

## EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO SOBRE EL GRADO Y LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA REPELENCIA AL AGUA EN ANDISOLES DE ANTIOQUIA, COLOMBIA

Daniel Francisco Jaramillo Jaramillo<sup>1</sup> y Huber Alexander Vanegas Villa<sup>2</sup>

---

### RESUMEN

*En la cuenca hidrográfica de la quebrada Piedras Blancas, Oriente Antioqueño - Colombia, se ubicaron dos sitios con diferente cobertura vegetal: uno con una plantación de **Pinus patula** (pino) y el otro, con cobertura natural. En cada sitio se demarcaron dos transectos con diferente dirección: uno N-S y el otro E-O. Sobre cada transecto se hizo un muestreo intensivo del suelo, a cuatro profundidades y en dos épocas diferentes: una seca y otra húmeda, para evaluar la persistencia de la repelencia al agua real y la respuesta de la repelencia al agua al secado de las muestras a diferentes temperaturas en ambas coberturas, épocas y direcciones. La evaluación de la persistencia se hizo con el método WDPT (Water Drop Penetration Time) en condiciones de campo y en suelos secados a temperaturas de 15, 20, 25, 30, 35 y 105°C. Se observó que al incrementar la temperatura de secado, se incrementó la repelencia al agua y el volumen de suelo afectado por la hidrofobicidad. Esta situación, aunque se presenta en ambas coberturas, ocurre con mayor intensidad en los suelos ubicados bajo plantaciones de **Pinus patula**. Se encontró una anisotropía marcada en la repelencia al agua, la cual presentó una tendencia general a desarrollar mayor grado de hidrofobicidad en los transectos ubicados en dirección E-O. En todos los transectos estudiados se detectó una amplia variabilidad espacial, de rango corto, en la repelencia al agua, así como una distribución en parches del fenómeno y la generación de vías de flujo preferencial para la entrada y circulación de agua en el suelo.*

**Palabras Claves:** Suelos repelentes al agua, hidrofobicidad de suelos, andisoles, WDPT, *Pinus patula*, *Quercus humboldtii*.

---

<sup>1</sup> Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Escuela de Geociencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <djaramal@unalmed.edu.co>

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hvanegas@sag-sa.com>

Recibido: Agosto 22 de 2007; aceptado: octubre 24 de 2007.

**ABSTRACT**

**DRYING TEMPERATURE, PERSISTENCE AND SPATIAL VARIABILITY OF WATER REPELLENCY IN ANDISOLS OF ANTIOQUIA, COLOMBIA**

*In Piedras Blancas watershed, Oriente Antioqueño - Colombia, two sites with different vegetative cover were located: one with a plantation of **Pinus patula** (pine) and the other one with natural covering. In each site two transects with different direction were defined: one N-S and the other one E-O. On each transect an intensive sampling of soil was made to four depths and in two different times: one dry and the another humid to evaluate the persistence from the real water repellency and the answer from the water repellency to drying samples with different temperatures in both coverings, times and directions. Persistence evaluation was made by WDPT method under field conditions and in dried soils to temperatures of 15, 20, 25, 30, 35 and 105°C. It was observed that when drying temperature was increased, water repellency and soil volume affected by the hydrophobicity were also increased. This situation presented in both coverings occurs with more intensity in soils under plantations of **Pinus patula**. An anisotropy in water repellency was found presenting a general tendency to develop highest grade of hydrophobicity in transects in E-O direction. In all studied transects a wide space variability of short range was detected in water repellency, as well as a distribution in patches of the phenomenon and the generation of preferential flow pathways for entrance and circulation of water in soil.*

**Key words:** Water-repellent soils, soil hydrophobicity, andisols, WDPT, *Pinus patula*, *Quercus humboldtii*.

La hidrofobicidad o repelencia al agua es la dificultad que presentan algunos suelos para su humedecimiento. Un material se considera hidrofóbico o repelente al agua, cuando el agua no se extiende sobre su superficie, es decir, cuando el ángulo que se forma entre la superficie del agua (interfase agua-aire) y la superficie del sólido (interfase agua-sólido) es mayor o igual a 90°. Para que un suelo se humedezca, el ángulo de contacto que forma con el agua debe ser menor a 90° (Jaramillo, 2004, 2006).

La repelencia al agua en el suelo se debe a la acumulación de ciertos tipos de compuestos orgánicos en él y la fuente de dichos compuestos son los vegetales y/o los microorganismos, tanto vivos como en descomposición (Jaramillo, 2004).

La repelencia o hidrofobicidad incrementa la escorrentía y puede generar erosión superficial, a la vez que disminuye el volumen de agua absorbida por el suelo y su tasa de infiltración (Dekker y Ritsema, 2000). Además, puede generar vías de flujo preferencial que aceleran el transporte de agua y de contaminantes hacia el interior del suelo y que contribuyen a la contaminación de las aguas sub-superficiales.

En el caso de los suelos, la mayoría de las veces la repelencia al agua no se manifiesta en forma permanente sino que se presenta estacionalmente, siendo más intensa en las épocas secas, razón por la cual es frecuente hablar de "suelos de difícil humectabilidad" o de "suelos resistentes a la humectación" para referirse a los "suelos repelentes al agua".

Un agente no biótico que puede hacer que se manifieste la repelencia al agua en el suelo es el calentamiento del mismo (Jaramillo, 2004). Robichaud y Hungerford (2000) confirmaron, en ensayos de laboratorio y con diferentes tipos de suelos, que al someter los suelos a calentamiento se generan gradientes de temperatura que controlan la distribución y ubicación de la repelencia al agua en ellos y advierten que el calentamiento de suelos secos no repelentes al agua en condiciones naturales, puede convertirlos en repelentes.

Dekker y Ritsema (2000) sostienen que la severidad de la repelencia al agua, cuando las muestras se someten a secado, puede estar influenciada por la temperatura de calentamiento durante el proceso de secado.

Caballero (2005), Jaramillo (2003, 2004), Vanegas (2003) y Dekker (1998), observaron que a medida que el suelo va siendo sometido a temperaturas de secado cada vez mayores, se incrementan tanto el grado de repelencia al agua, como el volumen de suelo que es afectado por la hidrofobicidad.

Dekker (1998), encontró que el grado de hidrofobicidad cambia con las diferentes temperaturas de secado: el grado de repelencia al agua en la mayoría de las muestras de suelos arenosos de dunas que utilizó, pasó de un WDPT menor de 5 segundos, cuando las secó a 25°C, a valores mayores de 3600 segundos al secarlas a 65°C.

Resultados hallados por Franco, Tate y Oades (1995), al evaluar arenas repelentes al agua en el sur de Australia,

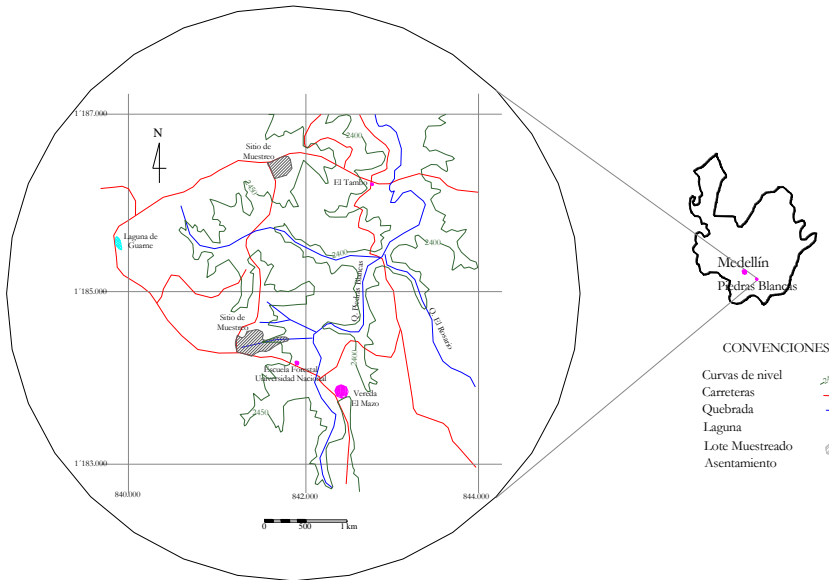
mostraron que el grado de hidrofobicidad en ellas se incrementó al aumentar la temperatura de secado entre 25°, 70° y 105°C.

Con este trabajo se pretende determinar la persistencia de la repelencia real y potencial al agua de andisoles en muestras secadas a seis temperaturas y, además, determinar la variación espacial de dicha persistencia en los sitios muestreados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se llevó a cabo en la cuenca hidrográfica de la quebrada Piedras Blancas, localizada a 17 km al oriente de Medellín - Colombia, entre las coordenadas 1°18'00" N y 1°18'59" N de latitud N y 84°00' W y 85°00' W de longitud W. La cuenca es húmeda, presenta una precipitación promedio anual de 1948 mm, con distribución bimodal, una evapotranspiración potencial anual de 746 mm y una temperatura media anual de 14,97°C. En su mayor parte, se encuentra bajo cobertura de *Pinus patula*, *Pinus elliottii*, *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus sp.* y de rastrojos altos. Los suelos en los cuales se trabajó corresponden al gran grupo Hapludands.

Se establecieron dos parcelas en dos lotes con diferente cobertura vegetal: una bajo una plantación de pino (*Pinus patula*) de 18 años de edad y la otra, bajo cobertura natural con predominio de roble (*Quercus humboldtii*). Ambas parcelas se localizan hacia las cimas de las colinas en lugares con pendientes que no superan el 4% de inclinación (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de la zona de estudio del efecto de la temperatura de secado sobre el grado y la variabilidad espacial de la repelencia al agua en andisoles de Antioquia, Colombia

En cada parcela se ubicaron dos transectos de 80 cm de longitud, uno con dirección N-S (transectos T1 y T3 en cobertura natural y T5 y T7 en pino) y el otro en uno de los extremos de los anteriores, con dirección E-O (transectos T2 y T4 en cobertura natural y T6 y T8 en pino). Sobre cada uno de los transectos se ubicaron puntos de muestreo a intervalos de distancia de 5 cm entre cada uno (Figura 2).

Ubicados los transectos en el campo, se procedió a determinar la persistencia de la repelencia real (en condiciones de humedad de campo) en cada punto, por

triplicado, mediante el WDPT\*, en cuatro profundidades: una determinación en la superficie de la capa de *litter*, otra en la superficie del suelo mineral que está en contacto con la capa de *litter* y las otras dos a los 10 y 20 cm por debajo de la superficie del suelo mineral.

En cada punto se tomó una muestra del material correspondiente para hacer determinaciones del WDPT en el laboratorio, después de someterlas a diferentes temperaturas de secado y evaluar la hidrofobicidad potencial del suelo. Para determinar el WDPT en campo, en cada punto de muestreo se colocaron 3 gotas de agua

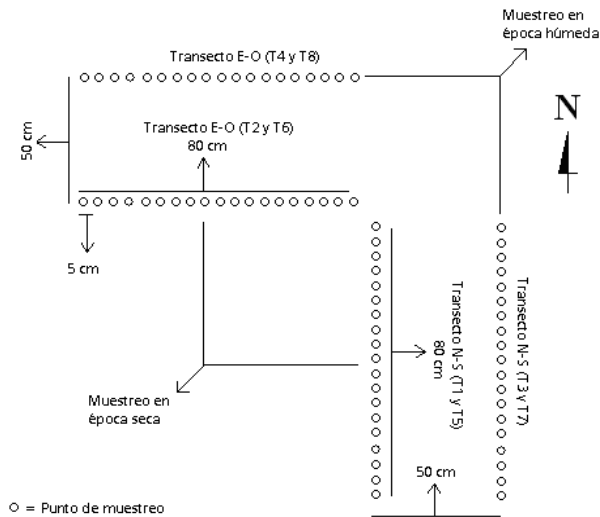
\* WDPT: Water Drop Penetration Time: Tiempo de Penetración de la Gota de Agua.

destilada y se registró el tiempo que tardaron en entrar al suelo, teniendo como tiempo límite de observación 300 segundos. El valor de WDPT que se asignó para cada punto fue el promedio de las 3 observaciones hechas en él.

A las muestras traídas al laboratorio se les determinó el WDPT después de ser secadas a temperaturas de 15, 20, 25, 30, 35 y 105 °C. Para lograr esto, las muestras se colocaron en incubadora o en horno, según la necesidad, a la temperatura deseada durante 48 horas. El WDPT en el laboratorio se determinó colocando 3 gotas de agua destilada

sobre la superficie suavizada del suelo secado y registrando el tiempo que tardaron en entrar en él, teniendo como tiempo límite de observación 3600 segundos. El valor de WDPT que se asignó para cada punto fue el promedio de las 3 observaciones hechas en él.

Todo el procedimiento descrito se llevó a cabo en dos épocas, una seca (febrero: transectos T1-T2-T5 y T6) y otra húmeda (junio: transectos T3-T4-T7 y T8). Para el segundo muestreo los transectos se ubicaron paralelamente a los del primer muestreo, a una distancia de 50 cm de ellos (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución del muestreo en el campo, para el estudio del efecto de la temperatura de secado sobre el grado y la variabilidad espacial de la repelencia al agua en andisoles de Antioquia, Colombia

Para llevar a cabo los análisis de variabilidad espacial, cada punto de muestreo fue georreferenciado mediante un sistema arbitrario de coordenadas (X, Y)

en el cual, el valor de X corresponde a las distancias horizontales a lo largo del transecto y el valor de Y corresponde a la profundidad del punto con respecto a

la superficie del suelo.

Con la información obtenida se hicieron análisis estadísticos univariados para cada variable y, además, se hizo un procesamiento de interpolación mediante kriging puntual para visualizar la variabilidad espacial de la repelencia al agua en el perfil vertical de cada transecto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Persistencia de la repelencia al agua en los suelos.* La persistencia de la repelencia al agua en todos los transectos estudiados tuvo una amplia variación: Desde WDPT = 0 s, hasta WDPT > 3600 s. Se presentaron tres tendencias generales en el comportamiento de esta variable: Uno, al aumentar la temperatura de secado, aumentó la repelencia. Resultados similares han sido descritos por Dekker (1998) y por Dekker y Ritsema (2000). Dos, la persistencia de la repelencia al agua es mayor en los transectos muestreados en la época seca, tal como lo han reportado DeBano (1971), Carter *et al.* (1994) y Dekker y Ritsema (1994), citados por Doerr, Shakesby y Walsh (2000). Tres, al aumentar la profundidad en el perfil, la persistencia disminuye (Jaramillo, 2003; Roy *et al.*, 2000; Wallis, Horne y McAuliffe, 1990).

Los resultados muestran algún grado de repelencia en las dos primeras profundidades, en todos los transectos. La persistencia en muestras secadas a la misma temperatura, fue mayor en suelo bajo cobertura de pino que bajo cobertura natural (Figura 3). También, en la cobertura de pino se afecta un mayor espesor del suelo con una mayor persistencia (Figura 4). Este comporta-

miento puede estar relacionado, como lo sugirió Jaramillo (1992), con un aporte alto de materiales repelentes al agua por parte del sistema radicular denso y fino del pino que se encuentra en los primeros centímetros del suelo, adicional al aporte que se hace por efecto de la descomposición de litter y a la translocación de los productos de ella.

El secado de las muestras a 105°C generó una persistencia extremadamente alta en todas ellas, en las dos primeras profundidades y en buena parte de las que se tomaron en la tercera profundidad; en la cuarta profundidad de muestreo dicha temperatura apenas alteró la humectabilidad de unas pocas muestras (Figura 3). Sólo se presentaron muestras con persistencia severa de la repelencia real al agua (la medida en campo) en los transectos evaluados en época seca.

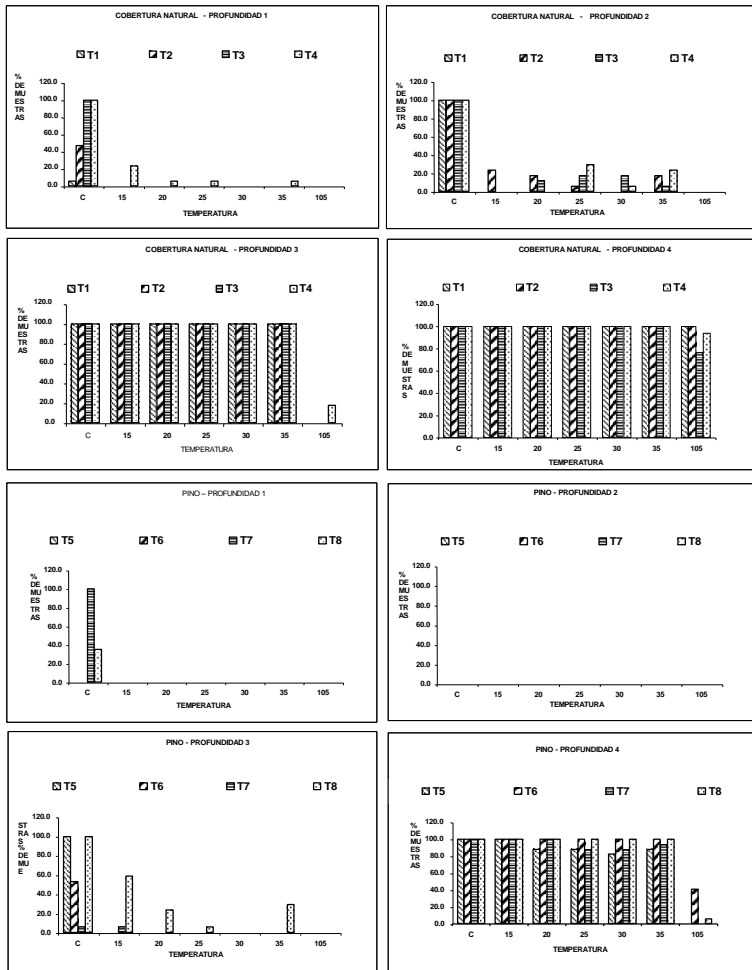
El efecto de la temperatura sobre la repelencia al agua se evidencia en las profundidades tres y cuatro. En ellas se presentan algunas muestras repelentes al agua sólo cuando se someten a secado de 105°C, es decir, que cuando en el suelo se han acumulado cantidades bajas de compuestos que pueden desarrollar repelencia al agua, ellos sólo se manifiestan como tales, cuando son puestos en condiciones extremas de temperaturas altas.

También puede estarse presentando un efecto físico de contracción de los coloides de los Andisoles, a estas altas temperaturas, que esté reduciendo su capacidad de conducir agua, sobre todo en aquellos suelos que están bajo cobertura natural, posibilidad que debe ser estudiada con detalle en futuras investigaciones, pues Jaramillo (1996) encontró

Efecto de la temperatura de secado....

que después de lavar suelos similares a los de esta investigación, bajo coberturas de pino y de ciprés, con solventes orgánicos y removerles los compuestos hidrofóbicos, ellos volvían a ser completamente humec-

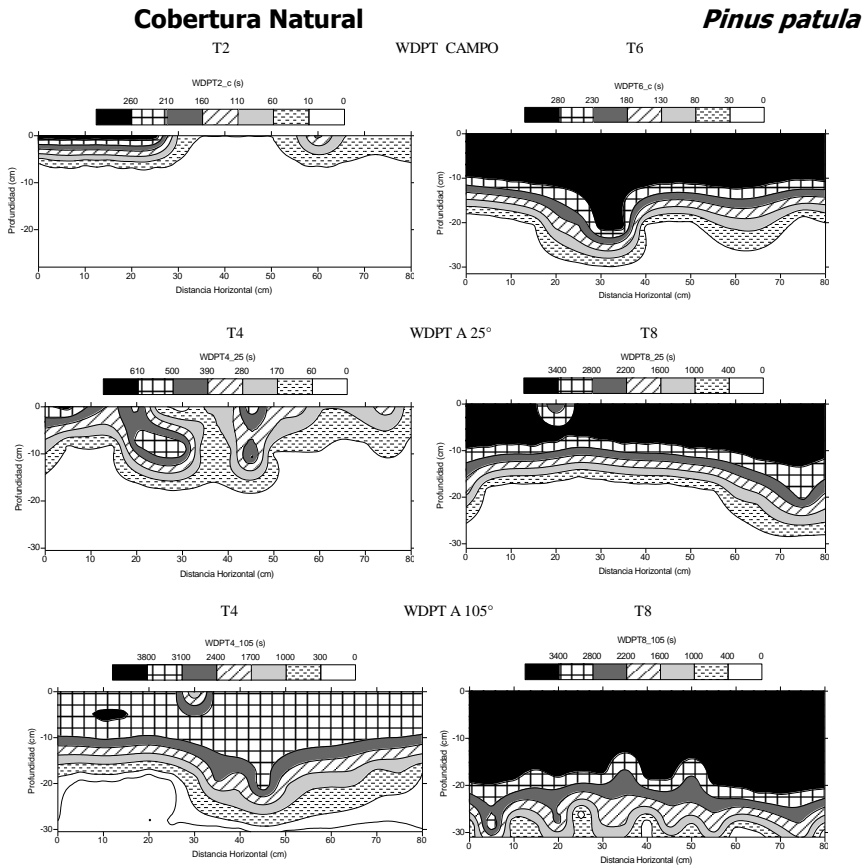
tables cuando se secaron al aire, a pesar de haber sido completamente modifica-dos en sus condiciones físicas por los tratamientos de extracción a que fueron sometidos.



**Figura 3.** Porcentaje de muestras con WDPT < de 60 segundos, en las cuatro profundidades de los transectos muestreados en andisoles de Antioquia, Colombia. (En los ejes X, la C representa la condición de campo y la T- identifica los transectos: ver Materiales y Métodos). (Adaptada de Vanegas, 2003).

**Variabilidad espacial de la persistencia de la repelencia al agua en los suelos.** Para poder visualizar la variabilidad espacial de la persistencia de la repelencia al agua en todo el perfil muestreado, se hicieron análisis de semivarianza y de interpolación con

el método del kriging puntual, como los planteó Jaramillo (2003). Con el procedimiento mencionado se obtuvieron mapas para cada transecto y cada temperatura de secado de los cuales se seleccionaron, como representativos, los que se exponen en la Figura 4.



**Figura 4.** Variabilidad espacial del WDPT con la profundidad, para transectos representativos muestreados en las diferentes coberturas en andisoles de Antioquia, Colombia (transecto 2: con dirección E-O y en época seca, transecto 6: con dirección E-O y en época seca, transecto 4: con dirección E-O y en época húmeda y transecto 8: con dirección E-O y en época húmeda), en condiciones de campo y con muestras secadas a 25 y 105°C. (Adaptada de Vanegas, 2003).



Al hacer una observación general de los mapas obtenidos se aprecia claramente que la distribución de la repelencia al agua en los suelos estudiados corresponde con un patrón de parches de diferentes grados de repelencia, tal como lo encontró Jaramillo (1992), y como lo han reportado otros autores como Dekker (1998) y Roy *et al.* (2000).

En los suelos bajo cobertura de pino se observó la tendencia, más o menos generalizada, hacia la formación de fases hidrofóbicas continuas en el suelo cuando se somete a secado, en lugar de favorecer el desarrollo de parches. Sin embargo, en muchos mapas también se puede apreciar la formación de vías de flujo preferencial.

Se pueden establecer algunas tendencias generales en el comportamiento de la persistencia de la repelencia al agua en los suelos bajo cobertura natural:

- Uno. La hidrofobicidad actual sólo llega a ser alta en unos pocos centímetros superiores y desaparece en una distancia muy corta, en profundidad.
- Dos. En muestras sometidas a secado entre 15 y 35 °C, la repelencia al agua y el espesor de suelo afectado aumentan al aumentar la temperatura de secado, aunque no afecta espesores mayores a los 20 cm de suelo.
- Tres. Son frecuentes los parches fuertemente repelentes al agua y se pueden identificar vías de flujo preferencial alrededor de ellos.
- Cuatro. Cuando se analiza la hidrofobicidad potencial máxima (suelo secado a 105 °C), más de la mitad del espesor del suelo se manifiesta como fuertemente repelente al agua y la

repelencia tiende a formar una fase continua en la parte superficial del suelo.

El comportamiento de la repelencia al agua descrito puede jugar un importante papel en la hidrología de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas que debe ser evaluado. La distribución del fenómeno en parches puede atenuar el efecto de una alta escorrentía que, en combinación con las condiciones de relieve con gradientes pronunciados, puede inducir una alta susceptibilidad a la erosión en ella.

También las vías de flujo preferencial merecen ser estudiadas en detalle puesto que ellas son, no sólo vías de flujo de agua hacia el interior del suelo que aumentan su recarga y abastecimiento, sino que también por ellas se movilizan otras sustancias, de forma preferencial, como materia orgánica, nutrientes y contaminantes.

A medida que se aumenta la temperatura de secado, se incrementa la persistencia de la repelencia al agua y el volumen de suelo afectado por esta condición. Esta situación ocurre con mayor intensidad en los suelos ubicados bajo plantaciones de *Pinus patula*.

La hidrofobicidad potencial fue considerablemente mayor que la hidrofobicidad real. Se encontró también que, a las temperaturas normales que se alcanzan en la cuenca se puede manifestar repelencia severa al agua que puede afectar su hidrología y uso.

Las muestras tomadas en época seca desarrollan un mayor grado de hidrofobicidad que las tomadas en época

húmeda, en todas las temperaturas de secado.

Se presentó una alta variabilidad en todas las determinaciones de WDPT que se hicieron y, de ella, un porcentaje alto fue inducido por la variabilidad espacial. Esta última fue de rango corto y confirmó la distribución en parches de la repelencia al agua en estos suelos.

Mediante los análisis de variabilidad espacial se detectó la presencia de vías de flujo preferencial en los suelos, asociadas a la presencia de materiales con diferentes grados de repelencia al agua distribuidos en ellos y se observó una anisotropía marcada en la repelencia al agua, la cual presentó una tendencia general a desarrollar mayor persistencia en la hidrofobicidad de los transectos ubicados en dirección E-O.

## BIBLIOGRAFÍA

Caballero, B. 2005. Variabilidad espacial de la hidrofobicidad en Andisoles bajo tres coberturas vegetales. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 40 p.

Dekker, L.W. and C.J. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soils. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour. Res.* 30(9):2507-2517.

Dekker, L.W. and C.J. Ritsema. 1996. Uneven moisture patterns in water repellent soils. *Geoderma.* 70:87-99.

Dekker, L.W. 1998. Moisture variability resulting from water repellency in

Dutch soils. Doctoral Thesis. Wageningen Agricultural University The Netherlands, 240 p.

Dekker, L.W. and C.J. Ritsema. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hydrol.* (231-232):148-164.

Doerr, S.H., R.A. Shakesby and R.P.D. Walsh. 1998. Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Sci.* 163(4):313-324.

Doerr, S.H., R.A. Shakesby and R.P.D. Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth Sci. Rev.* 51(1):33-65.

Duque, J.R., S.P. Arbeláez, D.F. Jaramillo y J.D. León, 2004. Hidrofobicidad en Andisoles bajo robledal (*Quercus humboldtii*) y plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 57(2):2423-2434.

Franco, C.M.M., M.E. Tate and J.M. Oades. 1995. Studies on non – wetting sands. I. The role of intrinsic particulate organic matter in the development of water – repellency in non – wetting sands. *Aust. J. Soil Res.* 33:253-263.

Jaramillo, D.F. 1992. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus patula* y la hidrofobicidad en algunos andisoles de Antioquia. Tesis Magíster en Suelos y Aguas, Facultad de Ciencias

Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 95 p.

Jaramillo, D.F. 1996. Efecto de la extracción con mezclas de solventes en andisoles repelentes al agua de Antioquia. Rev. ICNE. 6(1):65-78.

Jaramillo, D.F. 2000. Caracterización preliminar de los compuestos hidrofóbicos removidos de Andisoles repelentes al agua de Antioquia. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 53(1): 801-821.

Jaramillo, D.F., L.W. Dekker, C.J. Ritsema and J.M.H. Hendrickx. 2000. Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. J. Hydrol. (231-232):105-111.

Jaramillo, D.F. 2003. Efecto de dos temperaturas de secado del suelo sobre la repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. Informe de investigación. Escuela de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 36 p.

Jaramillo, D.F. 2004. Repelencia al agua en suelos: con énfasis en andisoles de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 197 p.

Jaramillo, D. F. 2006. Repelencia al agua en suelos: Una síntesis. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fís. Nat. 30(115): 215-232.

Robichaud, P.R. and R.D. Hungerford. 2000. Water repellency by laboratory burning of four northern rocky mountain forest soils. J. Hydrol. (231-232):207-219.

Roy, J.L., W.B. McGill, H.A. Lowen and R.L. Johnson. 2000. Hydrophobic soils: Site characterization and tests of hypotheses concerning their formation. Alberta, Canada: Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC) -Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP)- Environmental Research Advisory Council (ERAC). 87 p. (Final report on PTAC RFP #9 1999/2000).

Vanegas, H.A. 2003. Efecto de la temperatura de secado de andisoles bajo dos coberturas vegetales sobre el grado de hidrofobicidad que desarrollan. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 61 p.

Wallis, M. G. Horne, D. J. and McAuliffe, K. W. 1990. A study of water repellency and its amelioration in a yellow brown sand. N.Z. J. Agr. Res. 33(9):139-144.