saturated hydraulic conductivity (K_s) determines the movement of subsurface water in the soil under conditions of saturation, is important in the relation water – soil – plant, and also to reveal the alterations in the ecosystems product of change of coverage. We evaluated the incidence of the vegetation in the K_s for the coverage of forest-natural (BN) dominated by “*Weinmannia tomentosa*” L. f., plantations of “*Hesperocyparis lusitánica*” and “*Eucalyptus globulus*”, of the basin of the river San Cristóbal (Bogotá-Colombia). Quantified variables density and coverage of vegetation of trees and understory, in addition to soil physical characteristics. The coverages presented different infiltration rates (mm/h): 4,21 to 0,89; 8,06 1,50 and 1,84 to 0,72 respectively. There are no significant differences in the trees in the K_s , but if the understory

Key words: Vegetation cover, hydraulic conductivity, San Cristóbal river basin.

INTRODUCCIÓN

Las características de la vegetación y el suelo son en gran medida factores que intervienen en la cantidad y la calidad del agua para el consumo humano y las dinámicas naturales del recurso hídrico (Jullian et al. 2018). Las variables que intervienen en el ciclo hidrológico y su interrelación en la producción y flujo hídrico son consecuentes de acuerdo al tipo de vegetación y las características del suelo predominante de un ecosistema determinado (Karlin et al. 2019). Según (García 2007) algunos factores como la interceptación de la precipitación a través de la cobertura vegetal hacia el suelo, las raíces como medio para facilitar la infiltración y la escorrentía subsuperficial son esenciales en la recarga de aguas superficiales y subterráneas.

La conductividad hidráulica es la propiedad que determina el movimiento del agua en el suelo en unas condiciones de saturación dadas por el medio, según las características asociadas a los componentes sólidos, líquidos y gaseosos relacionados con el espacio poroso (Lozano et al. 2005). En este sentido, el estudio de esta propiedad física es fundamental para entender las dinámicas que confluyen en el ciclo hidrológico y la relación agua - suelo - planta y sus afectaciones por las alteraciones que han sufrido los ecosistemas estratégicos para la conservación del recurso hídrico por el cambio de coberturas vegetales (Honda and Durigan 2017).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la conductividad hidráulica en tres tipos de cobertura: Bosque natural (BN) dominado por “Weinmannia cf. Tomentosa” L.f., plantaciones de Ciprés (C) por “Hesperocyparis lusitánica” (Mill.) Bartel., y plantaciones de Eucalipto (E) dominado por “Eucalyptus globulus Labill”, ubicados en la Cuenca del Río San Cristóbal, Bogotá, Colombia teniendo en cuenta la influencia de variables como la densidad y cobertura de la vegetación tanto arbórea como herbácea (Abril et al. 2017), las características físicas del suelo con respecto a la textura, resistencia a la penetración, densidad y humedad gravimétrica determinadas para el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

La reserva El Delirio, ubicada al sureste de la zona urbanística de la ciudad de Bogotá D.C., en la localidad de San Cristóbal en Colombia, declarada desde el año 1977, como prioridad de conservación dentro de la reserva forestal protectora, dichos terrenos pertenecen a la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) lo que confiere gran importancia para el distrito capital. Cuenta con un área de aproximadamente 1200 ha que reciben una connotación hídrica, debido a que allí confluyen los afluentes que dan origen al río Fucha siendo las quebradas: La Osa, Upata y Paloblanco.

Esta área presenta altitudes de hasta 3500 msnm y una precipitación promedio de 1224 mm año⁻¹ de acuerdo a los registros de la estación El Delirio, denotando un régimen tetraestacional de precipitaciones (García 2007) lo cual indica características de selva andina y Bosque húmedo montano bajo (b-MB), en este caso con presencia de plantaciones forestales de “Eucalyptus globulus Labill” y “Hesperocyparis lusitánica” (Mill.) Bartel.

El componente edáfico de la zona de estudio, pone en evidencia suelos orgánicos debido a las condiciones de acumulación, precipitación y saturación (Jaramillo 2002). Teniendo en cuenta las características ya mencionadas y la pérdida de coberturas es posible caracterizar la reserva El Delirio como un área de conservación con potencial sitio recreativo, cultural y de gran valor, pues presta diversos servicios ecosistémicos.

Ubicación y delimitación de las parcelas.

La selección de los sitios de muestreo en las distintas coberturas se efectuó teniendo en cuenta la metodología utilizada por (García 2007), en donde se seleccionaron 3 parcelas por cada tipo de cobertura siendo de 254 m² cada una, ubicadas de manera preferencial. Para el estudio de la vegetación arbórea se realizó la medición para todos los individuos DAP \geq 10 cm dentro de cada una de las parcelas de estudio, para el caso del sotobosque se delimitaron 6 subparcelas de 1 m² cada una, dispuesta al azar, dentro de esta se midió la altura, el número de individuos y su cobertura.

Conductividad hidráulica.

Los datos de conductividad hidráulica fueron proporcionados por (García y García, 2019), usando la metodología del pozo barrenado, se realizaron dos ensayos cada 3, 6 y 9 m en tres líneas irradiadas alrededor de un árbol representativo seleccionado para cada cobertura. Para el cálculo de la conductividad hidráulica se usó la ecuación 1 propuesta por Horton en 1939.

$$f(t)=f_c+(f_0-f_c)e^{-kt} \quad (1)$$

Donde:

$f(t)$ = Conductividad hidráulica (mm/h)

f_c = Infiltración básica en t (n) (mm/h)

f_0 = Infiltración inicial en t (0) (mm/h)

k= Constante de decaimiento

t= Tiempo de inicio del ensayo

Componente edáfico.

Dentro de la parcela evaluada de cada tipo de cobertura, se eligió un sitio donde se realizó un perfil que contaba con 100 cm de profundidad, donde tomaron muestras de suelo con ayuda de cilindros de 5 cm de diámetro a una distancia de 10 cm cada uno para obtener un total de 20 muestras por cada cobertura, también se obtuvieron muestras de suelo con barrenado, que sirvió para realizar la descripción del suelo. Estas muestras fueron procesadas en los laboratorios de biología y suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, donde se obtuvo la humedad gravimétrica, textura y densidad siguiendo la metodología planteada por (Jaramillo 2002). En campo se midió la resistencia a la penetración con un penetrómetro manual, en distancias de 3, 6 y 9 m al árbol representativo en tres distintas direcciones, se realizaron 5 repeticiones, donde se obtuvo 45 datos por cada bosque, al momento de realizar el promedio mencionado se obtuvieron 27 datos en total.

Análisis estadístico.

Para analizar los datos de conductividad hidráulica se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, esta prueba es una alternativa a la ANOVA de un factor aleatorizado, es utilizada para tratar datos que no siguen las condiciones de parametricidad, es decir, cuando la distribución de la variable en estudio no cuenta con normalidad y cuando el tamaño de la muestra es inferior a 30.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La conductividad hidráulica en cada uno de los bosques evaluados presentó diferencias en las tasas de infiltración (ver figura 1), denotando valores de 8,06 a 1,50 mm/h; 1,84 a 0,72 mm/h y 4,21 a 0,89 mm/h para la plantación de *H. lusitanica* (C), *E. globulus* (E) y Bosque natural (BN) respectivamente.

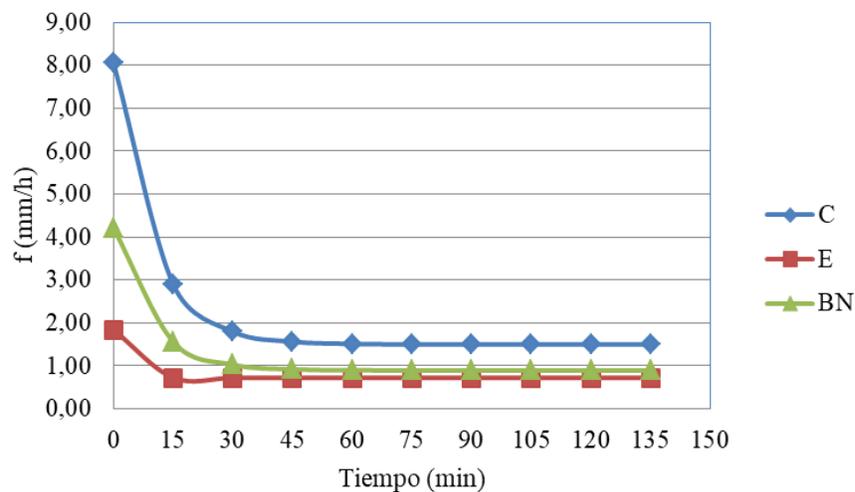


Figura 1. Comportamiento de la conductividad hidráulica según el tipo de cobertura.

El conjunto de datos obtenido para cada una de las coberturas no presentó una distribución normal, al aplicar la prueba Kruskal-Wallis se obtuvo un valor $p=0,4373$.

Cobertura vegetal.

De acuerdo con las pruebas realizadas a cada una de las variables de vegetación se determinaron diferencias significativas en porcentaje de cobertura y área basal de la vegetación por medio de la prueba Kruskal-Wallis se obtuvo valores $p=0,0077$ y $p=0,00003$ respectivamente. Con respecto a lo anterior, las comparaciones realizadas entre las muestras, es decir los tres tipos de cobertura al aplicar la prueba de Holm no se obtuvo diferencias significativas para el porcentaje de cobertura, sin embargo, en la comparación de cobertura con la prueba Holm, en cuanto al área basal se evidenciaron diferencias significativas entre el Bosque natural (BN), plantaciones de Ciprés (C) y plantaciones de Eucalipto (E); sin encontrar diferencias entre (C) y (E).

La vegetación arbórea no presentó correlación con la conductividad hidráulica para ninguno de los bosques estudiados. Sin embargo, en el sotobosque se evidenció una correlación positiva con respecto al porcentaje de cobertura para BN, C y E de un $R^2= 0,95$, $R^2= 0,76$ y $R^2= 0,70$ respectivamente, en el caso de la densidad también se encontró una correlación positiva con valores de $R^2= 0,89$, $R^2= 0,75$ y $R^2= 0,99$. Esta correlación resulta acorde a (Abril et al. 2017) que denota la facultad del sotobosque frente a la protección del suelo y manutención de dinámicas hidrológicas.

La densidad registrada para cada uno de las coberturas es de 550 árboles ha^{-1} en las plantaciones de *H. lusitanica* y Bosque natural, mientras que para las plantaciones de *E. globulus* el valor disminuyó encontrando 315 árboles ha^{-1} . Los valores de cobertura arbórea para las parcelas de estudio fueron de 72% en Bosque natural, 52% en plantaciones de *H. lusitanica* y 46% en plantaciones de *E. globulus*. En cuanto a la vegetación herbácea encontrada en el Bosque natural y *E. globulus* es dominada por la especie *Chusquea sp* acorde a lo planteado en (García 2007).

Suelos.

En la tabla 1 se muestran las distintas propiedades que se determinaron con respecto a las variables edáficas, la humedad gravimétrica difiere con lo encontrado por (García 2007), donde para Ciprés se presentan valores del 15 al 30%, en este caso el valor medio es mayor, sin embargo, para bosque natural y Eucalipto se presentan valores similares, pues hace mención de valores de 70 y del 40- 80% respectivamente, lo que concuerda con lo encontrado en este estudio.

La textura del suelo en cada bosque presenta porcentajes similares en su composición; con porcentajes de arenas entre el 87 y 92%, para arcillas el mayor porcentaje fue en la plantación de *E. globulus* con 6,07%, mientras que el contenido de limos fue mayor en la plantación de *H. lusitanica* y Bosque natural con 12,15% y 8,19%. Con respecto a estos valores se determinó que la textura de los suelos es arenoso para *E. globulus* y Bosque natural, para *H. lusitanica* arenoso franco. Estos resultados contrastados con la descripción realizada por (García 2007), son diferentes, ya que se describen como suelos arcillo limosos y franco arcillosos. Sin embargo, se recomienda realizar una prueba más detallada y aumentar las unidades muestrales para la determinación de la textura en la zona de estudio debido a la condición anisotrópica que es característica en los suelos.

Tabla 1. Valores encontrados en los tres tipos de cobertura. Para las diferentes propiedades. HG: Humedad gravimétrica, Da: Densidad aparente, Dr: Densidad real.

Cobertura	Densidad		Resistencia a la penetración		HG (%)
	Da (gr/cm^3)	Dr (gr/cm^3)	Fuerza (N)	Profundidad (cm)	
Eucalipto	0,0779	0,0472	365,33	-17,38	35,81
Ciprés	0,0780	0,0497	344,89	-16,13	60,63
Bosque natural	0,0597	0,0422	330,67	-22,73	62,12

En cuanto a la resistencia a la penetración se organizaron los valores de profundidad de mayor a menor (figura 2) de acuerdo a esto y teniendo en cuenta los valores medios tanto de fuerza como de profundidad en cada cobertura, podemos inferir que la cobertura que mayor resistencia

a la penetración presentó fue la plantación de Eucalipto pues se presentaron valores altos en cuanto a la fuerza aplicada y valores bajos en profundidad, seguido por la plantación de Ciprés y por último el bosque natural, esto se podría relacionar con lo dicho por (Jullian et al. 2018), pues la compactación en este caso está asociada al mal manejo de los suelos que puede ser un efecto del cambio de coberturas.

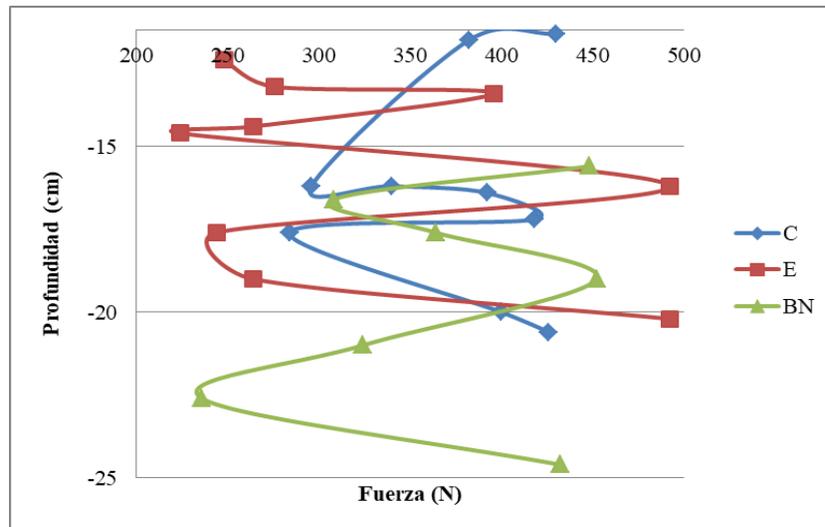


Figura 2. Resistencia a la penetración de los tres tipos de cobertura.

Con respecto a los resultados de densidad real determinada para las diferentes coberturas, y en contraste con lo encontrado por (García 2007), en cada cobertura se presenta una cantidad considerable de mantillo que permite mejorar las condiciones hidráulicas del suelo (Karlin et al. 2019), en este caso el que presenta mayor densidad real es la plantación de Ciprés, lo que se puede atribuir a la gran cantidad de musgo presente siendo una capa de hasta de 15 cm (García 2007). La densidad aparente relaciona el espacio poroso presente en el suelo (Salamanca y Sadeghian 2005), en este caso el valor más bajo lo presentó el bosque natural y teniendo en cuenta lo mencionado por (Jaramillo 2002) esta propiedad se puede utilizar como indicador de deterioro del suelo pues a medida que aumenta el valor de densidad aparente se dice que se obtiene mayor deterioro en la estructura del suelo, ya sea por la compactación o por la pérdida de materia orgánica, lo cual se puede explicar debido a la presencia de un sotobosque y mantillo (Abril et al. 2017). Como se mencionó anteriormente tanto para plantaciones de Ciprés como para Eucalipto hay mayor grado de compactación, esto relacionado con la resistencia a la penetración que cada uno de estos presenta, y en base a (Salamanca y Sadeghian 2005) que se relaciona los valores de densidad aparente, así como los encontrados en este estudio.

Teniendo en cuenta los valores de conductividad hidráulica y las características de los suelos encontrados en cada uno de las coberturas, se puede inferir que con respecto al valor de densidad real que presento las plantaciones de Ciprés y los valores de infiltración en la conductividad hidráulica el mantillo y cobertura incide en esta (Karlin et al. 2019; Abril et al. 2017), sin embargo, las plantaciones de Eucalipto presentan los valores más bajos de conductividad lo que podría estar relacionado con la resistencia a la penetración que este presentó y los valores de densidad aparente que denotan que puede existir un mayor grado de compactación bajo esta cobertura.

Conductividad hidráulica.

Mediante el modelo planteado por Horton en 1939 se obtienen los datos de conductividad hidráulica, que conciben su fundamento en la capacidad de infiltración y su expresión gráfica (Morikawa y Yoshitaka 2014). De acuerdo con (Cabria et al. 2002) se tiene en cuenta una premisa basada en que a mayor desarrollo radicular y generación de agregados, las propiedades hidrológicas e hidráulicas presentan mejores aptitudes en la regulación hídrica (Jullian et al. 2018) como es el caso de las zonas plantadas, no obstante, de acuerdo con (Morikawa y Yoshitaka 2014) la conductividad hidráulica recibe una connotación subsuperficial donde influyen otras características edáficas en mayor proporción y presenta una reducción conforme al incremento de la profundidad (Lozano et al. 2005). Sin embargo haciendo uso de la prueba de Friedman, generada mediante R project (version 3.5) es posible inferir con un valor de p equivalente a 0,95 que bajo los tres tipos de coberturas siendo bosque natural, eucalipto y ciprés no se presentan diferencias estadísticas significativas generando asombro con respecto al juicio subjetivo debido a la mecanización o cambio de coberturas de bosque natural por plantaciones forestales que puede incluso generar alteraciones en esta propiedad (Barreto et al. 2003; Jullian et al. 2018).

CONCLUSIONES

Se puede concluir que no hay diferencias significativas de la vegetación arbórea que incida en la conductividad hidráulica siendo una variable asociada a la regulación hídrica. Sin embargo, sí existen diferencias significativas en la cobertura herbácea, en cuanto al porcentaje de cobertura y la densidad presentando una correlación positiva con la conductividad hidráulica en todos los casos. Las diferencias entre coberturas vegetales arbóreas y de sotobosque son significativas como se demostró en la comparación entre variables con respecto a los valores p obtenidos.

Con respecto a las propiedades del suelo evaluadas, se obtiene que, de acuerdo a algunas observaciones hay relación entre la conductividad hidráulica, el grado de compactación y la cobertura que presentan principalmente del sotobosque, es por esto que se recomienda hacer estudios de suelos más detallados en donde se pueda realizar pruebas estadísticas para corroborar lo encontrado en este estudio.

RECONOCIMIENTOS

A los laboratorios de Biología y Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitir la elaboración de las distintas pruebas de suelos.

Al docente Carlos García por su apoyo y por proporcionar los datos de conductividad hidráulica manejados en este estudio.

Al docente Miguel Eugenio Cadena por su apoyo y colaboración en el entendimiento de las propiedades del suelo.

Al señor Reinaldo Vanegas y la señora Cecilia, por su hospitalidad, acompañamiento y apoyo en esta investigación desde la reserva el delirio, San Cristóbal, Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril R. V., López A. C. y Reyes J. J.** (2017). “Influencia del dosel y sotobosque en pérdida de suelo por escorrentía en bosque de realce”. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol.38, no.2, pp. 17-28, ISSN 1680-0338, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría – CUJAE. La Habana, Cuba.
- Barreto F. L., Carvalho, H. O. y Gheyi, H. R.** (2003). “Conductividad hidráulica en un suelo aluvial en respuesta al porcentaje de sodio intercambiable”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. vol.7, no.2, pp. 403-407, ISSN 1807-1929, Departamento de Engenharia Agrícola – UFCG. Campina Grande PB, Brasil.
- Cabria F., Calandroni M. y Monterubbianesi, G.** (2002). “Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas”. *Ciencia del Suelo*, vol.20, no.2, pp. 69-80, ISSN 0326-3169, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- García C.** (2007). “Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del río San Cristóbal, Bogotá D.C”. *Colombia Forestal*, vol. 10, no. 20, pp. 127-147. ISSN 2256-201X, Universidad Distrital Francisco José de Caldas – UDFJC. Bogotá, Colombia.
- García C., y García R.** (2019). Conductividad hidráulica bajo bosques una clave para el manejo hídrico. *Tecnogestion*, vol 16, no. 1. pp. 20-37. ISSN. 1794-676X. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – UDFJC. Bogotá, Colombia.
- Honda E. A. and Durigan G.** (2017). “A restauração de ecossistemas e a produção de água”. *Hoehnea*, vol.44, no.3, pp. 315-327, ISSN 2236-8906, Instituto de Botânica. São Paulo, Brasil.
- Jaramillo D. F.** (2002). “Introducción a la ciencia del suelo”. 613 p. ISBN 978-958-33-3843-4, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Jullian C., Nahuelhual L., Mazzorana B. y Aguayo M.** (2018). “Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile”. *Bosque*, vol.39, no.2, pp. 277-289, ISSN 0717-9200, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile.
- Karlin M. S., Bernasconi-Salazar J., Cora A., Sánchez S., Arnulphi S. y Accietto R.** (2019). “Cambios en el uso del suelo: capacidad de infiltración en el centro de Córdoba (Argentina)”. *Ciencia del suelo*, vol.37, no. 2, pp. 196-208, ISSN 0326-3169, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Lozano J., Madero E., Tafur H., Herrera O. y Amézquita E.** (2005). “La conductividad hidráulica del suelo estudiada en el Valle del Cauca con el nuevo indicador del USDA”. *Acta Agronómica*, vol. 54, no. 3, pp. 11-18, ISSN 0120-2812, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Morikawa M. S. y Yoshitaka K.** (2014). “El vínculo de la conductividad hidráulica con la velocidad de infiltración subsuperficial del suelo del bosque”. *Revista de investigación de la universidad Norbert Wiener*, no. 3, pp. 41-52, ISSN 2663-7677, Universidad Norbert Wiener. Lima, Perú.
- Salamanca J. A. y Sadeghian K. H.** (2005). “La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana”. *Cenicafé*, vol.56, no.4, pp. 381-397, ISSN 0120 - 0178, Centro Nacional de Investigaciones de Café. Manizales, Colombia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Leidy Tatiana Bermejo Cabrera. <https://orcid.org/0000-0002-3078-506X>

Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y en la revisión y redacción del artículo. Realizó contribuciones en la interpretación de los datos y toma de estos.

Angela Bibiana García Higuera. <https://orcid.org/0000-0003-0987-2473>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos y toma de estos. Participó en el análisis de los resultados y en la revisión y redacción del artículo.

Luis Fernando Soler Umbarila. <https://orcid.org/0000-0002-5925-4502>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos y toma de estos. Participó en el análisis de los resultados y en la revisión y redacción del artículo.