

**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)**

Juan Raúl Duque Zapata¹; Sandra Patricia Arbeláez Mesa¹;
Daniel Francisco Jaramillo Jaramillo² y Juan Diego León Peláez³

RESUMEN

*En la cuenca de la quebrada Piedras Blancas se evaluó la persistencia de la repelencia al agua en el horizonte A de Andisoles bajo tres coberturas vegetales: **Pinus patula**, **Cupressus lusitanica** y **Quercus humboldtii** y en tres posiciones topográficas diferentes a lo largo de la vertiente de colinas bajas, mediante el método de WDPT, en muestras con la humedad de campo y secas al aire.*

En todas las coberturas se encontró repelencia al agua en los suelos. Además, cuando las muestras fueron secadas al aire, la persistencia de la repelencia al agua se incrementó. Se encontró diferencia significativa en la distribución de la persistencia de la repelencia al agua entre las coberturas y entre las posiciones en la vertiente de las colinas, sin que se presentara un comportamiento similar para las tres coberturas.

Los suelos bajo cobertura de ciprés fueron los que presentaron los mayores valores de WDPT en todas las condiciones de medida, siendo este el primer reporte que se hace en la literatura, con un amplio respaldo muestral, de repelencia al agua en suelos bajo dicha cobertura vegetal. En ninguno de los casos, la humedad de las muestras fue el parámetro que explicara el comportamiento observado en la repelencia al agua de los suelos estudiados.

Palabras claves: Repelencia real al agua, repelencia potencial al agua, andisoles, ciprés, pino, roble, WDPT.

ABSTRACT

HYDROPHOBICITY OF ANDISOLS OF OAK GROVES (*Quercus humboldtii*) AND TREE PLANTATIONS (*Pinus patula* and *Cupressus lusitanica*) IN THE PIEDRAS BLANCAS WATERSHED (MEDELLÍN, COLOMBIA)

*The persistence of water repellency in the A horizon of Andisols was evaluated in the Piedras Blancas watershed under three vegetative covers: **Pinus patula**, **Cupressus lusitanica**, and **Quercus humboldtii**,*

¹ Estudiantes Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jrduque@unalmed.edu.co>, <sparbela@unalmed.edu.co>

² Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <djaramal@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jdleon@unalmed.edu.co>

and in three different topographic conditions across the slope of a low hill, using the WDPT method with samples containing field humidities and airdried samples.

In all vegetative covers, water repellency of the soils was documented. Also, when the samples were air-dried, the persistency of the water repellency increased. A significant difference in the distribution of water repellency was documented among the different vegetative covers and topographic conditions, without a consistent pattern for the three vegetative coverings.

The soils under cypress were those that presented the highest WDPT values in all measurement conditions, this being the first report in the literature of soil water repellency under this vegetative covering supported by adequate sampling. In none of the cases was sample humidity the parameter that explained the observed behavior of the water repellency of the soils studied.

Key words: *actual water repellency, potential water repellency, Andisols, cypress, pine, oak, WDPT*

INTRODUCCIÓN

Los suelos hidrofóbicos o repelentes al agua se caracterizan por presentar resistencia a humedecerse durante un determinado tiempo de contacto con ella. Este tipo de suelos ha sido reportado en varios países y, a través de los años, varios científicos que los han estudiado, citados por Wallis y Horne (1992), han sugerido que esta repelencia es más común de lo que se ha reconocido.

La repelencia al agua se genera por la acumulación de compuestos hidrofóbicos recubriendo total o parcialmente las partículas y/o los agregados del suelo. Estos compuestos son orgánicos y se generan principalmente de los vegetales y de algunos microorganismos, bien como productos de su metabolismo cuando aún viven, o bien de los productos de su descomposición cuando mueren (DeBano, 1981). También se han encontrado hidrocarburos provenientes de derrames de petróleo en el suelo ocasionando problemas de repelencia al agua en él (Roy *et al.*, 2000).

Los incendios forestales y las quemas no controladas, por las temperaturas que se alcanzan, pueden convertir compuestos orgánicos humectables en hidrofóbicos o pueden secar irreversiblemente la materia orgánica, tornándola también en hidrofóbica, transformando suelos no repelentes en suelos repelentes al agua (DeBano, 1981, 2000; Doerr; Shakesby y Walsh, 2000; Hubbert y Oriol, 2003). Sin embargo, aquellas sustancias responsables de la hidrofobicidad, pueden ser destruidas cuando los suelos alcanzan ciertas temperaturas: entre 280 y 400°C (DeBano, 2000) o entre 260 y 340°C (Doerr *et al.*, 2003, 2004).

La repelencia al agua ha sido reportada en varios sitios del mundo, en varios tipos de suelo y con diversas coberturas y aunque los suelos más susceptibles a ella son los de textura gruesa, Wallis y Horne (1992) y Roy *et al.*, (2000) mostraron que la repelencia al agua se presenta en suelos con amplias diferencias en su composición textural, desde arenosa hasta arcillosa.

Según Dekker y Ritsema (1994), la repelencia al agua en los suelos generalmente tiende a incrementarse durante las estaciones secas y a decrecer o a desaparecer completamente, después de fuertes precipitaciones o durante períodos extensos con altos contenidos de agua en el suelo. Estos autores observaron, además, que cuando se ponen a secar las muestras del suelo, éstas se pueden tornar repelentes al agua, aún cuando con la humedad de campo no lo sean. El comportamiento descrito los llevó a definir dos tipos de repelencia al agua: **Repelencia Real**, aquella que se presenta en el suelo en condiciones de campo y **Repelencia Potencial**, la que se presenta cuando el suelo es sometido a secado en el laboratorio, generalmente al aire o al horno.

La hidrofobicidad en los suelos reduce el crecimiento de cultivos y plantaciones, afecta sus balances hídricos y puede ser responsable de la presencia de la erosión en ellos, sobre todo en altas pendientes (Doerr; Shakesby y Walsh, 2000). Además, genera altas tasas de escorrentía, bajas tasas de infiltración, aumento en la contaminación de aguas subsuperficiales y vías con flujos preferenciales (Dekker y Ritsema, 2000).

Jaramillo (1992, 2003) y Jaramillo *et al* (2000) evaluaron la repelencia al agua en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, bajo cobertura de *Pinus patula* y encontraron que allí se presentaba una repelencia extremadamente alta en la mayoría de las muestras analizadas. Situación similar fue encontrada por Vanegas (2003), tanto en suelos bajo cobertura de pino como de bosque natural dominada por *Quercus humboldtii*, aunque ésta presentó un menor grado de hidrofobicidad que la cobertura de *Pinus patula*.

Evaluaciones hechas recientemente en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, han mostrado que la hidrofobicidad tiene una alta variabilidad espacial de rango corto y una aparente anisotropía en su distribución (Jaramillo, 2003; Vanegas, 2003), estando sus causas aún sin establecer.

Desde el año 2001, el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, viene ejecutando el proyecto de investigación “Contribución al conocimiento del ciclo de nutrientes en bosques montanos naturales (*Quercus humboldtii*) y reforestados (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) de la región de Piedras Blancas, Antioquia”. En éste se estudian los ciclos de agua y los flujos de nutrientes asociados a ellos en los ecosistemas forestales señalados.

El estudio que aquí se presenta, se enmarca dentro de los objetivos del proyecto mencionado y pretende, de manera particular, establecer: 1). La ocurrencia y magnitud del fenómeno de la repelencia al agua en los ecosistemas forestales naturales y plantados que se estudian en el proyecto. 2). Si hay diferencia en la manifestación del fenómeno entre las tres coberturas vegetales. 3). Si hay diferencia en dichas manifestaciones, debida a la ubicación del suelo sobre la vertiente de las colinas bajas del sitio experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en la cuenca alta de la quebrada Piedras Blancas, localizada sobre la cordillera central entre los 2200 y 2600 msnm, al oriente del Valle de Aburrá. Se encuentra al extremo oriental de Medellín, corregimiento de Santa Elena, a 20 km del casco urbano.

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (Holdridge, 1987), el área se ubica en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB). Tiene una precipitación promedia anual de 1871 mm y una temperatura promedia anual de 14,7 grados centígrados (Uribe, 2001).

Hidrológicamente el área de estudio está conformada por un sistema principal que es la quebrada Piedras Blancas y su afluente más importante, la quebrada El Rosario, ambas con dirección sur-norte, y sus tributarios en dirección este-oeste.

El relieve es ondulado donde el 48% del área tiene pendientes que fluctúan entre 12 y 25% (Instituto Mi Río, 1995). El 81% del área posee cobertura arbórea y arbustiva, en su mayor parte de plantaciones forestales, donde las más representativas son las de *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*. También posee vegetación natural donde, además de bosques de composición mixta, se encuentran ecosistemas de robledal, en los cuales la especie de roble *Quercus humboldtii* domina la composición florística.

En la cuenca predominan suelos derivados de ceniza volcánica (Andisoles), desaturados, ácidos, con alto contenido de materia orgánica, bajos en bases, moderadamente profundos a profundos, con drenaje natural de moderado a bueno y fertilidad baja a muy baja (Empresas Públicas de Medellín, 1988).

Establecimiento de las subparcelas. En cada ecosistema forestal a estudiar (roble, pino y ciprés) se ubicaron tres subparcelas de 6 m x 5 m, las cuales se localizaron siguiendo un transecto longitudinal a lo largo de la ladera, disponiéndolas en los sectores inferior, medio y superior de ésta.

En cada subparcela se trazó una malla con seis líneas separadas 1 metro entre ellas, en dirección transversal a la pendiente y diez líneas, separadas 50 cm entre sí, en la dirección de la pendiente. En cada punto de cruce de las líneas se perforó un hoyo a través de la capa de hojarasca superficial, hasta encontrar la superficie del horizonte A, correspondiente a la unión de la capa orgánica con la capa mineral del suelo y se tomó una muestra de 200 g aproximadamente, mediante el empleo de un barreno, hasta una profundidad de 15 cm.

Cada muestra fue colocada inmediatamente en una bolsa plástica previamente marcada y con sello hermético para evitar la pérdida de humedad. Se obtuvieron 60 muestras por subparcela, para un total de 180 muestras de suelo por cada cobertura vegetal y 540 muestras en total. Luego de la recolección, el material fue llevado a una cava para su conservación a temperatura de 4°C, donde permaneció durante el desarrollo del estudio en laboratorio, con el objeto de que las muestras no perdieran la humedad de campo con la que fueron recolectadas.

Evaluación de la repelencia al agua. La persistencia de la repelencia al agua se determinó por el método WDPT^{*1}, colocando tres gotas de agua destilada sobre la superficie de la muestra del suelo, previamente tamizada para separar la fracción de agregados menor de 1 mm de diámetro y colocada en una cápsula metálica. Se registró el tiempo que gastaron las gotas en penetrar completamente en la muestra, siendo el tiempo máximo de observación de 1800 segundos. Se hicieron dos determinaciones de WDPT: una con el suelo en el estado de humedad en que se colectó en campo (repelencia real) y una segunda evaluación después de que se dejó secar y estabilizar en el laboratorio (repelencia potencial). El valor de WDPT asignado a cada muestra fue el del promedio de los tres tiempos de las gotas utilizadas en cada una de ellas. La persistencia de la repelencia al agua en cada muestra se caracterizó, según el tiempo gastado, con la clase de WDPT que le correspondiera, de las definidas a continuación, con base en la propuesta de Dekker y Jungerius (1990):

- Clase 0: Valor de WDPT < 5 s.
- Clase 1: Valores de WDPT entre 5 y 60 s.
- Clase 2: Valores de WDPT entre 60 y 600 s.
- Clase 3: Valores de WDPT entre 600 y 1800 s.
- Clase 4: Valores de WDPT > 1800 s

Una vez terminadas las pruebas de laboratorio los resultados fueron sometidos a análisis univariados y, mediante pruebas no paramétricas, a análisis de comparación de proporciones para estudiar posibles diferencias en la distribución de las clases de la repelencia al agua entre coberturas, entre subparcelas dentro de las mismas coberturas vegetales y entre las condiciones de humedad bajo las que se hicieron las determinaciones. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa Statgraphics 5.0 plus.

* WDPT: Water Drop Penetration Time: tiempo de penetración de una gota de agua en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo las tres coberturas vegetales se encontraron suelos con repelencia al agua, tanto real como potencial, con un variado grado de persistencia. En la Tabla 1 se aprecian los rangos de variación que presentaron los valores de WDPT en las tres coberturas y con las dos condiciones de humedad en que fueron evaluados.

TABLA 1. Valores mínimo y máximo del WDPT real y potencial de andisoles en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia), bajo tres coberturas vegetales.

WDPT (s)		Cobertura		
Condición	Valor	Ciprés	Pino	Roble
Real	Mínimo	0	0	0
	Máximo	> 1800	479,81	223,78
Potencial	Mínimo	0	0	0
	Máximo	> 1800	> 1800	> 1800

Se observa en la tabla anterior que sólo bajo cobertura de ciprés se alcanzaron los valores máximos de WDPT para la repelencia real al agua en el suelo (> 1800 s). El secado de las muestras al aire incrementó la persistencia de la repelencia al agua, puesto que en todas las coberturas se llegó al límite del tiempo de observación propuesto para el WDPT, cuando ellas se llevaron a esa condición. Este comportamiento es ampliamente conocido y fue observado en andisoles, similares a los trabajados aquí, por Jaramillo (1992, 2003) y por Vanegas (2003).

La distribución de los valores de la persistencia de la repelencia al agua, real y potencial, en las diferentes coberturas, se presenta en la Figura 1. En ella se observa que hay diferencias en la distribución de la hidrofobicidad, tanto real como potencial, entre las coberturas. Nótese que en ambas condiciones de determinación, bajo la cobertura de ciprés se tiene la mayor cantidad de muestras con el máximo valor de WDPT (clase 4): 56,67% y 62,78% para la repelencia real y potencial, respectivamente.

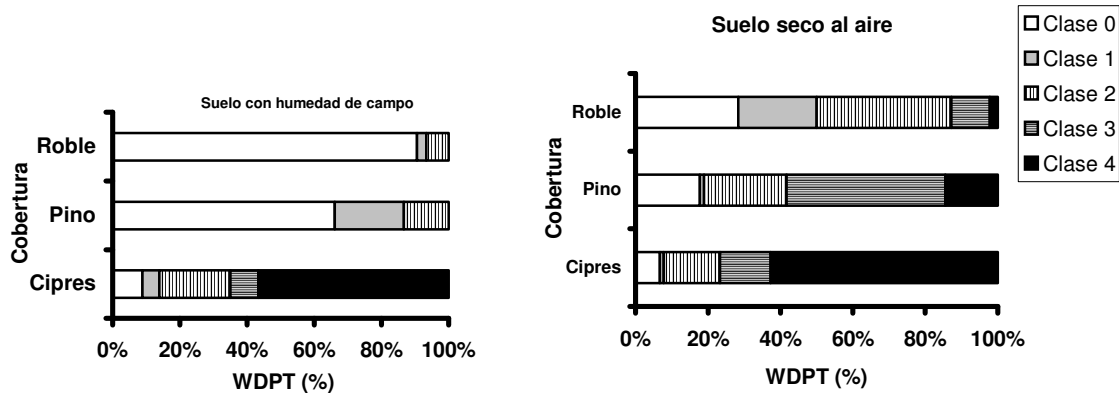


Figura 1. Distribución de los valores de la persistencia de la repelencia al agua, real y potencial, en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia), bajo tres coberturas vegetales.

La baja cantidad de muestras con repelencia real y potencial al agua en los suelos bajo cobertura de roble ya fue demostrada por Vanegas (2003), quien la comparó con la distribución de muestras repelentes bajo cobertura de pino, en la misma cuenca de la quebrada Piedras Blancas.

En la Figura 1 es evidente el incremento que se produce en la persistencia de la repelencia al agua, al pasar de evaluar esta propiedad en muestras con la humedad de campo, a muestras secas al aire. Son notables los cambios en la distribución de las muestras que se producen bajo las coberturas de roble y de pino en las clases de menor persistencia: en roble se pasa de tener 90,56% de las muestras en la clase 0, cuando se determina el WDPT real, a tener 28,33%, en la misma clase, cuando la determinación se hace con las muestras secas al aire. En pino sucede una situación similar a la que ocurre con el roble. El efecto del secado de las muestras sobre la persistencia ha sido ampliamente demostrado (Dekker, 1998), incluso en los Andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Jaramillo, 1992, 2003; Jaramillo *et al.*, 2000; Vanegas, 2003).

El comportamiento de los suelos muestreados bajo coberturas de pino y de ciprés, donde se presenta una alta persistencia de la repelencia al agua 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 que se observó en los primeros centímetros del suelo, adicional al aporte que se hace por efecto de la translocación de los productos de la descomposición del litter acumulado sobre ellos.

Al hacer un análisis de comparación de proporciones entre las tres coberturas vegetales estudiadas, para cada una de las clases de WDPT real medido, se encontraron diferencias significativas, al 95%, entre las distribuciones de ellas en las coberturas. La probabilidad de que se presenten los máximos valores de WDPT (clases 3 y 4) es significativamente diferente entre las coberturas de ciprés y pino y de ciprés y roble pero no hay diferencia significativa en las probabilidades para pino y roble. La probabilidad de que se presente la clase 0 difiere significativamente en las tres coberturas. Para la clase 1, las diferencias significativas se presentaron entre ciprés y pino y entre roble y pino pero entre ciprés y roble no se presenta diferencia significativa en la distribución de esta clase. Con la clase 2 se tuvieron diferencias significativas entre ciprés y roble únicamente. Al hacer este mismo análisis para el WDPT potencial, las diferencias para las clases 1 y 2 se presentaron entre las coberturas de ciprés y roble y de pino y roble; para la clase 0, entre ciprés y roble; para la clase 3, hubo diferencias significativas entre pino y ciprés y entre pino y roble, y para la clase 4, entre ciprés y pino y ciprés y roble.

Con el análisis de comparación de proporciones entre el WDPT real y potencial, se encontraron diferencias significativas entre los valores de WDPT húmedo y seco al aire, en general, en las coberturas de pino y roble; con ciprés no hubo diferencias significativas entre las condiciones de secado en ninguna de las clases definidas.

En la Figura 2 se muestra la distribución de las clases de WDPT en cada subparcela, en las diferentes coberturas. Se observa que la repelencia real presenta un WDPT < 600 s en todas las muestras de suelo que se tomaron bajo las coberturas de roble y de pino, con un alto porcentaje de ellas perteneciendo a la clase 0, es decir, sin hidrofobicidad: 90,56 %, en promedio en las tres subparcelas, en roble y 66,11 %, también en promedio, en pino. Contrario a lo anterior, en ciprés el 56,67 % de las muestras, en promedio, presentó una repelencia real al agua con WDPT > 1800 s (clase 4) y sólo el 8,89 % de ellas tuvieron un WDPT < 5 s (clase 0).

Al comparar la distribución de las clases de WDPT potencial, tanto de manera global (Figura 1) como por subparcelas (Figura 2), con la distribución de las clases de WDPT real, se observa que hay un aumento general en la repelencia al secar las muestras. En las coberturas de roble y de pino aparecen muestras con WDPT en las clases 3 y 4 en todas las subparcelas, las cuales no se presentan al evaluar la repelencia real. Este efecto del secado de aumentar la repelencia al agua ya se discutió en apartes anteriores.

En las gráficas de la Figura 2 cabe destacar el comportamiento diferencial que hay en la distribución de la repelencia al agua en las subparcelas, dentro de la misma cobertura, así como la variación que se presenta en esta característica al cambiar de la repelencia real a la potencial.

En efecto, en la cobertura de roble la subparcela de menor repelencia real al agua es la inferior, mientras que en pino es la superior y en ciprés, la media. Al observar la repelencia potencial en ciprés se conserva el comportamiento descrito para la real pero, con roble y con pino, aquellas subparcelas que presentaron la menor repelencia real se convirtieron en las de mayor repelencia potencial.

El comportamiento descrito anteriormente puede estar mostrando que hay una acumulación diferencial de materia orgánica en el suelo, tanto en cantidad como en calidad, controlada, ya sea por el aporte directo de ella a partir de las acículas, hojas, raíces o tejidos microbiales, como lo propuso Jaramillo (1992), por el desplazamiento superficial de dichos materiales mediante la escorrentía o por la translocación de compuestos orgánicos solubles dentro del suelo. Sin embargo, cabe aclarar que en algunos pocos suelos, el secado los tornó humectables, lo que confirma las respuestas diferenciales y particulares de la hidrofobicidad en cada suelo, mencionadas por Doerr; Shakesby y Walsh (2000).

Teniendo en cuenta que Dekker y Ritsema (1994) y Dekker *et al.* (2001) han definido niveles críticos de humedad en el suelo para que se manifieste en él la repelencia al agua, a las muestras utilizadas en este trabajo se les determinó el contenido de humedad que presentaban en cada condición en la que se les evaluaba el WDPT (los resultados de la condición de humedad no se presentan en este trabajo).

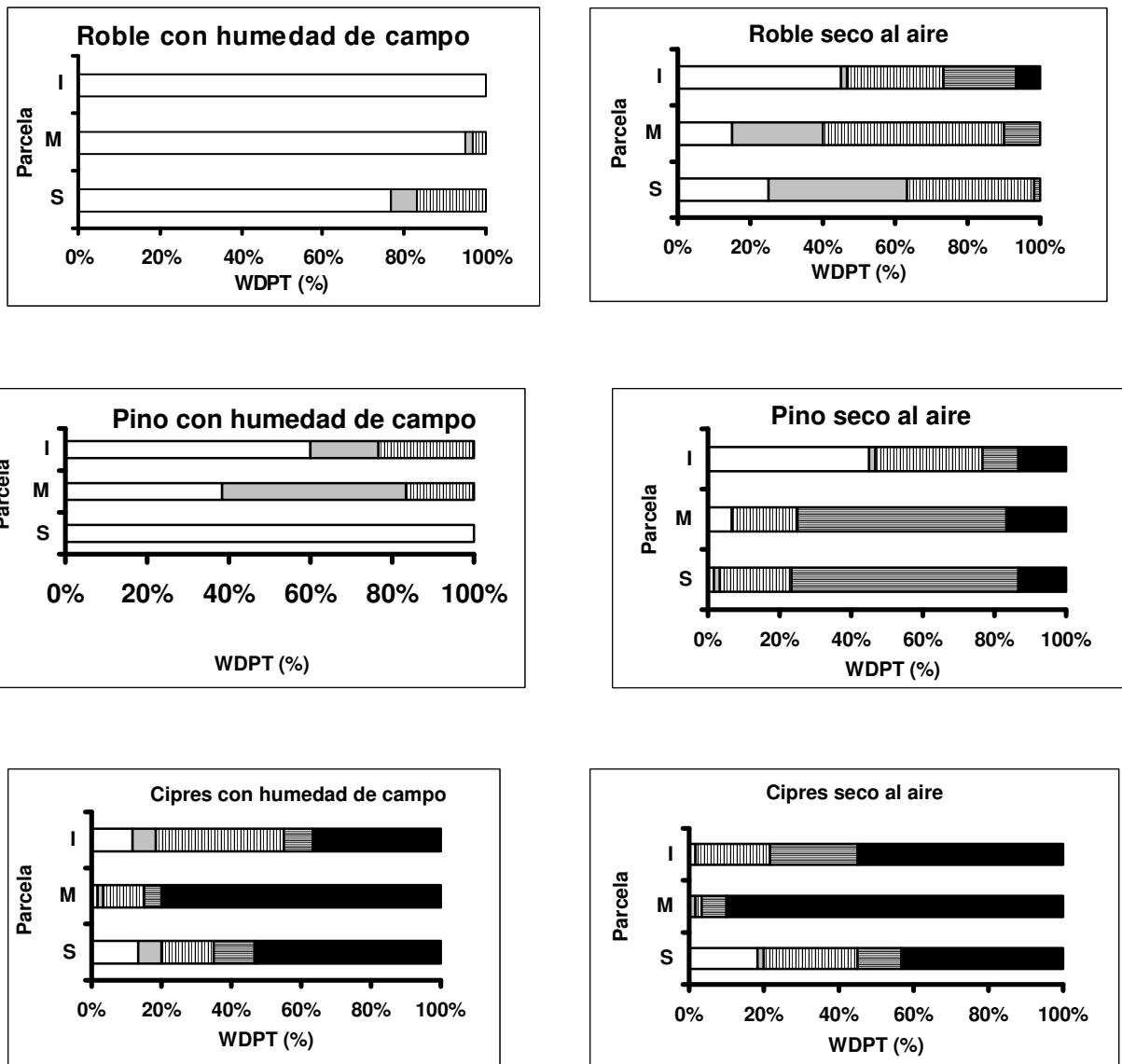


Figura 2. Distribución de las clases de persistencia de la repelencia al agua, real y potencial, en las subparcelas de cada cobertura, en Andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas ubicada en Medellín, Colombia. (I: parte baja de la vertiente; M: parte media; S: parte superior).

Al comparar la distribución de los contenidos de humedad de las muestras con la distribución de los valores de WDPT obtenidos, por cobertura y por posición de las parcelas en las diferentes coberturas, no se encontró una relación consistente entre las dos variables: no siempre los suelos de más bajo contenido de humedad fueron los que presentaron una mayor repelencia al agua. Por ejemplo, se encontró que los promedios de humedad, por parcela, bajo cobertura de roble y con muestras sin secar fueron 163,32%, 157,37% y 117,16% para las parcelas inferior, media y superior, respectivamente; si se observa la Figura 2 puede apreciarse que en sentido inverso a la distribución de la humedad, va aumentando la cantidad de muestras con alguna clase de repelencia al agua. Contrario a lo anterior, también se encontró que los promedios de humedad por parcela, bajo ciprés y con muestras secadas al aire, fueron 26,5%, 22,77% y

16,13% para las parcelas inferior, media y superior, respectivamente; si se vuelve a la Figura 2, la parcela superior es la que presenta el menor porcentaje de muestras con WDPT de clases 3 y 4 y, prácticamente todas las muestras de la parcela media pertenecen a estas clases, a pesar de no ser las más secas. Un comportamiento similar al que se acaba de describir fue observado por Jaramillo (2004) en Andisoles bajo cobertura de *Pinus patula* de Piedras Blancas y por Doerr y Thomas (2000) en suelos de texturas gruesas de Portugal.

CONCLUSIONES

En todas las coberturas vegetales estudiadas se encontró repelencia real y potencial al agua y cuando las muestras de suelo se secan al aire, hay predominio de valores de WDPT mayores a 600 segundos.

La persistencia de la repelencia al agua en los suelos estudiados aumenta cuando las muestras son sometidas a secado al aire, incluso en aquellos suelos que no presentaron repelencia real al agua.

Se observó que la persistencia de la hidrofobicidad en las tres coberturas fue significativamente diferente entre ellas, siendo el suelo bajo ciprés el que presenta mayores valores de WDPT y bajo roble el de menores valores. Este trabajo es el primero que muestra, con un amplio respaldo muestral, que en Andisoles bajo cobertura de ciprés se presenta repelencia al agua.

Hay diferencias significativas en la distribución de las muestras por clase de WDPT, según la posición que tengan en el paisaje, sin que se presente un comportamiento igual en las tres coberturas. Este comportamiento debe ser estudiado con más detalle en futuras investigaciones.

Las diferencias observadas en la repelencia al agua entre las coberturas vegetales y entre la posición de las parcelas en el paisaje no se produjeron obedeciendo a un patrón definido de contenido de humedad en las muestras: las menos húmedas no necesariamente fueron las más repelentes al agua y viceversa.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada por el laboratorista José Vicente Betancur Ospina, encargado del Laboratorio de Ecología y Conservación Ambiental (LECA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

BIBLIOGRAFÍA

DeBANO, L. F. Water repellency in soils: a historical overview. *En: Journal of Hydrology*. Vol. 31, No. 232 (2000); p. 4-32.

DEBANO, L. F. Water repellent soils: a state of the art. Berkeley, California: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1981. 21 p. (General Technical Report. PSW-46.)

DEKKER, L. W. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Holanda, 1998. 240 p. (Doctoral Thesis). Wageningen Agricultural University.

_____ and JUNGRIUS, P. D. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *En: Catena*. Supplement 18 (1990); p. 173-183.

_____ and RITSEMA, C. J. How water moves in a water repellent sandy soil. Part I. Potential and actual water repellency. *En: Water Resources Research*. Vol. 30, No.9 (1994); p. 2507-2517.

_____ and _____. Wetting patterns and moisture variability in water repellent dutch soils. *En: Journal of Hydrology*. No. 231/232 (2000); p. 148-164.

DEKKER, L. W. *et al.* Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *En: Soil Science Society of America Journal*. Vol. 65 (2001); p. 1667-1674.

DOERR, S. H. and THOMAS, A. D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *En: Journal of Hydrology*. Nos. 231/232 (2000); p. 134-147.

_____; SHAKESBY; R. A. and WALSH, R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *En: Earth Science Reviews*. Vol. 51 (2000); p. 33-65.

_____ *et al.* Heating effects on water repellency in Australian eucalypt forest soils and their value in estimating wildfire soil temperatures. *En: International Journal of Wildland Fire*. Vol. 13, No. 2 (2004); p. 157-163.

_____ *et al.* Postfire soil water repellency: An indicator of soil temperature reached during burning. *En: European Geophysical Society Geophysical Research Abstracts*. v. 5, 01590. Disponible en Internet <<http://www.cosis.net/abstracts/EAE03/01592/EAE03-J-01592-1.pdf?PHPSESSID=0b95ff1f4063c7411392de0494a9f3e1>>

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Cuenca Quebrada Piedras Blancas: estudio geomorfológico. Medellín: EPM, 1988. 43 p.

HOLDRIDGE, R. L. Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1987. 216 p.

HUBBERT, K. R. and ORIOL, V. Seasonal changes in soil water repellency following wildfire in chaparral steepplands, Southern California. *En: INTERNATIONAL WILDLAND FIRE ECOLOGY AND FIRE MANAGEMENT CONGRESS* (2: 2003). p.2-15. Disponible en Internet <http://ams.confex.com/ams/FIRE2003/techprogram/paper_67224.htm>

INSTITUTO MI RÍO. Cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Corregimiento Santa Elena. *En: Levantamiento Integrado de cuencas hidrográficas del Municipio de Medellín*. Medellín: El Instituto, 1995. p. 295-314.

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

JARAMILLO, D. F. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus patula* y la hidrofobicidad en algunos Andisoles de Antioquia. Palmira, 1992. 95 p. Tesis (Magíster en Suelos y Aguas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

_____. Repelencia al agua en suelos: con énfasis en andisoles de Antioquia.. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Geociencias., 2004. 197 p.

_____ *et al.* Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. *En: Journal of Hydrology*. Nos. 231/232 (2000); p. 105-111.

ROY, J. L. *et al.* Hydrophobic soils: Site characterization and tests of hypotheses concerning their formation. Final report on PTAC RFP #9 (1999/2000). Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC) – Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) – Environmental Research Advisory Council (ERAC). Alberta, Canadá, 2000. 87 p.

URIBE, D. La evaluación multicriterio y su aporte en la construcción de una función de valor económico total para los bosques en Piedras Blancas. Medellín, 2001. 83 p. Tesis (Maestría en Bosques y Conservación Ambiental). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

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

WALLIS, M. G. and HORNE, D. J.. Soil water repellency. *En: Advances in Soil Science*. Vol. 20 (1992); p. 91-146.