

EXTRACCION DE SUSTANCIAS HIDROFOBICAS DE ANDISOLS REPELENTES AL AGUA DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO, CON SOLVENTES POLARES

Daniel F. Jaramillo J.¹, Carlos Ortiz G.², Carlos A. Peláez J.²,
Raúl Darío Zapata H.¹, Carmenza Uribe B.²

RESUMEN

Muestras de Andisols repelentes al agua fueron sometidas a extracciones con mezclas de solventes orgánicos de diferentes polaridades; los lavados con mezclas de polaridades 5 y 6 removieron completamente la hidrofobicidad del suelo, sin importar el orden en el cual se hicieron.

Del comportamiento del suelo frente a las secuencias de extracción se pudo concluir que los compuestos orgánicos del suelo se acumulan en él en forma de capas, las cuales pueden presentar alternancia de compuestos hidrofóbicos con compuestos hidrofílicos; además, los compuestos más hidrofóbicos son removidos por las mezclas de solventes de mayor grado de polaridad.

Se plantea la existencia de dos tipos básicos de hidrofobicidad en los compuestos orgánicos del suelo: una "hidrofobicidad posible": la que se manifiesta cuando la arena desarrolla repelencia al agua al recibir los extractos y que detecta la presencia de compuestos hidrofóbicos en ellos.

¹ Profesores Asociados. Instituto de Ciencias Naturales y Ecología - ICNE - Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. A.A. 3840. Medellín

² Profesores Asociado. Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares - GIFM - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia. A.A. 1226 Medellín.

La otra, la "hidrofobicidad activa": la que se produce en suelos humectables cuando reciben extractos hidrofóbicos y muestra, no sólo la presencia de los compuestos hidrofóbicos en ellos, sino también que se están presentando las condiciones para que ellos interactúen con los componentes originales del suelo y se desarrolle la hidrofobicidad en el mismo.

Extractos obtenidos por lavado de raíces finas y acículas recién caídas de Pinus patula, con mezclas de polaridades 5 y 6, no indujeron repelencia apreciable al agua, ni en suelos humectables ni en arena lavada, cuando se aplicaron en concentraciones menores de 0.4%, lo que sugiere que estos materiales deben tener algún grado de transformación para que le impriman al suelo la hidrofobicidad; además, las raíces tienen una mayor hidrofobicidad potencial que las acículas.

Palabras clave: Andisols, suelos hidrofóbicos, solventes polares, Pinus patula.

ABSTRACT

EXTRACTION WITH POLAR SOLVENTS OF HYDROPHOBIC SUBSTANCES IN WATER REPELLENT ANDISOLS

Samples of water repellent Andisols were subjected to extractions with mixes of solvents of different polarities. Those that were washed with mixes of polarities 5 and 6 removed all the hydrophobicity from the soil, without mattering the order they were done.

Taking into account the soil department with the sequences of extractions, it was possible to conclude that the soil organic compounds are accumulated in layers that alternate hydrophobic compounds with wettable ones; furthermore, the most hydrophobic compounds are removed with the solvent mixes that had mored polarity.

It is possible to state the existence of two basic kinds of hydrophobicity in the organic compounds: One "possible hydrophobicity": that is shown when the sand develops water repellency at receiving the extracts and detects the presence of hydrophobic compounds in them.

The other, "active hydrophobicity": it is produced when the wettable soils receive hydrophobic extracts and shows, not only the presence of hydrophobic compounds, but also the condition for their interaction with the soil original compounds and shows the development of hydrophobicity in it.

The extracts obtained by washing fresh and thin roots and just fall needles of Pinus patula with mixes of polarities 5 and 6, did not induced a valuable water repellence, neither in wettable soils or in washed sand, when less than 0.4% concentrations were applied; it suggests that these materials must have some grade of transformation that gives hydrophobicity to the soil, and the roots have more potential hydrophobicity than the needles.

Key words: Andisols, water repellent soils, polar solvents, Pinus patula.

INTRODUCCION

Jaramillo (1992) diagnosticó la presencia de Andisols repelentes al agua en la cuenca hidrográfica alta de la quebrada Piedras Blancas, bajo cobertura de *Pinus patula*; la mayoría de ellos mostraron grados muy severos de repelencia al agua, pues presentaron valores de WDPT mayores de 10800 s; además, propuso como posibles fuentes de las sustancias hidrofóbicas que se estaban acumulando en aquellos suelos, los productos de la descomposición de raíces y acículas, así como del micelio fungal presentes en ellos.

Se ha encontrado que la repelencia del suelo al agua se debe a la presencia de recubrimientos orgánicos hidrofóbicos sobre las partículas o los agregados del mismo.

Robert y Carbon (1972), lavaron suelos arenosos australianos con una

mezcla de etanol-benceno en soxhlet durante 24 horas, al cabo de las cuales encontraron una remoción de menos del 18% de la materia orgánica de los suelos y muy poca reducción en el grado de repelencia de las muestras; en un segundo lavado con eter, obtuvieron un extracto mucho más hidrofóbico que el primero.

Nikonova y Tsipionkov (1989), encontraron que la hidrofobicidad de los suelos dependía de la acumulación de complejos lipoenzimáticos en su fracción orgánica.

Giovannini, Lucchesi y Cervelli (1983) encontraron que el lavado de suelos repelentes al agua con benceno solo y con una mezcla de acetilacetona-benceno, removía iguales cantidades de materia orgánica de las muestras y que el WDPT, después de la extracción, se redujo de 510 s iniciales a 139 s y 141 s, utilizando benceno y la

mezcla, respectivamente.

Senesi, Testini y Polemio (1983), utilizaron diez (10) solventes para extraer materia orgánica de tres (3) suelos humectables en soxhlet encontrando que, a medida que se incrementaba la polaridad de los solventes, se reducía el contenido de C y de H y se incrementaban los contenidos de O y de N, así como la polaridad de los compuestos extraídos; además, en ese mismo sentido, disminuía el carácter alifático de dichos compuestos.

Ma'Shum y Farmer (1985), lavaron un suelo arenoso con una mezcla de etanol-benceno, con lo cual el grado de repelencia del mismo, evaluado por el método MED, se redujo de 3.5 M a 1.9 M.

Ma'Shum *et al* (1988), utilizando varios solventes, solos y en mezclas, para lavar suelos hidrofóbicos, encontraron que los solventes no polares tenían poca eficiencia, tanto para remover compuestos hidrofóbicos, como para reducir el grado de repelencia de los suelos que trataron; la mejor extracción la obtuvieron con una mezcla de isopropanol-amoniaco (7:3, v:v), con la cual se eliminó la hidrofobicidad de aquellos después de 8 horas de reflujo en un soxhlet; los compuestos extraídos contenían

cadena larga de ácidos grasos de entre 16 y 32 carbonos, combinadas o no, así como de ésteres.

Jaramillo (1996) sometió varias muestras de Andisols repelentes al agua a extracción en soxhlet con mezclas de etanol-benceno (1:2, v:v) y de isopropanol-amoniaco (7:3, v:v), siguiendo las recomendaciones de Ma'Shum *et al* (1988); observó que la repelencia desaparecía en casi todos los suelos, después de lavarlos con la mezcla de isopropanol-amoniaco; la reducción en el grado de hidrofobicidad producida por el lavado con la mezcla de etanol-benceno, no fue significativa en la gran mayoría de las muestras.

El presente trabajo tuvo como objetivos específicos, determinar el efecto que se presentaba sobre el grado de hidrofobicidad de un Andisol repelente al agua, por su lavado secuencial con mezclas de solventes con diferentes grados de polaridad; determinar las características de hidrofobicidad de los extractos obtenidos y detectar el extracto que mayor control presente sobre este fenómeno en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Localización y descripción del área de trabajo. La recolección de las muestras se llevó a cabo en el

lote La Concha, el cual se encuentra bajo plantación de *Pinus patula* de 17 años de edad; esta plantación ocupa una área aproximada de 4.3

ha y está ubicada en la cuenca hidrográfica alta de la quebrada Piedras Blancas, en el oriente antioqueño cercano (ver Figura 1).

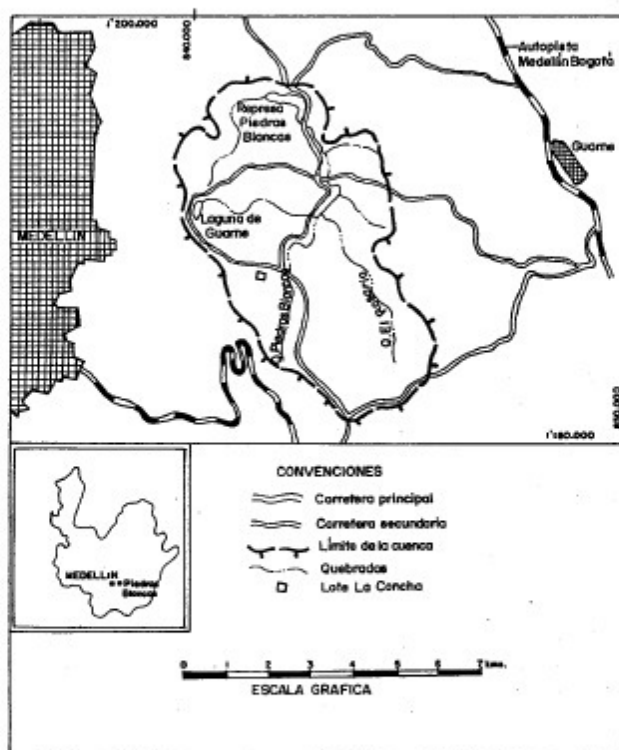


FIGURA 1. Localización del sitio de estudio.

La cuenca presenta, según las Empresas Públicas de Medellín (1988), altitudes comprendidas entre 2340 y 2680 msnm; tiene una precipitación promedio anual de 1815 mm y una temperatura media anual de 14.7°C; se encuentra en una zona de vida comprendida entre bosque húmedo montano bajo (bh-MB) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB); el área aproximada de la cuenca es de 2 911 ha.

El paisaje fisiográfico dominante en la cuenca, según Jaramillo (1989), corresponde a colinas bajas, redondeadas, ligeramente onduladas, formadas en saprolito de anfibolita con recubrimiento de cenizas volcánicas y los suelos dominantes son desaturados, fuertemente ácidos y de baja fertilidad; Jaramillo (1992) los clasificó en el orden Andisols, suborden Udands.

Los suelos correspondientes a la muestra trabajada fueron clasificados como Alic Fulvudands medial mezclado isomésico y presentaron un pH extremadamente ácido: 4.8; alto contenido de carbono orgánico: 14.22 %; alto contenido de aluminio intercambiable: 2.7 cmol (+)/Kg de suelo; los contenidos de calcio, magnesio y potasio son bajos, con valores de 0.1, 0.1 y 0.13 cmol (+)/Kg de suelo, respectivamente;

el contenido de fósforo también fue bajo, con un valor de 8 ppm; el grado de repelencia al agua que mostró este material fue de más de 1800-s, comprobándose que se trata de un suelo severamente repelente al agua y de muy baja fertilidad.

Metodología. Se recolectaron muestras de suelo hidrofóbico en el lote seleccionado para el trabajo, las cuales se mezclaron en una sola gran muestra; se colectaron, además, muestras de suelo no hidrofóbico, correspondientes a la parte del horizonte A ubicada por debajo de la parte hidrofóbica superficial, así como de acículas frescas acumuladas sobre la superficie del suelo y de raíces finas de los árboles de *Pinus patula*.

El material edáfico recolectado fue secado al aire y su fracción comprendida entre 1 y 0.5 mm de diámetro fue separada por tamizado en seco, en tanto que el material vegetal fue molido, secado al aire y fraccionado de igual forma que el suelo; a las fracciones de material separadas se les determinó su grado de hidrofobicidad, por el método WDPT, con 5 repeticiones.

Las muestras de suelo hidrofóbico fraccionadas y secas al aire se homogeneizaron y cuartearon y una de las partes fue sometida a

extracciones sucesivas con mezclas de diferentes polaridades, preparadas a partir de solventes orgánicos, empezando con mezclas no polares y aumentando paulatinamente la polaridad de estas.

Otra parte de la muestra se sometió a extracción inversa, empezando los lavados con la mezcla de polaridad 6 y continuándolos con mezclas de polaridades decrecientes, hasta llegar a la mezcla de polaridad cero.

Las mezclas de solventes se prepararon con polaridades comprendidas entre 1 y 6, a partir de los solventes orgánicos etanol, metanol, tetracloruro de carbono, eter de petróleo, acetato de etilo y diclorometano; la polaridad de la mezcla se calculó con la relación:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i X_i$$

Donde:

P = Polaridad de la mezcla binaria ($n = 2$).

P_i = Polaridad del componente i .

X_i = Fracción volumétrica del componente i en la mezcla.

Las extracciones se realizaron

dejando una muestra de 300 g de suelo sumergida en la mezcla de los solventes correspondientes, con agitación permanente; periódicamente se hacía una filtración para ir retirando el extracto removido de la muestra; las extracciones con el mismo solvente se llevaron a cabo hasta que este pasó completamente limpio a través de la muestra.

Cada que se terminaba una extracción, la muestra de suelo lavada se dejaba secar al aire y se le determinaba el WDPT, con el fin de reconocer los cambios que se presentaran en sus características hidrofóbicas después de la extracción; así se detectó el extracto que contenía los compuestos que mayor efecto estaban teniendo sobre la hidrofobicidad de la muestra.

Cuando se identificó la mezcla de solventes que presentó la polaridad capaz de remover los compuestos que mayor control tenían sobre la hidrofobicidad de la muestra, se realizó una extracción exhaustiva en aproximadamente 1 kg de material con aquella mezcla, para tener una cantidad suficiente de extracto y poder hacer una separación de compuestos en el mismo, utilizando técnicas cromatográficas; para ello se concentró en rotoevaporador, hasta obtener un extracto libre de

solvente, el cual se llevó a una columna cromatográfica y, a medida que se iban diferenciando fracciones en ella, se iba recuperando cada fracción por separado.

A cada una de las fracciones recuperadas de la columna se le hizo una prueba de hidrofobicidad, la cual consistió en aplicar un poco de extracto a una muestra de suelo no hidrofóbico, Andisol y en algunos casos también a un Vertisol, así como a una muestra de la fracción < 0.25 mm de diámetro, de arena cuarcítica lavada con agua oxigenada y con una solución de HCl al 10%; se dejó secar el extracto sobre aquellos materiales y luego se les determinó el grado de hidrofobicidad que desarrollaban por medio del WDPT; con este procedimiento se identificaron las fracciones que contenían sustancias

hidrofóbicas y las fracciones que eran capaces de desarrollar hidrofobicidad en el suelo. Con la mezcla de solventes de polaridad crítica se llevaron a cabo extracciones en los otros materiales recolectados, sometiendo los extractos a las pruebas de hidrofobicidad descritas anteriormente, con suelo normal y con arena lavada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características de hidrofobicidad de los materiales utilizados. En la Tabla 1 se presentan los valores de WDPT que caracterizaron los materiales recolectados, promedios de 5 repeticiones.

Se aprecia en la tabla 1 como el suelo hidrofóbico y las acículas son extremadamente repelentes al agua,

TABLA 1. Hidrofobicidad inicial de los materiales trabajados (promedio de 5 determinaciones).

MATERIAL	WDPT (S)
Andisol hidrofóbico	> 1800
Andisol humectable	8.03 ± 1.28*
Acículas frescas	> 1800
Raíz	72.96 ± 10.65

* Promedio ± desviación estandar.

en tanto que el material radicular presenta un grado de repelencia moderado y el suelo definido como humectable, realmente es muy poco repelente al agua, según la clasificación propuesta por King (1981).

Efecto de las extracciones sobre la hidrofobicidad del Andisol repelente al agua. Al someter el Andisol hidrofóbico a extracciones sucesivas con mezclas de polaridad creciente, al llegar a la polaridad 6 desaparece la repelencia al agua, como puede verse en la Tabla 2.

La repelencia al agua del suelo tiene una disminución importante en su intensidad a partir de la extracción con la mezcla de polaridad 5, llegando a comportarse como un suelo completamente humectable después de la extracción con la mezcla de polaridad 6.

Como las mezclas que removieron prácticamente toda la hidrofobicidad de la muestra fueron las de polaridad 5 y 6, se realizaron extracciones utilizando solamente estas dos mezclas, removiéndose la totalidad de la repelencia al agua de

TABLA 2. Grado de repelencia al agua de un Andisol hidrofóbico, después de lavarlo sucesivamente con mezclas de solventes orgánicos de polaridad creciente (promedio de 5 determinaciones).

	Polaridad de la mezcla con la cual se lavó el suelo						
	0	1	2	3	4	5	6
WDPT (s)	> 1800	> 1800	> 1800	> 1800	> 1800	60	0

la muestra de suelo, sin importar el orden en que se realizó la extracción, aunque son indispensables las extracciones con las dos mezclas para eliminar completamente la hidrofobicidad de la muestra.

Cuando el orden en que se

realizaron las extracciones se invirtió, es decir, se empezó con la mezcla de polaridad 6 y se continuó con mezclas de polaridad decreciente, no se repitieron los resultados presentados en la Tabla 2 y al terminar las extracciones la muestra quedó severamente hidrofóbica, como se aprecia en la Tabla 3.

TABLA 3. Grado de repelencia al agua de un Andisol hidrofóbico, después de lavarlo sucesivamente con mezclas de solventes orgánicos de polaridad decreciente (promedio de 5 determinaciones).

	Polaridad de la mezcla con la cual se lavó el suelo						
	6	5	4	3	2	1	0
WDPT (s)	> 1800	0	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800

Los resultados de las Tablas 2 y 3 muestran que la mezcla de polaridad 5 es la de mayor eficiencia para remover los compuestos hidrofóbicos del suelo y confirman las observaciones realizadas por Ma'Shum *et al* (1988), en el sentido de que los solventes no polares o los de baja polaridad son muy poco eficientes en la remoción de la hidrofo- bicidad del suelo.

En la Tabla 3 llama la atención el hecho de que la muestra, después de haber perdido completamente su hidrofobicidad al extraerla con la mezcla de polaridad 5, se vuelva a tornar extremadamente repelente al agua después de lavarla con la mezcla de polaridad 4 y que continúe así con las demás extracciones; además, a partir de esta polaridad no hay remoción de materiales orgánicos de la muestra de suelo al lavarla.

El comportamiento anterior está reflejando que en estos suelos se puede estar presentando una distribución estratificada (en capas) de la materia orgánica, con una composición muy variable entre las diferentes capas y/o con un grado de evolución también diferente, así como la presencia de varios grupos de compuestos hidrofóbicos, de acuerdo con su polaridad.

Aparentemente los materiales orgánicos del suelo se van acumulando en capas con diferente grado de polaridad, sea original ó adquirido durante el proceso de humificación, el cual es menor en las capas más externas, las más recientes, y va incrementando hacia las capas más internas, las más antiguas y alteradas más intensamente.

Cuando el lavado del suelo se realiza con las mezclas en orden ascendente de polaridad, se extraen

los compuestos orgánicos en el orden de polaridad en el cual se encuentran acumulados en el suelo, razón por la cual este va perdiendo hidrofobicidad paulatinamente hasta transformarse en un suelo humectable cuando se lava con las polaridades más altas.

Cuando la extracción se lleva a cabo en orden de polaridad decreciente, llega un momento en el cual la polaridad de los compuestos acumulados en el suelo es tan diferente a la de la mezcla que se está usando para lavarlo, que esta es incapaz de removerlos, permaneciendo el suelo repelente al agua.

La presencia de capas de compuestos hidrofóbicos, alternando incluso con capas de compuestos hidrofílicos en el suelo, ha sido sugerida por algunos investigadores como Kononova (1982), Nikonova y Tsiplionkov (1989) y De Kimpe y Schnitzer (1990).

Los resultados obtenidos podrían explicar, por lo menos en parte, aquella repelencia al agua residual que permanece en los suelos sometidos a extracciones con mezclas de solventes, como las reportadas por Robert y Carbon (1972), Ma'Shum y Farmer (1985), Ma'Shum *et al* (1988) y Jaramillo

(1996).

La diferencia apreciable de composición entre las capas hidrofóbicas que presentó el material tratado en este trabajo, se confirmó al someter una muestra de suelo hidrofóbico a extracción con mezclas de solventes con polaridad decreciente, hasta llegar a la polaridad 4, extracción en la cual el suelo se tornó severamente hidrofóbico (ver Tabla 3); en este punto, en lugar de continuar las extracciones con las polaridades 3, 2, 1 y 0, se repitieron las extracciones con las polaridades 5 y 6, observándose que prácticamente no hubo remoción de materia orgánica de la muestra, por ninguna de estas dos mezclas de solventes y, además, que la muestra continuó siendo severamente repelente al agua.

Los resultados expuestos en los párrafos anteriores permiten suponer que en los suelos repelentes al agua se presentan varios grupos de compuestos hidrofóbicos distribuidos en forma de capas que pueden estar alternando con capas de compuestos no hidrofóbicos; así mismo, que aquellos compuestos hidrofóbicos presentan variadas características químicas, puesto que hay una alta especificidad entre ellos y los solventes capaces de removerlos del suelo.

Para comprobar lo planteado anteriormente y teniendo en cuenta que las mezclas de polaridades 5 y 6 fueron las que mejor removieron la hidrofobicidad de los Andisols tratados, se obtuvieron extractos de Andisols repelentes al agua, con las mezclas de polaridades 5 y 6, partiendo de diferentes condiciones iniciales en las muestras.

Los extractos obtenidos se aplicaron a muestras humectables de Andisols y de Vertisols (este último con 1.4% de C orgánico y pH=6.2), así como de arena cuarcítica lavada, en concentraciones del 0.1% de extracto seco, con respecto a la masa de muestra seca al aire; las muestras tratadas se secaron a 45°C, durante 24 horas y luego se les determinó el WDPT que habían adquirido.

Las condiciones bajo las cuales se obtuvieron los extractos mencionados anteriormente, así como los números que los identifican en la Tabla 4, fueron:

1. extracto obtenido de la muestra lavada con la mezcla de polaridad 5, luego de haberla lavado secuencialmente con las mezclas de polaridades entre 0 y 4,
2. extracto obtenido de la muestra

lavada con la mezcla de polaridad 6, luego de haberla lavado secuencialmente con las mezclas de polaridades entre 0 y 5,

3. extracto obtenido de la muestra lavada con la mezcla de polaridad 5, sin haberle hecho ninguna extracción previa,
4. extracto obtenido de la muestra lavada con la mezcla de polaridad 6, sin haberle hecho ninguna extracción previa,
5. extracto obtenido de la muestra lavada con la mezcla de polaridad 5, después de haberla lavado únicamente con la mezcla de polaridad 6,
6. extracto obtenido de la muestra lavada con la mezcla de polaridad 6, después de haberla lavado únicamente con la mezcla de polaridad 5.

Además de los tratamientos anteriores, también se hicieron algunas combinaciones de extractos para evaluarles el grado de hidrofobicidad que inducían y detectar si habían interacciones entre los compuestos removidos por las mezclas originales; las combinaciones realizadas y los números con los cuales se identifican

- estos tratamientos en la Tabla 4 fueron:
- mezcla de los extractos obtenidos de 1 y 2,
 - mezcla de los extractos obtenidos de 3 y 4,
 - mezcla de los extractos obtenidos de 5 y 6,
 - mezcla de los extractos obtenidos de 3 y 6,
 - mezcla de los extractos obtenidos de 4 y 5.

TABLA 4. WDPT * (s) inducido en algunos suelos humectables y en arena cuarcítica lavada por extractos provenientes de un Andisol repelente al agua, obtenidos con mezclas de solventes orgánicos de polaridades 5 y 6 bajo diferentes condiciones iniciales de trabajo (promedio de 5 determinaciones).

Tratamiento inicial**	Material de prueba		
	Andisol	Arena	Vertisol
00	0a‡	0ai	0a
0	1.81 ± 0.36bgi	0ai	0ai
1	1.2 ± 0.42bk	1.51 ± 0.23ik	0abi
2	0.93 ± 0.14bh	0.66 ± 0.05i	0abi
3	8.28 ± 0.61c	22.76 ± 2.14m	0a
4	4.7 ± 0.35d	19.98 ± 1.89n	0a
5	6.11 ± 1.29ep	4.93 ± 0.44p	0a
6	10.33 ± 1.6f	4.7 ± 0.17p	0a
7	2.39 ± 0.47g	1.09 ± 0.11i	0ai
8	0.65 ± 0.04h	172.95 ± 11.8r	0ah
9	0.79 ± 0.12h	2.47 ± 0.22i	0ahi
10	8.29 ± 1.34c	29.43 ± 1.89s	0a
11	6.03 ± 1.15e	34.34 ± 1.92w	0a

* Promedio ± desviación estandar.

** El número corresponde al de los tratamientos descritos en la página anterior; en el tratamiento 00, no se aplicaron ni extractos ni solventes; en el tratamiento 0, solamente se aplicó la mezcla de solventes con polaridad 5, pero ningún extracto.

‡ Resultados que tengan una letra igual, no presentan diferencia significativa al 95%.

Al aplicar los extractos como se indicó anteriormente, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 4, en la cual puede observarse que hay diferencias apreciables, algunas significativas estadísticamente al 95 %, en el grado de repelencia al agua que adquieren las muestras tratadas, tanto entre los extractos aplicados como entre los materiales utilizados para probarlos.

Las diferencias que presentan los valores de WDPT en los materiales utilizados para probar la hidrofobicidad de los extractos, evidencian que hay interacciones importantes entre los compuestos hidrofóbicos aplicados y los componentes originales de aquellos.

Los mayores valores de WDPT se obtuvieron con la arena y en la mayoría de los casos el grado de la hidrofobicidad desarrollada en ella fue mayor que en los suelos correspondientes, confirmándose que cuando ciertos compuestos hidrofóbicos interactúan con el suelo, su repelencia al agua se puede ver bastante menguada.

Los resultados de la Tabla 4 confirman también que las mezclas de polaridad 5 y 6 solas (tratamientos 3 y 4 en arena), son las que extraen los compuestos de mayor grado de hidrofobicidad;

igualmente, cuando se combinan los extractos obtenidos con estas mezclas (tratamiento 8), se induce la mayor repelencia al agua al aplicarlos a la arena.

Se aprecia, además, que cuando se mezclan extractos, esta combinación produce una mayor repelencia al agua que la que pueden inducir los extractos aplicados individualmente, en la mayoría de los casos, aunque este comportamiento fue más consistente cuando los extractos se aplicaron a la arena.

Se demuestra también que la manifestación de la hidrofobicidad en el suelo no obedece sólo al factor concentración de los compuestos hidrofóbicos, sino que también hay un factor de calidad o tipo de compuestos que juega un papel fundamental en la expresión del fenómeno en el suelo.

Para comprobar el efecto que tenía la concentración de los extractos sobre el grado de hidrofobicidad se prepararon soluciones con diferentes concentraciones, del extracto obtenido con la mezcla de polaridad 3 del suelo repelente al agua, el cual, según se observa en las Tablas 2 y 3, no remueve la hidrofobicidad del mismo; estas soluciones se aplicaron en arenas cuarcíticas lavadas, las cuales fueron secadas a

45°C, durante 24 horas, dejándolas a temperatura ambiente durante tres días y luego se les determinó su grado de repelencia al agua, por medio del WDPT.

En vista de que el WDPT no permitió detectar adecuadamente la repelencia al agua desarrollada por la arena, se evaluó esta característica midiendo el tiempo empleado por una gota de una solución de etanol al 15% para penetrar completamente en la arena, utilizado satisfactoria-

mente por Jaramillo (1994) para cuantificar el grado de repelencia al agua de suelos severamente hidrofóbicos.

Los resultados de la Tabla 5 confirman que hay incremento en el grado de repelencia al agua al incrementar la cantidad de material orgánico adicionado a la arena, hecho que concuerda con las observaciones de Giovannini, Lucchesi y Cervelli (1983), aunque en el presente trabajo el efecto fue

TABLA 5. Efecto de la concentración de extractos orgánicos extraídos de Andisoles repelentes al agua, con una mezcla de solventes con polaridad 3, sobre el grado de hidrofobicidad desarrollado por arenas cuarcíticas lavadas a las cuales se le adicionaron (promedio de 5 determinaciones).

Concentración del extracto (%)*	Grado de hidrofobicidad (segundos) con	
	Agua	Etanol al 15%
0 (solo solvente)	0	0a‡
0.05	13.5 ± 1.24†	0.84 ± 0.032a
0.1	865.58 ± 121.53	4.30 ± 0.320b
0.2	>1800	6.56 ± 0.410c
0.3	>1800	14.83 ± 1.180d
0.4	>1800	42.28 ± 3.560e

* Porcentaje de la masa de extracto seco, con respecto a la masa de arena seca al aire.

† Promedio ± desviación estandar.

‡ Valores con letras iguales no presentan diferencia significativa al 95%.

mucho más dramático ya que aquí las muestras se tornaron severamente repelentes al agua con concentraciones más bajas que las encontradas por ellos para producir el mismo efecto; se observa, además, que se requieren pequeñas cantidades de compuestos hidrofóbicos para producir una repelencia severa al agua en materiales inertes.

Se observa también en la Tabla 5, que la muestra a la cual no se le adicionó extracto sino únicamente la mezcla de solventes, se presentó completamente

humectable, eliminándose la posibilidad de que hubiera un efecto de la granulometría y/o los solventes sobre las determinaciones del grado de repelencia al agua que presentaron las muestras trabajadas. La tendencia de los resultados mostrados por la arena en la Tabla 5 se ajustó significativamente a un modelo exponencial, como se aprecia en la Figura 2, confirmándose con esto el efecto tan drástico que pueden tener, sobre la intensidad de la repelencia al agua, pequeños incrementos en el contenido de materiales orgánicos hidrofóbicos del suelo.

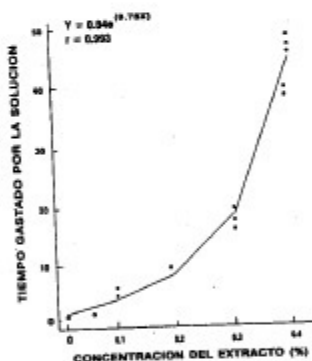


FIGURA 2. Relación entre la concentración de los extractos adicionados a arena cuarcítica lavada y el grado de hidrofobicidad desarrollado por ella.

Características de hidrofobicidad de los extractos obtenidos de Andisoles repelentes al agua.

Como se indicó en la metodología, después de terminar las extracciones se seleccionó aquel o aquellos

extractos que mayor incidencia tuvieron en la hidrofobicidad del suelo; luego de seleccionar el extracto crítico, el cual estuvo compuesto por los extractos originados de los lavados con las mezclas de polaridad 5 y 6, este fue separado en sus fracciones componentes, las cuales se presentan en la Tabla 6, con la evaluación de sus propiedades hidrofóbicas.

TABLA 6. Grado de hidrofobicidad inducido en un Andisol humectable y en arena cuarcítica lavada, por la aplicación de diferentes fracciones de extractos hidrofóbicos provenientes de Andisoles repelentes al agua bajo cobertura de *Pinus patula* (promedio de 5 determinaciones).

Fracción*	WDPT (s) inducido en	
	Andisol	Arena lavada
F1	> 1800	> 1800
F2	12.5 ± 3.42†	0.70 ± 0.03
F3	5.2 ± 2.28	7.65 ± 1.09
F4	55.8 ± 21.6	225.34 ± 19.0
F5	6.3 ± 0.58	> 1800
F7	77.8 ± 13.0	743.85 ± 33.44
F8	32.6 ± 6.5	584.52 ± 25.74
F9	22.7 ± 6.24	145.69 ± 10.54
F10	31.3 ± 7.09	1.05 ± 0.09
F11	2.0 ± 0	0

* La numeración corresponde al orden en que se fueron recuperando las fracciones de la columna cromatográfica; no se presenta la fracción F6 debido a que esta no mostró diferencia con la F5, al hacerles cromatografía de capa fina, razón por la cual se mezclaron las dos en la fracción F5.

† Promedio ± desviación estandar.

En los resultados expuestos en la Tabla 6 se volvió a presentar una notoria diferencia entre la respuesta que ofrecen los dos materiales utilizados para pruebas de hidrofobicidad llevadas a cabo; así mismo, se observa que no hay una tendencia definida en aquellas

medidas, cuando se cambia el material de prueba.

Los resultados anteriores muestran que cuando se aplican al suelo extractos que contienen sustancias hidrofóbicas, se presentan algunas interacciones con los componentes nativos de ese suelo que le dan características de repelencia al agua diferentes a aquellas que se presentan cuando los mismos extractos son aplicados a materiales inertes, hecho que también se observa en los resultados expuestos en la Tabla 4.

Puede pensarse entonces que la hidrofobicidad de algunos compuestos se manifiesta por sí sola, en tanto que la de otros requiere de la presencia de algunos compuestos que interactuen con ellos para que se manifieste el fenómeno; podría decirse entonces que hay una *hidrofobicidad posible*, la que se manifiesta con la arena, y otra *hidrofobicidad activa*, que se presenta cuando están otros compuestos interactuando con los hidrofóbicos, es decir, la que se desarrolla en el suelo.

Las interacciones mencionadas anteriormente también fueron observadas por Franco, Tate y Oades (1995), quienes notaron que el grado de repelencia al agua en

arenas hidrofóbicas se incrementaba cuando se le agregaba materia orgánica finamente dividida; lo que en este trabajo no es comparable con los resultados de los autores citados, es la consistencia en los cambios inducidos en el grado de repelencia al agua de los materiales utilizados pues, en nuestro caso, con algunas fracciones, el WDPT fue mayor en el suelo que en la arena, en tanto que con otras el efecto se manifestó en forma inversa.

El comportamiento descrito anteriormente debe obedecer a diferencias en la composición de cada una de las fracciones aisladas y muestra que el problema de la hidrofobicidad en estos suelos está definido por un complejo bastante amplio de compuestos orgánicos, los cuales interactúan en forma diferencial entre sí y/o con el componente mineral del mismo.

Efecto de las extracciones sobre el WDPT del Andisol humectable.

Cuando el Andisol humectable fue sometido a las mismas extracciones que se llevaron a cabo en el suelo repelente al agua, la poca hidrofobicidad que presentaba desapareció, en todos los casos, después del primer lavado, reduciéndose su WDPT a cero. En este suelo no se obtuvo ninguna cantidad de materia orgánica,

cuando fue lavado con las mezclas de polaridad 0, 1 y 2, situación que puede estar mostrando que a esta parte del perfil del suelo se aportan cantidades relativamente bajas de materia orgánica y, por lo tanto, la que tienen ya presenta un nivel de humificación más avanzado que la de la porción más superficial del horizonte A, donde precisamente se manifiesta la repelencia al agua del suelo.

Aunque el suelo se comportó como un suelo prácticamente no repelente al agua, la leve hidrofobicidad original que presentó (ver Tabla 1) dió motivo para evaluar las características hidrofóbicas de los extractos que se lograron obtener; para hacer esta evaluación, los extractos fueron adicionados a arenas cuarcíticas lavadas con ácido, a un Andisol completamente humectable, también con la misma cobertura forestal que el sometido a los lavados y a un Vertisol que presentó 1.4 % de C orgánico y pH de 6.2, completamente humectable, con cobertura de plantas herbáceas. Los extractos fueron aplicados en concentraciones del 0.1 %, como peso de extracto seco, con respecto a la masa de muestra seca al aire utilizada; las muestras tratadas fueron secadas a 45°C durante 24 horas y luego se dejaron a temperatura ambiente por tres días,

al cabo de los cuales se les determinó el WDPT adquirido; los resultados de esta determinación se presentan en la Tabla 7, los cuales muestran algunos comportamientos bien diferentes entre los materiales utilizados para probar los extractos obtenidos del Andisol humectable.

En primer lugar, la arena está evidenciando que entre los compuestos orgánicos extraídos de aquel suelo, hay una buena parte de ellos que son hidrofóbicos; se comprueba nuevamente el hecho de que los extractos son más hidrofóbicos a medida que aumenta su polaridad.

En segundo término, el comportamiento de los suelos utilizados en esta prueba pone de manifiesto que, efectivamente, debe haber algún tipo de interacción entre los compuestos hidrofóbicos y los materiales orgánicos y/o inorgánicos originales del suelo, para que este se torne repelente al agua.

Los dos suelos utilizados fueron sometidos al mismo tratamiento y, sin embargo, el Vertisol no desarrolló ningún tipo de repelencia, en tanto que el Andisol sí lo hizo, aunque sin una tendencia definida.

Las interacciones mencionadas pueden tener el efecto de hacer

manifestar la repelencia al agua del suelo, como sería el caso en donde el WDPT del suelo sea mayor que el de la arena, ó de enmascarar este

fenómeno, como en el caso donde el WDPT del suelo sea menor que el de la arena.

TABLA 7. WDPT* (s) inducido en algunos suelos humectables y en arena cuarcítica lavada, por la adición de extractos obtenidos de Andisoles no hidrofóbicos con solventes de diferente polaridad (promedio de 5 determinaciones).

Polaridad extracto	Material de prueba		
	Andisol	Arena	Vertisol
00†	0a**	0ah	0a
3	2.13 ± 0.56c	0.94 ± 0.05gh	0ag
4	7.63 ± 0.58d	4.25 ± 0.45i	0a
5	1.21 ± 0.12e	5.3 ± 0.44i	0ac
6	6.63 ± 0.99f	45.59 ± 3.4j	0a

* Promedio ± desviación estandar.

† Muestra sin ninguna aplicación (ni solventes, ni extractos).

** Valores que presenten una letra igual, no tuvieron diferencia significativa al 95%.

En el Vertisol puede haberse presentado un efecto de dilución grande del extracto adicionado, con respecto a la cantidad y tipo de arcilla que por definición poseen estos suelos, el cual impidió que se manifestara la repelencia al agua en él.

La tendencia de los resultados obtenidos con la arena, con las

polaridades comprendidas entre 3 y 6, se ajustó significativamente a un modelo de regresión exponencial, como puede verse en la Figura 3, confirmándose un comportamiento muy similar entre el efecto que ejercen la concentración y la polaridad de los compuestos hidrofóbicos que pueden acumularse en el suelo.

Características de la hidrofobicidad de los materiales vegetales colectados. Asumiendo que las mezclas utilizadas para lavar el Andisol repelente al agua extraen compuestos similares en todos los materiales tratados, debido a la especificidad de la polaridad, las

raíces y las acículas también fueron sometidas a extracción con la combinación de las mezclas de polaridades 5 y 6 y los extractos obtenidos fueron evaluados en sus características hidrofóbicas, aplicándolos a suelos normales (Andisol y Vertisol) y a arena cuarcítica lavada,

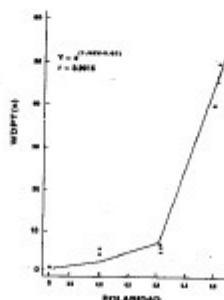


FIGURA 3. Relación entre la polaridad del extracto adicionado a arena cuarcítica lavada y el grado de hidrofobicidad que ella desarrolla.

en concentraciones de 0.1 y 0.4 %, como peso de extracto seco con respecto a la masa de la muestra seca al aire utilizada; los resultados obtenidos de este procedimiento se presentan en la Tabla 8.

Los resultados de la tabla 8 muestran que los materiales vegetales analizados, cuando no han sufrido ningún proceso de alteración, no tienen suficiente variedad y/o cantidad de compuestos

hidrofóbicos como para imprimirle al suelo repelencia al agua, es decir, se requiere cierto grado de alteración de aquellos para que los productos de esta transformación le transmitan al suelo su hidrofobicidad, como lo notaron también en sus trabajos Savage *et al* (1972), Crockford, Topalidis y Richardson (1991), Ravender y Das (1992) y Bisdorn, Dekker y Schoute (1993), entre otros investigadores. Franco, Tate y Oades (1995), sos-

tienen que el material orgánico sin tiles, responsables de buena parte de descomponer que se acumula en la hidrofobicidad que presentan suelos repelentes al agua, es un gran dichos suelos. reservorio de ceras polares no volátiles.

TABLA 8. WDPT* inducido en algunos suelos normales y en arena cuarcítica lavada, por extractos obtenidos de raíces y acículas de *Pinus patula* con mezclas de solventes orgánicos de polaridades 5 y 6, aplicados en concentraciones del 0.1 y el 0.4 % (promedio de 5 determinaciones).

Origen del extracto (Concentración %)	Material de prueba		
	Andisol	Arena	Vertisol
Testigo absoluto**	0a†	0a	0a
Solo solventes	0a	0a	0a
Raíz (0.1)	0a	0.84 ± 0.05b	0a
Raíz (0.4)	0a	3.74 ± 0.38c	0a
Acícula (0.1)	0a	0.52 ± 0.02d	0a
Acícula (0.4)	0a	0.55 ± 0.04d	0a

* Promedio ± desviación estandar.

** No se le aplicaron ni solventes ni extractos.

† Valores seguidos por una letra igual no presentaron diferencia significativa al 95%.

El comportamiento observado en la arena parece confirmar observaciones de Jaramillo (1992), en el sentido de que la raíz de estas coníferas tiene mayor influencia en el desarrollo de la repelencia al agua en los Andisoles trabajados, que las acículas.

CONCLUSION

Con este trabajo se concluye que los compuestos hidrofóbicos que se acumulan en los Andisoles

repelentes al agua del oriente antioqueño, presentan una amplia variabilidad en composición y en la forma como interactúan con los demás componentes del suelo.

Los compuestos orgánicos acumulados en estos suelos, lo hacen en forma de capas y aquellos compuestos responsables de la mayor parte de la hidrofobicidad sólo son removidos de ellos por solventes de alta polaridad.

Parece haber unos compuestos que siempre manifiestan su hidrofobicidad, al transmitirla a todos los materiales utilizados para evaluarla, en tanto que hay otros que para manifestarse como repelentes al agua requieren interactuar con otros compuestos, lo que define dos tipos de hidrofobicidad: una "posible" y una "activa", respectivamente; este comportamiento hace que el uso de la arena lavada con ácido para evaluar la repelencia al agua de extractos obtenidos de materiales potencialmente hidrofóbicos, no siempre sea adecuado para predecir el comportamiento de ellos en un suelo en particular.

Los extractos de raíces y de acículas sin descomponer no tienen suficiente calidad y/o cantidad de compuestos hidrofóbicos para inducir repelencia al agua en los

materiales edáficos utilizados en este trabajo.

AGRADECIMENTOS

Se requiere agradecer al Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico: CINDEC, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y al Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares: GIEM, de la Universidad de Antioquia, por la financiación parcial de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

BISDOM, E.B.A.; DEKKER, L.W. and SCHOUTE, J.F.TH. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *En: Geoderma*. Vol. 56 (1993); p.105-118.

CROCKFORD, H.; TOPALIDIS, S. and RICHARDSON, D.P. Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest. Measurements and processes. *En: Hydrological Processes*. Vol. 5 (1991); p.405-420.

DE KIMPE, C.R. and SCHNITZER, M. Low-temperature ashing of humic and fulvic acid. *En: Soil Science Society of America journal*. Vol. 54 (1990); p.399-403.

EMPRESAS PUBLICAS DE MEDALLIN. Proyecto parque Piedras Blancas: Informe general. Dirección de Planeación de Recursos Naturales. Medellín: EPM, 1988. 23p.

FRANCO, C.M.M.; TATE, M.E. and OADES, J.M. Studies on non-wetting sands. Part 1. The role of intrinsic particulate organic matter in the development of water-repellency in non-wetting sands. *En: Australian Journal of Soil Research*. Vol. 33 (1995); p.253-263.

GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. and CERVELLI, S. Water-repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. *En: Soil Science*. Vol. 135 (1983); p. 110-113.

JARAMILLO, D.F. Efecto de la extracción con mezclas de solventes en Andisoles repelentes al agua de Antioquia. *En: Revista ICNE*. Vol. 6 (1996); p.65-78.

_____. Reconocimiento de suelos con fines recreacionales y agropecuarios en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas. Medellín: EMP, 1989. 67p.

JARAMILLO, D.F. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus patula* y la hidrofobicidad en algunos Andisoles de Antioquia. Palmira, 1992. 91p. Tesis (Magister en Suelos y Aguas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

_____. Relación entre la repelencia al agua y el tamaño de los agregados en algunos Andisoles de Antioquia. Informe Interno. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1994. 44p.

KING, P.M. Comparisson of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *En: Australian Journal of Soil Research*. Vol. 19 (1981); p.275-285.

KENONOVA, M.M. Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona: Oikos, 1982. 365p.

MA'SHUM, M. and FARMER, V.C. Origin and assessment of water repellency of a sandy South Australian soils. *En: Australian Journal of Soil Research*. Vol. 23 (1985); p.623-626.

MA´SHUM, M. *et al.* Extraction and characterization of water-repellent materials from Australian soils. *En: Journal of Soil Science.* Vol. 39 (1988); p.99-110.

NIKONOVA, S.I. y TSIPLIONKOV, V.P. Los lípidos en lamateria orgánica de los suelos. *En: Ciencias de la Agricultura.* Vol. 37-38 (1989); p.136-147.

RAVENDER, S. and D.K. DAS. Wettability of soil under different plant covers. *En: Journal of Indian Society Soil Science.* Vol. 40 (1992); p.39-43.

ROBERTS, F. and CARBON, B.A. Water repellence in sandy soils of south-western Australia, Part 2,

Some chemical characteristics of the hydrophobic skins. *En: Australian Journal of Soil Research.* Vol. 10 (1972); p.35-42.

SAVAGE, S.M. *et al.* Substances contributing to fire-induced water repellency in soils. *En: Soil Science Society of America proceeding.* Vol. 36 (1972); p.674-678.

SENESI, N.; TESTINI, C. and POLEMIO, M. Chemical and spectroscopic characterization of soil organic matter fractios isolated by sequential extraction procedure. *En: Journal of Soil Science.* Vol. 34 (1983); p.801-813.

(Recibido: Marzo de 1997).