

DESARROLLO DE REPELENCIA AL AGUA EN SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS, EN UNA ZONA DEL PARQUE METROPOLITANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

DEVELOPMENT OF WATER REPELLENCY IN SOIL AFFECTED BY FOREST FIRES
IN A METROPOLITAN PARK AREA OF THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO

Carlos Ulloa, Karina Pazmiño, Daniel Cárdenas y Cristian Arcos

CIVABI Centro de Investigación y valoración de la Biodiversidad, Universidad Politécnica Salesiana, Av. Rumichaca y Morán Valverde S/N Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: culloa@ups.edu.ec.

Manuscrito recibido el 25 de abril de 2014. Aceptado, tras revisión, el 22 de julio de 2014.

Resumen

La exposición del suelo a temperaturas altas durante la ocurrencia de un incendio forestal, puede inducir el desarrollo de repelencia al agua y otros efectos que alteran la calidad del suelo, entre los que destacan: cambios en el contenido de carbono y de materia orgánica, pérdida de suelo, apareamiento de flujos preferenciales y erosión. En este trabajo se determinó la severidad y persistencia de la repelencia al agua alcanzada por un suelo previamente quemado dentro de una zona de 13,4 has en el Parque Metropolitano en la Ciudad de Quito. La determinación de la persistencia de la repelencia al agua del suelo se realizó utilizando la metodología de tiempo de penetración de una gota de agua (WDPT) y la severidad de la repelencia se determinó utilizando el test de molaridad de etanol (MED). Los valores más altos de persistencia a la repelencia al agua, fueron determinados a los cuatro meses de haber ocurrido el incendio y permitieron clasificar al suelo afectado por fuego como "Fuertemente Repelente". Se observó que la persistencia de la repelencia inducida por el fuego fue transitoria y disminuyó con relación al tiempo, determinándose un decremento de la repelencia en las muestras analizadas a los siete y nueve meses. No se encontró una relación definitiva entre el incremento de la repelencia al agua y el aumento de la materia orgánica, que presentó el promedio de concentración más alta a los cuatro meses de ocurrido el incendio (5,88 %).

Palabras claves: Hidrofobicidad, incendio forestal, repelencia al agua, Parque Metropolitano de Quito.

Abstract

Soil exposure to high temperatures during wildfires can induce water repellency, in some cases having the following effects: changes in soil nutrient, carbon and organic matter admission rates; soil loss; changes in the stability of aggregates; the appearance of preferential flow of water; and eventually, erosion. This work determined the severity and persistence of water repellency on a previously scorched soil in an 13.4 hectares area of the Metropolitan Park of Quito. To determine the persistence of soil water repellency the time of penetration of a drop of water (WDPT) methodology was used, and to test the repellency severity the molarity of ethanol (MED) test was used. The highest values of water repellency and organic material were identified four months after the fire, as well as a decrease of both measures as time went by, which demonstrated that the fire created a transferring of hydrophobic organic compounds into the soil, generating temporary water repellency.

Keywords: Hydrophobicity, forest fire, water repellency, Metropolitan Park of Quito.

Forma sugerida de citar: Ulloa, C., K. Pazmiño, D. Cárdenas y C. Arcos. 2014. **Desarrollo de Repelencia al Agua en Suelos Afectados por Incendios, en una Zona del Parque Metropolitano del Distrito Metropolitano de Quito.** La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 19(1): 34-43. ISSN: 1390-3799.

1. Introducción

La repelencia al agua es una propiedad natural de los suelos que reduce su afinidad por el agua (Jordán y Cerda, 2010), y que se presenta en mayor o menor grado en diferentes tipos de suelo, bajo diferentes climas y tipos de vegetación de todo el mundo (Jaramillo, 2000). De forma natural la repelencia ha sido reportada y estudiada desde la mitad del siglo XX con trabajos de Jamison (1946); Domingo (1950); Van't Woudt (1959), también ha sido referenciada en distintos países como Alemania (Bachmann, 2000), Brasil (Pérez y Salatino, 1998), Chile (Ellies *et al.*, 1995), Colombia (Jaramillo, 1992), España (Moral *et al.*, 08 de 2003).

El desarrollo de repelencia desde el punto de vista químico, se debe principalmente a la acumulación de ciertos compuestos orgánicos en la capa superficial del suelo, los cuales son liberados por exudados de raíces (Dekker y Ritsema, 1996; Doerr y Shakesby, 1998), por el metabolismo de hongos y otros microorganismos (Hallet y Young, 1999; Schaumann *et al.*, 2007) o por descomposición de restos orgánicos (McGhie y Posner, 1981).

Doerr (2000), clasifica en dos grupos a los compuestos responsables de la repelencia al agua de los suelos, el primero formado por hidrocarburos alifáticos que son apolares y por ende insolubles en agua, y un segundo grupo conformado por sustancias anfífilas que tienen un extremo hidrófilo y otro hidrófobo. Los compuestos anfífilos solamente causan hidrofobicidad en el suelo, cuando ocurren determinados tipos de interacción molecular con la superficie de la fase sólida del suelo, a través de sus grupos funcionales polares o iónicos (Roy y McGill, 2000; Morley *et al.*, 2005). Esto puede suponer, que los suelos que tienen alto contenido de materia orgánica presentarán altos niveles de repelencia al agua. A pesar de esto, se han encontrado relaciones positivas y negativas entre la repelencia al agua y el contenido de materia orgánica o carbono orgánico en el suelo, que han logrado inducir al hecho de que existe una pequeña cantidad de compuestos hidrofóbicos que no es proporcional a la cantidad total de materia orgánica presente en los suelos (Doerr, 2000).

Las sustancias hidrofobas causantes del origen de la repelencia, cubren las partículas de suelo más fácilmente si este tiene mayor cantidad de fracciones

gruesas, esto es, dada la menor superficie específica de las partículas de arena (Blackwell, 1993), por lo que, en general los suelos clasificados como arenosos presentan niveles de repelencia más altos que los suelos que tienen una composición importante de fracciones finas como las arcillas. Uno de los factores no bióticos que puede generar el desarrollo de repelencia al agua en el suelo de forma inmediata es el fuego, empero, se debe considerar que las temperaturas de las grandes llamas que se extienden a lo largo de una zona que está quemándose, no van a transmitirse en la misma magnitud al suelo durante el incendio, y además los tiempos de residencia de las altas temperaturas podrían ser cortos o prolongados en dependencia con factores climáticos como la lluvia. (DeBano, L., 1981, 2000) sugiere que el calor producido durante la combustión de los materiales o restos que se encuentren en la superficie puede llegar a 850°C y 1100°C, logrando vaporizar sustancias orgánicas que se introducen al interior del suelo y posteriormente se enfrían y condensan al encontrarse con un gradiente de temperaturas más frías conforme aumenta la profundidad, la repelencia al agua entonces llega a manifestarse como una capa discreta, de espesor y continuidad variables, de preferencia en la superficie del suelo o a unos pocos centímetros de profundidad.

Doerr y Shakesby (1998) reportaron que suelos cubiertos de *Eucalyptus globulus* y con un contenido bajo de materia orgánica, no presentaron cambios sustanciales en las condiciones hidrofobas iniciales después de haber sido quemados, esto debido, a que la hidrofobicidad original ya era alta, y que por tanto, los compuestos liberados con la quema no tuvieron un efecto detectable de elevación de la repelencia, y que la temperatura alcanzada no fue suficiente para destruir la repelencia original de suelo, sin embargo, señalan que la quema de la hojarasca (litter) de la especie vegetal indicada genera parches extremadamente repelentes al agua en la superficie del suelo.

Dependiendo de la severidad de repelencia desarrollada en los suelos afectados por el paso del fuego, se puede apreciar la formación de depósitos de agua por periodos que van desde pocos segundos, hasta horas, días, o semanas Doerr (2000). DeBano y Krammes (1966) concluyeron a partir de ob-

servaciones hechas en campo y pruebas de laboratorio, que la repelencia del agua debe ser considerada como un factor importante en la erosión de los suelos durante los primeros años después de la ocurrencia de incendios forestales.

De esta manera, y con el inesperado aumento de los incendios forestales en la ciudad de Quito en el año 2012, que llegaron a afectar un área emblemática de la ciudad, como es, el Parque Metropolitano, se decidió efectuar un estudio de la repelencia al agua inducida por un incendio, con el propósito de conocer uno de los efectos que trae consigo el paso del fuego en un suelo de un terreno o de una zona determinada. El Parque Metropolitano se encuentra ubicado bioclimáticamente en la Región Húmeda Templada, y ecológicamente dentro de la formación vegetal de Bosque Húmedo Montano Bajo (Cañadas, 1983). Es una reserva ecológica natural con una variedad de flora y fauna originarias de la ciudad de Quito que ha sido modificado hasta ser catalogado como un bosque y matorral artificiales con una mezcla de elementos nativos más especies introducidas. La predominancia de las especies vegetales en el Parque Metropolitano la tiene el *Eucaliptus globulus* con un 60 %, *Pinus* spp con un 20 % y un restante 10 % entre matorrales, arbustos y otras especies vegetales (Huachi, 2011).

Específicamente en este estudio se determinaron los niveles de repelencia al agua existente en suelos del parque metropolitano de Quito, y el desarrollo temporal de la repelencia al agua por el suelo luego de ocurrido un incendio. Se evaluó también el efecto que tuvo el fuego sobre cambios en el contenido de materia orgánica y se trató de determinar una correlación entre el incremento de la repelencia asociado a un aumento de la concentración de la materia orgánica.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Se calculó que el área del parque afectada por incendios tiene una extensión de 13,4 Has. Utilizando las herramientas de análisis espacial del programa informático ArcGis (Ver Figura 1).

La investigación se realizó en dos sitios del Parque Metropolitano, estos corresponden a una zo-

na quemada y otra cercana que no sufrió efectos visibles del paso de fuego. En ambas zonas se recogieron 25 muestras en tres tiempos diferentes, a los cuatro, siete, y nueve meses después de haber ocurrido el incendio, esto es en enero, abril y julio del 2013. Las muestras fueron escogidas bordeando cuatro transectos que formaron un polígono, mismo que delimitó la zona quemada accesible y fueron recolectadas al azar dentro del polígono, la distancia entre muestras se procuró sea al menos de 1 metro, aunque debido a las condiciones difíciles del lugar por su elevada pendiente, algunas veces no se respetó esa longitud pudiendo ésta ser menor.

2.2 Preparación y acondicionamiento de las muestras

Las muestras se recogieron en bolsas de plástico y se acumularon aproximadamente 500 g de suelo en cada bolsa, la profundidad máxima a la que tomo la muestra fue de 5 centímetros. Una vez recolectadas las muestras fueron trasladadas rápidamente al laboratorio donde se siguió el proceso de preparación y acondicionamiento descrito por Jaramillo (2011), que consiste en secado a 65°C hasta peso constante, luego se aclimataron a condiciones de laboratorio por unos pocos días y posteriormente se mantuvieron siete días a una temperatura de 20°C y humedad relativa del 50 %. Finalmente, las muestras se tamizaron por una malla de 1 mm.

2.3 Granulometría del suelo y materia orgánica

La clasificación de las muestras de suelo se la realizó gravimétricamente, utilizando un equipo tamizador con mallas de diferentes tamaños determinándose las diferentes fracciones que están formando el suelo, así: fracciones finas (0,05 -2 mm), arena (0,002 - 0,05 mm) y limo (<0,002 mm).

La determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) se realizó según el método de vía húmeda descrito por Walkey y Black (1934) utilizando dicromato de potasio como agente oxidante y como indicador difenilamina, en esta metodología se determina la cantidad de carbono orgánico de las muestras de suelo y luego ese valor se transforma a porcentaje de materia orgánica.

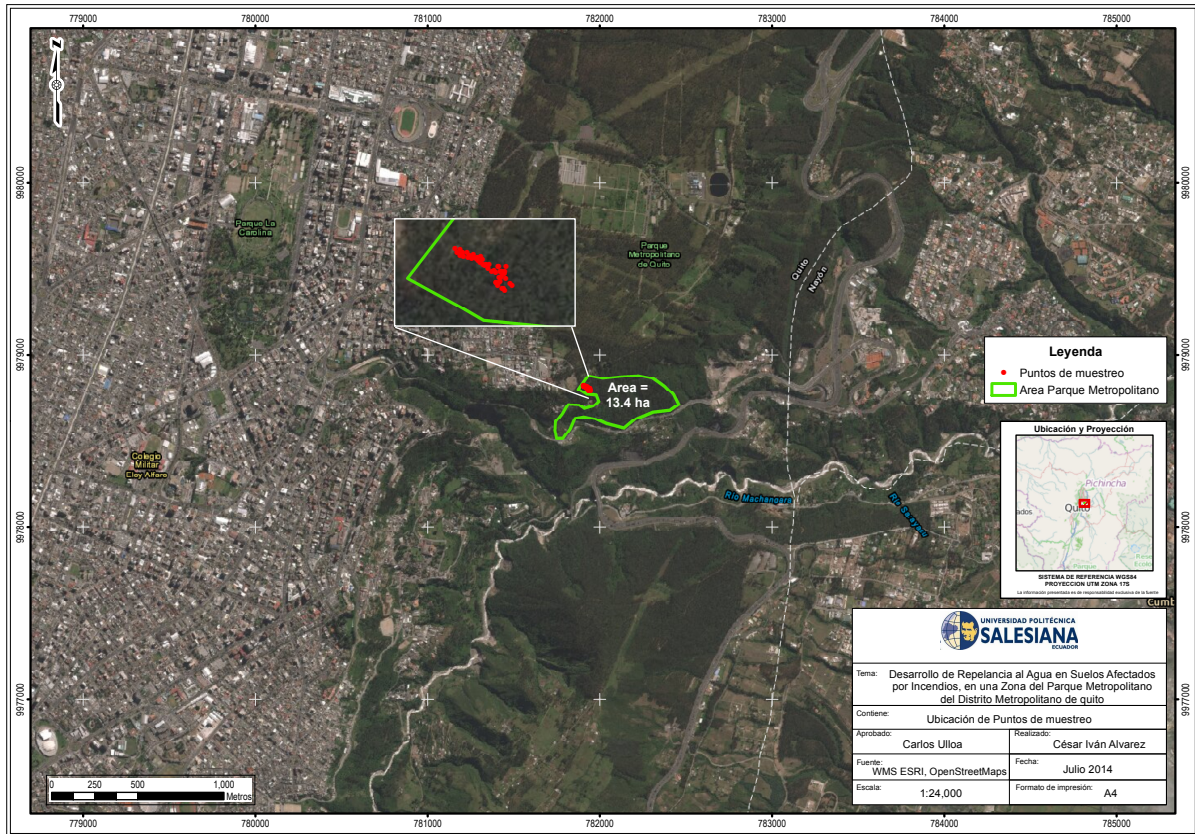


Figura 1. Área del Parque Metropolitano afectada por un incendio forestal, septiembre 2012.

2.4 Determinación de la repelencia al agua

Se determinó la severidad de la repelencia al agua utilizando el método MED (Molarity ethanol test) propuesto por King (1981), para el que se prepararon soluciones de diferentes molaridades de etanol, 1 a 6 Molar con un rango de 1M. Posteriormente se determinó el valor de molaridad con el que una gota de solución de etanol tarda menos de 10 segundos en penetrar la superficie de suelo colocado en una caja petri de vidrio. Una vez conocido el rango de molaridad en el que se pueden infiltrar las gotas en el suelo, se prepararon otras soluciones con un rango de 0,2 M, para determinar el valor exacto de molaridad con el que una gota de solución atraviesa la superficie de suelo en un tiempo menor a 5 segundos, esto sucede cuando la tensión superficial es lo suficientemente baja para permitir infiltración de la gota de agua en el suelo en el tiempo indicado (Letey *et al.*, 2000). Para clasificar las muestras to-

madadas en este estudio, se utiliza la escala propuesta por King (1981), misma que se indica a continuación (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Grado de repelencia al agua de los suelos expresados en molaridad de etanol. Fuente: King (1981).

Clase de severidad	Intervalos de valores de MED (mol/L)
No repelente	0
Repelencia baja	0,2 - 1,0
Repelencia moderada	1,2 - 2,2
Repelencia severa	2,4 - 3,0
Repelencia muy severa	>3,2

Para evaluar la persistencia de la repelencia se escogió el método WDPT (Water Drop Penetration Time), que consiste en registrar el tiempo que necesita una gota de agua para penetrar una superficie

porosa (Wessel, 1988). Para este ensayo se registró el tiempo que una gota de agua tarda en penetrar completamente la superficie evaluada, escogiéndose el tiempo más pequeño entre tres gotas de agua colocadas en la muestra.

Los valores de tiempo determinados al utilizar el método WDPT son utilizados para catalogar el grado de persistencia repelencia al agua de los suelos según la clasificación sugerida por Dekker y Jungerius (1990), como se indica en la Tabla 2.

En ambos casos, tanto para el test MED y el test WDPT, las gotas fueron dispensadas sobre las muestras de suelo colocadas en cajas petri, con una micropipeta para asegurar de que su volumen no sea mayor a 0,05mL, y a una altura máxima de 1,5 cm para evitar exceso de energía cinética que puede alterar la interacción entre la gota y el suelo. Las muestras fueron tratadas independientemente, es decir no se agruparon en una muestra compuesta, debido a que la hidrofobicidad del suelo se puede presentar de forma discontinua tanto de manera natural, como después de un incendio; esto es gracias a que las temperaturas alcanzadas en una superficie dependen por ejemplo, del combustible que existe en la

zona, o de la humedad antes de producirse el incendio.

3. Resultados y discusión

3.1 Granulometría del suelo

Después de realizar el tamizaje correspondiente, se encontró que la composición de las muestras fue en promedio de un 87 % de arena, y 13 % de materias finas, con este resultado se supondría que los suelos del Parque Metropolitano de Quito, presentarían niveles altos de repelencia por su mayor contenido de arena, sin embargo, como se indica en las Tablas 3 y 4, los tiempos en que el agua o una solución etanólica, atraviesan la superficie de suelo permiten clasificarlos como ligeramente repelentes o suelos de baja repelencia, esto puede deberse a que la concentración de materia orgánica en el suelo sin quemar, corresponde a un promedio de $4,89 \pm 2.09\%$, y según Doerr y Shakesby (1998), los suelos con textura arenosa y cobertura vegetal de *Eucalyptus globulus* presentan repelencias altas asociados a concentraciones bajas de materia orgánica.

Tabla 2. Grado de repelencia de los suelos según los tiempos requeridos para la determinación WDPT.

Grado de persistencia	Valores de WDPT(s)	Nivel de persistencia de Repelencia al agua
0	<5	No repelente al agua
1	5-60	Ligeramente repelente al agua
2	60-600	Fuertemente repelente al agua
3	600-3600	Severamente repelente al agua
4	>3600	Extremadamente repelente al agua

Tabla 3. Repelencia al agua y valores máximos encontrados de WDPT y MED, y % de Materia Orgánica MOS evaluadas en el Parque Metropolitano en suelo sin quemar y suelo quemado hace cuatro, siete y nueve meses de producido el incendio.

Muestras	Media WDPT (s)	Max WDPT (s)	Media MED (mol/L)	Max MED (mol/L)	MOS %
Sin quemar	46,24 \pm 76,47	100,16	0,6 \pm 0,7	1,6	4,89 \pm 2.09
a 4 meses	489,96 \pm 542.03	1322,52	2,0 \pm 1,3	3,6	5,88 \pm 1,61
a 7 meses	46,62 \pm 66.60	213,67	1,2 \pm 0,5	2,6	3,91 \pm 1,20
a 9 meses	36,84 \pm 31,72	99,06	0,7 \pm 0,8	2,2	3,44 \pm 1,81

3.2 Repelencia al agua y materia orgánica

Los resultados de los métodos WDPT y MED aplicados para evaluar repelencia al agua indican que, el suelo de la zona quemada del Parque Metropolitano, desarrolló repelencia al exponerse a altas temperaturas durante el incendio ocurrido en la zona. Los suelos estudiados que no corresponden a suelos afectados por incendios, originalmente presentan baja repelencia (clasificación MED, Tabla 1), y la persistencia que el agua tendría sobre la superficie de estos suelos, hasta llegar a evaporarse sin lograr ingresar al suelo, es ligera (Clasificación WDPT, Tabla 2). Las muestras de suelo evaluadas a los cuatro meses de ocurrido el incendio exhiben mayor grado de repelencia al agua determinados por WDPT y MED (Ver Tabla 3).

La Tabla 3 muestra los porcentajes de Materia orgánica y repelencia al agua (WDPT) y (MED) promediados entre las muestras, con sus respectivas desviaciones estándar. Los valores reportados sugieren que la hidrofobicidad generada en el suelo después de ocurrido el incendio, puede ser resultado de la transferencia de compuestos orgánicos hidrófobos de la biomasa fresca o en descomposición que se encuentra por encima del suelo al quemarse (DeBano, L., 1981, 2000), estos compuestos al parecer, contribuyen con el aumento de materia orgánica en los cuatro meses posteriores al incendio. Por otro lado, el decremento de los compuestos orgánicos que causan persistencia de hidrofobicidad en muestras analizadas a los siete y nueve meses de ocurrido el incendio, puede deberse a que la repelencia al agua es un fenómeno temporal o transitorio (Dekker y Ritsema, 1996), que puede depender por ejemplo, de la cantidad de lluvia que se presente en una zona determinada ocasionando lixiviación del suelo, liberación de partículas por splash o salpicaduras de agua (Shakesby, 2000), lo que ocasionaría que las muestras analizadas disminuyan la persistencia de repelencia al agua hasta ser consideradas ligeramente repelentes.

Cabe indicar que las muestras en las que se determinaron WDPT y MED presentaron valores máximos muy altos en todos los ensayos realizados, esto ocasionó que existan valores de desviación estándar, en algunos casos mayores a los promedios, es por esto que muchos autores identifican a los suelos por el rango de persistencia alcanzada (Jaramillo,

2011) y no por el tiempo en segundos que se registra tal como se muestra en la Tabla 4. En la Tabla 4 también se indican los porcentajes de la predominancia temporal de un tipo de repelencia en las muestras de suelo, apreciándose porcentajes para la clasificación MED de entre el 60 al 84 %, y en la clasificación WDPT entre 76-84 %, esto quiere decir, que la mayoría de muestras evaluadas a los cuatro, siete y nueve meses de ocurrido el incendio presentan rangos de repelencia similares.

Otro factor importante a mencionar, es que de acuerdo a los datos obtenidos, se puede suponer que el suelo afectado por el fuego en la zona de estudio alcanzó una temperatura inferior a 270°C, ya que según (DeBano, L., 1981, 2000), bajo esta temperatura se acentúa la formación de una capa repelente al agua, mientras que temperaturas cercanas a 400°C se destruyen la mayoría de los compuestos hidrófobos

3.3 Comparaciones entre MED y WDPT y materia orgánica

Muchos autores han tratado de determinar una correlación entre las medidas de repelencia y el contenido de materia orgánica, sin embargo, no siempre altos valores de materia orgánica se relacionan con altos niveles de repelencia al agua. Las correlaciones encontradas en este estudio utilizando todas las mediciones realizadas entre suelos no quemados y suelos quemados, a los cuatro, siete y nueve meses son: MED y % MOS ($R = 0,23$); WDPT y % MOS ($R = 0,27$). Cuando se correlacionaron las medidas de persistencia de la repelencia WDPT con la severidad de repelencia MED se calculó un ($R = 0,87$), por lo que, la correlación ambos análisis es alta, a pesar de que, existen parches en el suelo que presentan altos niveles de repelencia. En la Figura 2, se puede apreciar el grado de dispersión que existe entre los rangos y clases de repelencia al agua y la concentración de materia orgánica.

Una vez realizado el análisis de varianza entre los grupos de muestras estudiadas, se puede determinar que existe diferencia significativa entre la repelencia al agua presentada por las muestras recolectadas al cuarto mes de ocurrida la quema (Tabla 5), confrontadas con las muestras correspondientes siete y nueve meses posteriores al incendio y las muestras que se utilizaron como testigos.

Tabla 4. Rangos de Repelencia al agua WDPT y MED de las muestras evaluadas y % de muestras que ingresan en los rangos para WDPT y MED

Muestras	Rango WDPT	Clasificación WDPT	% Muestras	Rango MED	Clasificación MED	% Muestras
Sin quemar	1	LR	76	0,2-1,0	RB	76
a 4 meses	2	FR	84	1,2-2,2	RM	84
a 7 meses	1	LR	76	1,2-2,2	RM	72
a 9 meses	1	LR	76	0,2-1,0	RB	60

LR: ligeramente repelente. FR: Fuertemente repelente. RB: Repelencia baja. RM: Repelencia moderada.

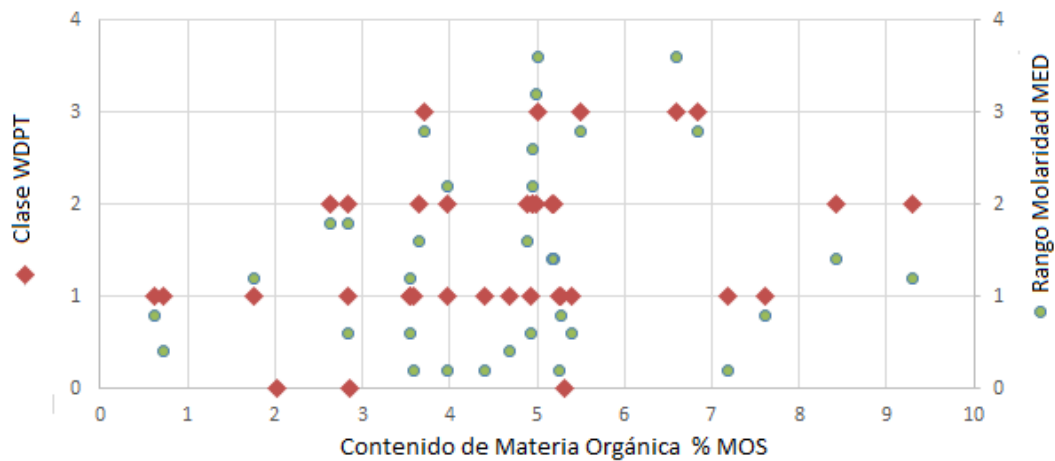


Figura 2. Relación entre el grado de repelencia al agua, medida por WDPT y MED en muestras de suelos quemados a los cuatro, siete y nueve meses de ocurrido el incendio y el contenido de materia orgánica

Tabla 5. Análisis de varianza de las muestras de suelos no quemados y suelos quemados.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl Totales	F calc.	F crítico
Entre grupos WDPT Todas las muestras	25,79	99	20,88*	2,70
Entre grupos MED Todas las muestras	30,61	99	11,86*	2,70
Entre grupos WDPT Sin quemar y al cuarto mes	19,22	49	37,56*	4,04
Entre grupos MED Sin quemar y al cuarto mes	25,06	49	23,79*	4,04

* Diferencia mínima significativa al 95 %

Esto confirma la inducción al desarrollo de repelencia que tiene el fuego sobre los suelos y que ha sido reportado por varias investigaciones (Doerr y Shakesby, 1998; Doerr, 2000; DeBano y Krammes, 1966; DeBano, L., 1981), y también, que su comportamiento es transitorio, ya que se evidencia una recuperación de los niveles originales de repelencia a partir de los siete meses posteriores a la quema del suelo.

4. Conclusiones y recomendaciones

Los máximos niveles de repelencia en el suelo afectado por la quema en el Parque Metropolitano de Quito, fueron alcanzados a los cuatro meses de ocurrido el incendio, y ubicaron a las muestras como “fuertemente repelentes” respecto a la persistencia (WDPT) y como “repelencia moderada” de acuerdo a la severidad (MED). En todas las muestras analizadas se encontraron máximos niveles de repelencia, que obedecen a la distribución aleatoria y espacial de la materia orgánica que se consume en el incendio, y que transfiere compuestos orgánicos hidrófobos al suelo formando una capa repelente, que disminuye en relación al tiempo.

El promedio de la mayor concentración de materia orgánica en el suelo quemado se encontró también a los cuatro meses de ocurrida la quema, y a pesar de no existir correlaciones altas entre los niveles de repelencia y las concentraciones de materia orgánica, el aumento de la concentración de materia orgánica, puede estar asociado a la quema de hojarasca, que como se indicó, puede no estar distribuida uniformemente sobre el suelo al momento de la quema.

A los siete y nueve meses de ocurrida la quema, los niveles de repelencia disminuyen a su estado original evaluado en muestras de suelo no quemadas y que corresponde a suelos ligeramente repelentes (WDPT) y repelencia baja (MED).

Futuras investigaciones en el marco de la repelencia al agua y otras propiedades que se ven afectadas por la influencia del fuego deben realizarse en el área estudiada, para establecer la significancia de la repelencia al agua sobre la calidad y deterioro de los suelos.

Referencias

- Bachmann, J. 2000. **Development and application of a new sessile drop contact angle method of assess soil water repellency.** Journal of Hydrology, págs. 564–567.
- Benito, E., J. Santiago, E. De Blas y M. Varela. 2003. **Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): Effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall.** Earth Surface Processes and Land-Forms, págs. 145–155.
- Blackwell, P. 1993. **Improving sustainable production from water repellent sands.** Western Australia Journal Agriculture, págs. 160–167.
- Cañadas, L. 1983. **El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador.** Quito: Banco Central del Ecuador.
- Clark, B. 2001. **National wildfire coordinating group. retrieved from U.S. Fish and Wildlife.** URL (<http://fire.fws.gov/ifcc/monitor/EFGuide/soils.htm>).
- DeBano, L. y J. Krammes. 1966. **Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures.** Bulletin of International Association of Scientific Hydrology, págs. 14–19.
- DeBano, L. 1981. **Water repellent soils: a state-of-the-art.** Berkeley, CA., general Technical Report, PSW-46. United States Department of Agriculture, Forest Service.
- DeBano, L. 2000. **The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments. a review.** Journal of Hydrology, págs. 231–232, 195–206.
- Dekker, L. y P. Jungerius. 1990. **Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands.** Catena Supplement, págs. 173–183.
- Dekker, L. y C. Ritsema. 1996. **Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils.** Catena, págs. 89–105.
- Doerr, S. 2000. **The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal.** Journal of Hydrology, págs. 231–232, 134–147.

- Doerr, S. y R. Shakesby. 1998. **Spatial variability of soil water repellency in fire-prone eucalyptus and pine forest.** *Soil Science*, págs. 313–324.
- Domingo, W. 1950. **Some notes on irreversibly dried difficulty wettable soils.** *Landbouwkund Tijdschr*, págs. 252–260.
- Ellies, A., R. Grez y C. Ramírez. 1995. **Cambios en las propiedades humectantes de suelos sometidos a diferentes manejos.** Turrialba, págs. 42–48.
- Giovannini, G., S. Lucchesi y S. Cervelly. 1987. **The natural evolution of a burnt soil: a three-year investigation.** *Soil Science*, págs. 220–236.
- Hallet, P. y I. Young. 1999. **Changes to water repellency of soil aggregates caused by substrate induced microbial activity.** *European Journal of Soil Science*, págs. 50, 35–40, 518–524.
- Huachi, L. 2011. **Mejoramiento del suelo mediante la producción de un abono orgánico a partir de estiércol animal en el Parque Metropolitano de Quito.** Anuario de la Universidad SEK, págs. 76–86.
- Jamison, V. 1946. **Resistance to wetting in the surface of sandy soils under citrus trees in central florida and its effect upon penetration and the efficiency of irrigation.** *Soil Science Society of America Proceedings*, págs. 103–109.
- Jaramillo, D. 2011. **Repelencia al agua en andisoles de Antioquia.** Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, J. 2000. **Caracterización preliminar de los compuestos hidrofóbicos removidos de andisoles repelentes al agua de Antioquia.** Facultad Nacional Agraria de Medellín, págs. 801–821.
- Jaramillo, J. D. 1992. **Relaciones entre la acumulación de acículas (litter) de Pinus Patula y la hidrofobicidad en algunos andisoles de Antioquia.** Proyecto Fin de Carrera, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, 95., tesis Magister en Suelos y Aguas.
- Jordán, A. y A. Cerda. 2010. **Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales.** Valencia: FUEGO-RED.
- King, P. 1981. **Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement.** *Australian Journal Soil Research*, págs. 275–285.
- Letey, J., M. Carrillo y P. XP. 2000. **Approaches to characterize the degree of water repellency.** *Journal of Hydrology*, págs. 61–65.
- McGhie, D. y A. Posner. 1981. **The effect of plant top material on the water repellence of fired sands and water-repellent soils.** *Australian Journal of Agriculture Research*, págs. 609–620.
- Moral, F., F. López y E. M. Marcos. 08 de 2003. **Influencias hidrológicas y ambientales de la repelencia al agua en los suelos arenosos.** URL (<http://www.unizar.es>), obtenido de Universidad de Extremadura.
- Morley, C., K. Mainwaring, S. Doerr, P. L. Douglas y L. W. Dekker. 2005. **Identification of hydrophobic compounds in a sandy soil under permanent grass cover.** *Australian Journal of Soil Research*, págs. 239–249.
- Pérez, D. V. y S. S. Salatino. 1998. **Identificação e caracterização da repelencia à água em alguns solos brasileiros.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, págs. 197–207.
- Roy, J. L. y W. McGill. 2000. **Flexible conformation in organic matter coatings. a hypothesis about soil water repellency.** *Canadian Journal of Soil Science*, págs. 143–152.
- Schaumann, G., B. Braun, D. R. Kirchner, U. Szewzyk y E. Grohmann. 2007. **Influence of biofilms on the water repellency of urban soil samples.** *Hydrological Processes*, págs. 2276–2284.
- Shakesby, R. D. 2000. **The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions.** *Journal of Hydrology*, págs. 231–232.
- Van't Woudt, B. 1959. **Particle coatings affecting the wettability of soils.** *Journal of Geophysical Research*, págs. 263–267.
- Walkey, A. y I. Black. 1934. **An examination of the degtjareff method for determining soil organic**

matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, págs. 29–38.

Wessel, A. 1988. **On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils.** *Earth Surface Processes and Landforms*, págs. 555–562.