

HUMEDAD CRÍTICA Y REPELENCIA AL AGUA EN ANDISOLES BAJO COBERTURA DE *Cupressus lusitanica* y *Quercus humboldtii* EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA PIEDRAS BLANCAS (MEDELLÍN, COLOMBIA)

Bibiana Caballero Mejía¹ y Daniel Francisco Jaramillo Jaramillo²

RESUMEN

*En dos vertientes de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia) se estudió la relación humedad – persistencia de la repelencia al agua en la parte superficial de andisoles bajo dos coberturas vegetales: *Cupressus lusitanica* (ciprés) y *Quercus humboldtii* (roble), en tres posiciones a lo largo de la vertiente de colinas bajas: superior, media e inferior y en dos condiciones de humedad: con la humedad de campo y con la humedad adquirida al equilibrar al aire durante dos días muestras que habían sido secadas a 105 °C. En cada sitio de la vertiente se ubicó una parcela de 6 m x 5 m y en ella se tomaron 60 muestras de suelo en una malla de 1 m x 0,5 m. La persistencia de la repelencia al agua se evaluó con el método del WDPT en muestras tamizadas a 1 mm. Se presentó un alto número de muestras fuertemente repelentes al agua en todas las condiciones de trabajo, siendo mayor la frecuencia en ciprés que en roble. Tanto la repelencia al agua como la humedad presentaron comportamiento diferencial por cobertura y por posición en la vertiente dentro de la misma cobertura. No se pudo establecer una relación consistente entre el contenido de humedad de las muestras y la persistencia de la repelencia al agua que presentaron, así como tampoco se pudo definir una zona de transición de humedad crítica para que se manifestara la repelencia al agua en ellas, en ninguna de las dos coberturas vegetales y en ninguna posición en la vertiente.*

Palabras claves: Hidrofobicidad de suelo, persistencia de la repelencia al agua, WDPT, andisoles, valor crítico de la humedad del suelo, zona de transición de la humedad crítica en el suelo.

ABSTRACT

CRITICAL MOISTURE AND WATER REPELLENCY ON ANDISOLS UNDER *Cupressus lusitanica* AND *Quercus humboldtii* COVER IN THE PIEDRAS BLANCAS WATERSHED (MEDELLÍN, COLOMBIA)

*In two hillside of the Piedras Blancas watershed (Medellín, Colombia) was studied the relation humidity – persistence of the water repellency on the surface of the andisols under two vegetable covers: *Cupressus lusitanica* (cypress) and *Quercus humboldtii* (oak groves). These were found in*

¹ Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A 1779, Medellín, Colombia. <bcmejia@hotmail.com, bbcaball@unalmed.edu.co>

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

Recibido: Agosto 22 de 2006; aceptado: Septiembre 27 de 2007.

three different positions along the side of low hills: upper, middle and lower grounds, as well as in two conditions of humidity: with the humidity acquired when equilibrated with the air during two days (samples originally dried at 105 °C) and with the field humidity. In each place of the hill slope was located a plot of 6 m by 5 m and in this slope, 60 samples of soil were taken in a netting of 1 m by 0,5 m. The persistence of the repellency to water was evaluated with the WDPT method with samples sifted at 1 mm. A high number of samples that were very repellent to water was observed in all working conditions, being greater the frequency in cypress than in oak groves. The water repellency as well as water humidity presented a differential behavior by cover and by position on the hill slope inside of the same cover. A consistent relationship between the humidity content of the samples and the persistence of the water repellency that these presented could not be established. A zone of critical humidity transition could not be defined either so that the repellency to water could be revealed, neither in the two vegetable covers nor in any position of the hill slope.

Key words: Hydrophobicity of the soil, persistence of the water repellency, WDPT, andisols, critical value of soil humidity, transitional zone of the critical soil humidity.

Abreviaturas: WDPT: **Water Drop Penetration Time:** Tiempo de Penetración de la Gota de Agua en el Suelo.

El fenómeno de la hidrofobicidad se ha registrado en suelos de varias regiones del mundo. En 1991 fue estudiado sistemáticamente el fenómeno en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia (Jaramillo, 1992).

Al definir un suelo como hidrofóbico, en realidad no se quiere decir que es completamente repelente al agua, aunque sí se da este caso; lo que se quiere expresar con esta connotación es que el suelo requiere, para humedecerse, un tiempo de contacto entre él y el agua. Este tiempo que permanece el agua en contacto con el suelo es lo que definieron Watson y Letey (1970), citados por Jaramillo (1996), como "persistencia de la repelencia al agua".

Los investigadores que han trabajado en la caracterización de la repelencia al agua en los suelos han concluido que la dificultad para humedecerlos se debe a la presencia de recubrimientos orgánicos que rodean sus partículas o

sus agregados (Doerr *et al.*, 2000; Jaramillo 1992, 2004;).

La persistencia de la repelencia al agua en el suelo se mide con la prueba del WDPT, la cual consiste en medir el tiempo que gasta una gota de agua destilada en penetrar completamente en el suelo. Para facilitar el manejo de esta información se usa, frecuentemente, la agrupación de los valores de WDPT en clases, siendo las más usadas las que propusieron Dekker y Jungerius 1990. Según Dekker (1998), al someter el suelo a secamiento progresivo se van incrementando la persistencia y la intensidad de la repelencia al agua aunque en condiciones de humedad de campo el suelo puede no presentar repelencia alguna. Este comportamiento lo confirmaron Jaramillo (2003) y Vanegas (2003), en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia) y Poulenard *et al.* (2004) en andisoles de páramo de Ecuador.

Según varios investigadores, la hidrofobicidad tiende a incrementarse durante épocas secas, mientras que tiende a disminuir en épocas húmedas con altos contenidos de humedad en el suelo. Vanegas (2003) confirmó este comportamiento comparando la repelencia al agua obtenida en muestras de andisoles tomadas en épocas húmeda y seca, al encontrar que los mayores valores de WDPT y la mayor cantidad de muestras severamente repelentes al agua se presentaron con el muestreo hecho en la época seca.

Dekker y Ritsema (1994, 2000) y Doerr y Thomas (2000), en suelos de texturas variadas de Holanda y de Portugal, encontraron que había un "contenido de humedad crítico" en el suelo que hacía que el fenómeno de la repelencia al agua se manifestara o no: con una humedad por debajo del contenido crítico, el suelo era repelente al agua y por encima era humectable.

Dekker *et al.* (2001) evaluaron el contenido crítico de humedad en algunos suelos y observaron que no se presentaba un valor de humedad que cumpliera con la definición anterior, pero sí que había un rango de humedades que hacía esa función de separar suelos repelentes y no repelentes: a este rango de valores lo llamaron "zona de transición del contenido de humedad crítico en el suelo". Con contenidos de humedad por debajo del límite inferior de la zona de transición, el suelo era repelente al agua y con contenidos por encima del límite superior de la zona de transición, el suelo era humectable. Dentro de la zona de transición, el suelo puede ser repelente al agua o humectable.

A pesar de las relaciones repelencia - humedad encontradas en los trabajos citados anteriormente, Jaramillo (2003), no pudo definir el límite crítico de humedad para 811 muestras de andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, tomadas bajo cobertura de *Pinus patula*, cuya repelencia al agua fue evaluada en campo y en laboratorio con muestras secadas a 35°C.

En otros experimentos llevados a cabo también con muestras de andisoles tomadas bajo cobertura de *Pinus patula* en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, tampoco fue posible establecer el límite crítico de humedad para la repelencia al agua (Jaramillo, 2005).

En un estudio preliminar de la repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*, *Cupressus lusitanica* y *Quercus humboldtii*, en el cual se evaluó la persistencia de la repelencia al agua en muestras con la humedad de campo y secadas al aire a 24°C, tampoco se observaron relaciones consistentes entre la repelencia al agua y la humedad (Duque *et al.*, 2004).

Con este trabajo se pretende establecer si hay una zona de transición de humedad que se relacione con la manifestación de la repelencia al agua en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas bajo cobertura de *Cupressus lusitanica* y *Quercus humboldtii*, con muestras que conservaron su humedad de campo y con muestras que equilibraron su humedad al aire durante dos días, después de haber sido secadas al horno a 105°C. Además, se tratará de establecer si hay relación entre la humedad de las muestras

y la persistencia de la repelencia al agua que desarrollan, en las dos condiciones de humedad estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del medio físico.

El estudio se realizó en la cuenca hidrográfica de la quebrada Piedras Blancas, localizada a 17 km al oriente de Medellín, entre las coordenadas planas 1 180 000 y 1 188 990 de latitud Norte y 840 000 y 850 000 de longitud Oeste. Su área se estima en 2911 hectáreas y altitudinalmente está ubicada entre los 2340 y 2680 msnm; la cuenca presenta una precipitación promedio anual de 1815 mm, con distribución bimodal y una temperatura media anual de 14,7°C (Jaramillo y Herrón, 1991).

El paisaje principal de la cuenca lo constituyen colinas bajas desarrolladas en saprolitos espesos de anfíbolita, recubier-

tas con ceniza volcánica (Jaramillo, 1989). Los suelos predominantes son derivados de ceniza volcánica, fuertemente ácidos, tienen alto contenido de materia orgánica y bajo en bases intercambiables, textura media, bajo nivel de fertilidad y, en los sitios del trabajo no presentan erosión y se clasificaron como Fulvudands y Hapludands. La mayor parte de la cuenca se encuentra bajo cobertura de *Pinus patula*, *Pinus elliotii*, *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus* sp. y rastrojos altos.

Metodología. El trabajo se desarrolló en dos sitios con diferentes coberturas vegetales, cuyas coordenadas en el centro del lote y cobertura son: el primero está situado en las coordenadas N 1 188 506, W 841 337, a una altura de 2492 msnm, bajo cobertura de *Cupressus lusitanica* y el segundo en las coordenadas N 1 188 276, W 840 784, a una altura de 2494 msnm, bajo cobertura de *Quercus humboldtii* (Figura 1).

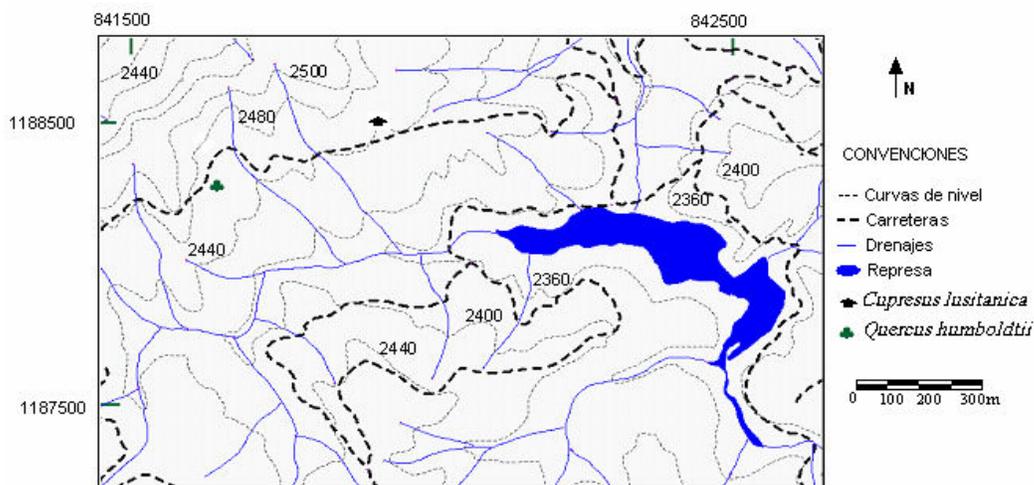


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo para el estudio de la humedad crítica y repelencia al agua bajo cobertura vegetal en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia).

En cada uno de los sitios se definió un eje a lo largo de toda la vertiente y sobre él se ubicaron tres parcelas de muestreo de 6 m x 5 m, en tres posiciones a lo largo de dicha vertiente: una en la parte superior, otra en la parte media y la última en la parte inferior. En cada parcela se trazó una cuadrícula de seis líneas en sentido transversal a la pendiente y con 1 m de separación entre ellas y diez líneas en la dirección de la pendiente, separadas 0,5 m entre sí. Los 60 puntos definidos por las intersecciones de las líneas de la cuadrícula fueron los puntos de muestreo. La pendiente de las parcelas varió entre 12% y 25%.

En cada punto de muestreo de la cuadrícula se retiró la capa de *litter* y se procedió a tomar una muestra de la parte superior (15 cm) del horizonte A del suelo de aproximadamente 200 g, con la ayuda de un barreno; cada muestra se guardó inmediatamente en bolsas con cierre hermético para evitar la pérdida de humedad. Una vez tomadas las muestras se llevaron al laboratorio donde se dejaron almacenadas en una cava a temperatura de 4°C, con el fin de conservar la humedad de campo.

Las muestras fueron sometidas al siguiente proceso en el laboratorio: se tamizaron a 1 mm, se les determinó la

persistencia de la repelencia al agua con la humedad de campo (WDc), se llevaron a secar a 105°C en el horno por dos días y luego se les determinó nuevamente la persistencia de la repelencia al agua en seco (WDs); finalmente, las muestras que fueron secadas al horno se dejaron expuestas al aire por dos días para que se estabilizaran con la humedad ambiental y se hizo otra determinación de la persistencia en esta condición (WDa).

En todas las condiciones, excepto cuando se secan al horno, a las muestras se les determinó el contenido de humedad gravimétrico. La persistencia de la hidrofobicidad se evaluó utilizando la prueba WDPT (Water Drop Penetration Time), la cual consistió en colocar una muestra de suelo en una cápsula metálica o en un plato de Petri, emparejar su superficie y sobre ella depositar tres gotas de agua destilada con un frasco gotero; a cada gota se le registró el tiempo que tardó en penetrar en el suelo, teniéndose como tiempo límite de observación 1800 segundos. La persistencia de la repelencia al agua se estableció como el tiempo promedio de penetración de las tres gotas de agua en el suelo. La persistencia de la repelencia al agua se calificó con las clases que se presentan en la Tabla 1, ajustando el tiempo final a 1800 segundos, en lugar de 3600 segundos.

Tabla 1. Clasificación de la persistencia de la repelencia al agua en el suelo, propuesta por Dekker y Jungerius (1990).

Clase	WDPT (s)	Definición
0	< 5	Humectable; sin repelencia al agua
1	5 – 60	Repelencia ligera al agua
2	60 – 600	Repelencia fuerte al agua
3	600 – 3600	Repelencia severa al agua
4	> 3600	Repelencia extrema al agua

Con la información obtenida (Tabla 1) se generó una base de datos para cada cobertura, en cada parcela, que contenía las siguientes variables: WDPT en las diferentes condiciones de medida: con la humedad de campo (WDC), secado al horno a 105°C (WDs) y seco al aire después de secado al horno (WDa) y porcentaje de humedad gravimétrica en las diferentes condiciones de trabajo: con la humedad de campo (Hc) y seco al aire después de secado al horno a 105°C (ha).

La humedad crítica para la persistencia de la repelencia al agua se estudió mediante la definición de la zona de transición para cada parcela y cada cobertura. La zona de transición se establece haciendo una gráfica de distribución de los valores de humedad de las muestras vs la clase de WDPT que le corresponde y en ella se toma como límite inferior de la zona, el contenido mínimo de humedad obtenido en la Clase 0 (cero) de WDPT y como límite superior el contenido máximo de humedad que se obtenga en cualquiera de las otras clases de WDPT, diferentes de 0 (Dekker *et al.*, 2001). Los resultados fueron sometidos a análisis estadísticos univariados.

Se utilizó la regresión logística para establecer la relación probabilística entre las clases de persistencia de la repelencia al agua, definidas por Dekker y Jungerius (1990) y la humedad correspondiente, para cada cobertura, cada parcela y cada condición de medida.

El modelo de regresión logística, según Abaira (2005), para una variable independiente única tiene la forma:

$$\ln(p_i / q) = \alpha_0 + \alpha_1 x \quad (1)$$

donde:

- ln: Logaritmo natural
- Pi: Probabilidad de que un suceso ocurra
- q: Probabilidad de que un suceso no ocurra
- x: Coeficientes constantes
- α : Variables independientes

Si x es una variable dicotómica que sólo puede tomar valores de 0 ó de 1, la ecuación 1 para cada situación es:

$$\begin{aligned} \ln(p_i / q | x =) &= \alpha_0 + \alpha_1 x_0 \\ &= \alpha_0 + \alpha_1(0) = \alpha_0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \ln(p_i / q | x = 0) &= \alpha_0 + \alpha_1 x_0 \\ &= \alpha_0 + \alpha_1(1) = \alpha_0 + \alpha_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(p_i / q | x = 1) &= \ln(p_i / q | x = 0) + \alpha_1 \quad (3) \\ \therefore \alpha_1 &= \ln(p_i / q | x = 1) - \ln(p_i / q | x = 0) \end{aligned}$$

$$= \ln \frac{(p_i / q | x = 1)}{(p_i / q | x = 0)} \quad (4)$$

Según Abaira (2005) y Molinero (2003) el cociente entre las probabilidades de ocurrencia y no ocurrencia de un suceso, se llama **odds**:

$$odds = p/q \quad (5)$$

y sustituyendo 5 en 4 se tiene:

$$\alpha_1 = \ln \frac{(odds | x = 1)}{(odds | x = 0)} \quad (6)$$

el cociente entre odds de presencia y no presencia de un suceso, es lo que se llama relación o **razón odds** (abreviado

como **OR** del nombre en inglés: **Odds Ratio**) (Abraira 2005; Bland y Altman, 2000; González, 2003; Molinero, 2003;) por lo que el coeficiente α_1 de la ecuación 1, despejado de la 6, será:

$$\alpha_1 = \ln OR \Rightarrow OR = e^{\alpha_1} = \exp(\alpha_1) \quad (7)$$

Nótese que la OR es una manera de comparar la ocurrencia o no ocurrencia de un suceso, asociado con la presencia o ausencia de un factor de control. Por esto, en la regresión logística con una sola variable independiente, el parámetro fundamental de análisis es el coeficiente (α_1) de dicha variable independiente.

Según González (2003), la OR mide que tanto más probable es que la respuesta o suceso esté entre los individuos con $x = 1$ que entre aquellos con $x = 0$.

Cuando la OR es igual a 1, no hay asociación entre la variable dependiente y el factor o variable independiente. Cuando la $OR > 1$, hay una asociación positiva entre la variable y el factor y si $OR < 1$, la relación entre ellos es inversa o negativa. En otras palabras, si $\alpha_1 = 0$, no hay ninguna asociación entre las variables estudiadas (Abraira, 2005; González, 2003; Molinero, 2003).

En este trabajo la regresión logística se hizo estableciendo la probabilidad de que una muestra de suelo perteneciera a una determinada clase de WDPT; para lograr esto, la regresión se hizo para una sola clase de WDPT a la vez, transformando la variable dependiente (clase de WDPT) de categórica a binomial mediante el siguiente procedimiento: a las muestras que presentaban la clase de WDPT que se quería estudiar se le colocó un valor de 1 y

a las muestras cuya clase de WDPT pertenecía a otra diferente se les colocó un valor de 0 (cero). Hechas estas transformaciones se procedió a hacer el análisis de regresión, tomando de él la información que recomiendan usar Abraira (2005) y Molinero (2003). Los análisis estadísticos planteados se hicieron con ayuda del programa de computación Statgraphics 5.0 plus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Persistencia de la repelencia al agua y cobertura vegetal. En la Figura 2 se presenta la distribución de las clases de WDPT encontrada en cada cobertura vegetal, agrupadas por la condición de humedad en la cual se hizo la determinación. En las muestras que fueron sometidas a secado, se incrementó la repelencia al agua, en comparación con las que se trabajaron con la humedad de campo: aumenta la participación de las Clases 3 y 4 en la distribución de las muestras y disminuye la cantidad de muestras en las Clases 0, 1 y 2. El incremento en la repelencia al agua con el secado de las muestras ya ha sido reconocido en los suelos de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas por Jaramillo 2003, 2004 y por Vanegas 2003, aún con muestras de suelo provenientes de las mismas coberturas vegetales de este trabajo, aunque en otras localidades diferentes.

Las muestras que se tomaron bajo la cobertura de ciprés fueron las que presentaron la mayor persistencia de la repelencia al agua, tanto real (con humedad de campo) como potencial (en muestras secas a 105°C y al aire): bajo esta cobertura se presenta la mayor proporción de muestras en la Clase 4 (Figura 2). En las

dos coberturas, el rehumedecimiento de las muestras al aire, luego de secarlas al horno, aparentemente no produce cambios sensibles en la distribución de la persistencia de la repelencia al agua entre esas dos condiciones. Sin embargo, al hacer un análisis de comparación de las distribuciones de las clases de WDPT en estas dos condiciones de humedad en cada cobertura, mediante un análisis de comparación de proporciones, se obtuvieron diferencias significativas, al 95%, entre las proporciones de la Clase 3 en roble y de la Clase 4 en ciprés.

Se observa también en la Figura 2 que hay una respuesta diferencial del suelo a la repelencia al agua entre las dos coberturas estudiadas: en todas las condiciones de humedad en que se evaluó la persistencia de la repelencia al agua, las parcelas en roble presentaron menos cantidad de muestras en la Clase 4. Este comportamiento obedece probablemente a diferencias en el tipo de materia orgánica que aporta cada cobertura vegetal al suelo y/o en su interacción con la fracción inorgánica del mismo, como lo ha sugerido Jaramillo (2004, 2005).

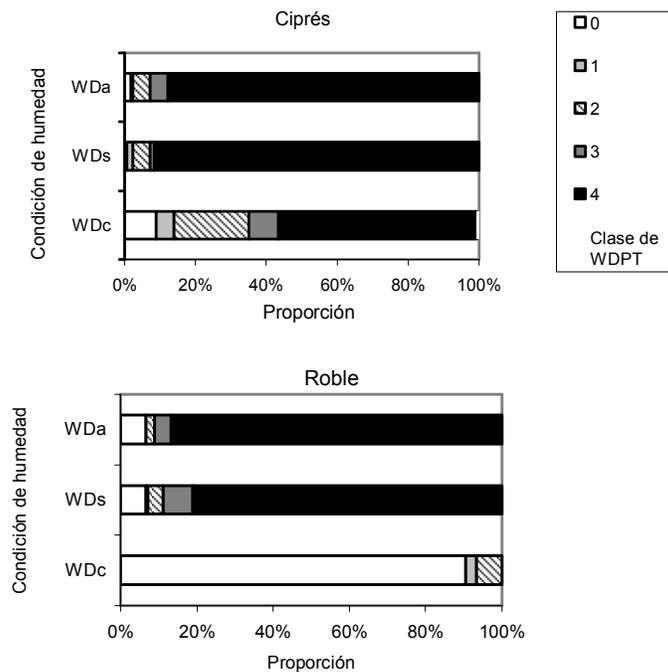


Figura 2. Distribución de las clases de WDPT en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo dos coberturas vegetales en tres parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente, con diferente condición de humedad en las muestras.

Efecto de la posición en la vertiente sobre la persistencia de la repelencia al agua en diferentes condiciones de secado, por cobertura.

Cobertura de ciprés. La parcela que presentó la mayor persistencia de la repelencia al agua en esta cobertura fue la que se ubicó en la parte media de la vertiente

y la de menor persistencia fue la superior, en todas las condiciones de secado evaluadas (Figura 3).

En la mayoría de las muestras, en todas las parcelas, se aprecia que el secado al horno incrementa la persistencia de la repelencia al agua, con respecto a las evaluaciones hechas con la humedad de campo, y que el rehumedecimiento, después del secado al horno, cambia la respuesta del suelo a la repelencia al agua, en muy pocas muestras. Se ob-

serva un comportamiento diferencial y puntual en la repelencia al agua dentro y entre parcelas, bajo la misma cobertura vegetal, lo que puede estar confirmando las apreciaciones de Ritsema *et al.* (1997), quienes observaron el mismo comportamiento de la repelencia el agua en pequeñas parcelas de suelos arenosos de Holanda y propusieron que dicha variabilidad podía obedecer a una distribución heterogénea de los compuestos húmicos hidrofóbicos en el suelo.

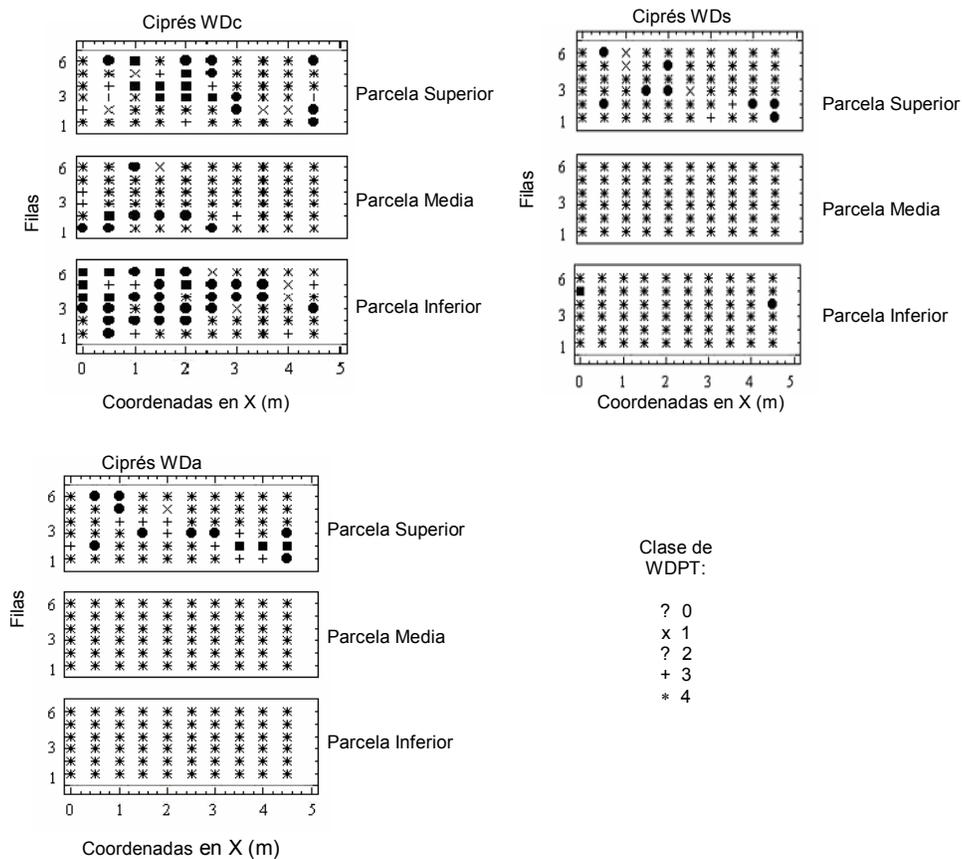


Figura 3. Distribución de las clases de WDPT medidas en tres condiciones de humedad de las muestras, en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura de ciprés, en tres parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente.

Cobertura de roble. En esta cobertura se nota la tendencia a disminuir la persistencia de la repelencia al agua en sentido descendente en la vertiente, en todas las condiciones de medida del WDPT: en la parcela superior son más abundantes las muestras de mayores valores de persistencia, por condición

de secado, que en la intermedia y en ésta más que en la inferior. También aquí el comportamiento de la distribución de la persistencia de la repelencia al agua es diferencial, dependiendo de la posición de la parcela en la vertiente y dentro de cada parcela (Figura 4).

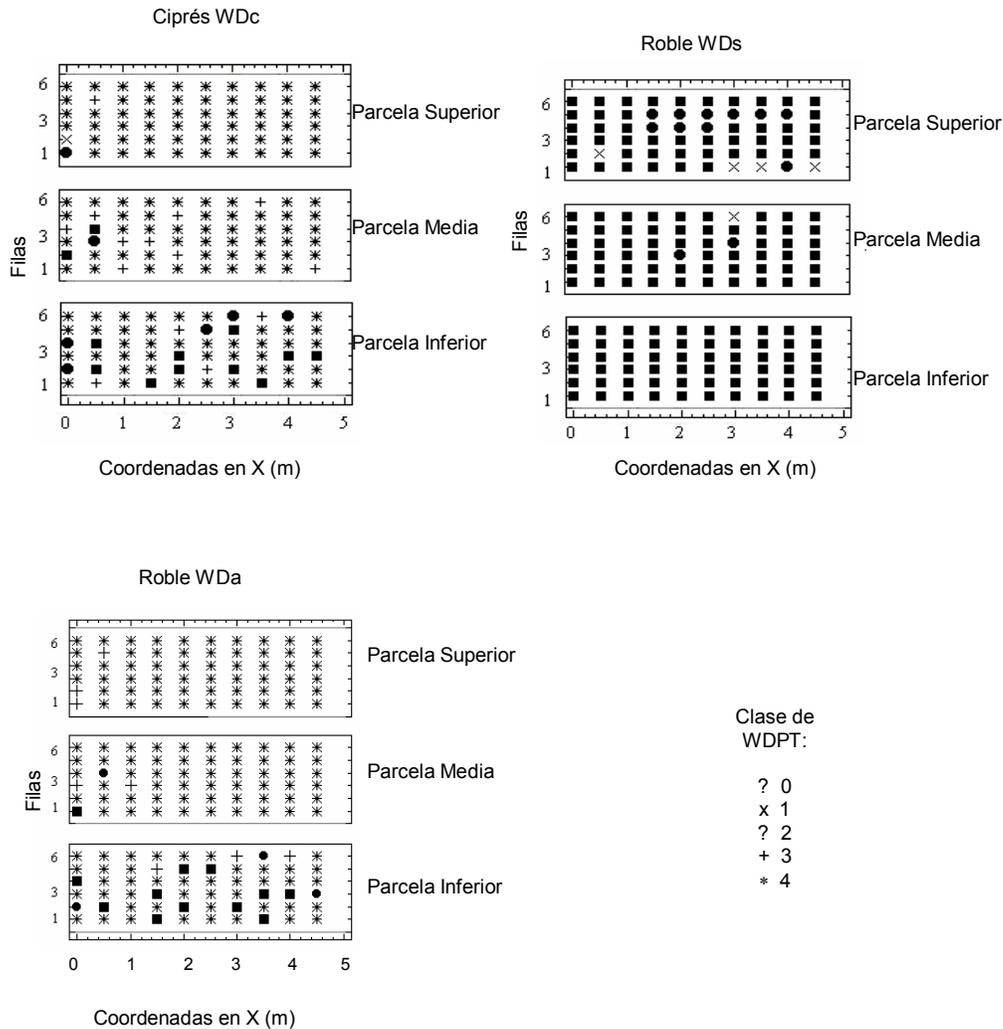


Figura 4. Distribución de las clases de WDPT medidas en tres condiciones de humedad de las muestras, en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura de roble, en tres parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente.

Como se discutió para la cobertura de ciprés, con la de roble también puede estar sucediendo que el comportamiento diferencial observado en la repelencia al agua esté mostrando variaciones importantes en la composición y distribución del humus que se está acumulando en estos suelos y/o en la interacción de ese humus con la fracción inorgánica de los mismos, lo que a su vez puede estar generando diferencias marcadas en el contenido de humedad que pueden acumular puntualmente los suelos, así como procesos de translocación y/o de erosión de material orgánico a lo largo de las vertientes, también diferenciales, que condicionan la expresión de la repelencia al agua en los sitios estudiados.

Comportamiento de la humedad del suelo en las dos coberturas. En la Tabla 2 se presentan los principales estadísticos que caracterizaron el contenido de

humedad gravimétrico del suelo, tanto en condiciones de campo como cuando fue dejado al aire por dos días, luego de ser secado al horno a 105°C, bajo las dos coberturas vegetales estudiadas.

En la Tabla 2 se aprecian diferencias importantes en el contenido de humedad que presentaron los suelos en campo, entre las dos coberturas vegetales. Dichas diferencias prácticamente casi desaparecieron cuando los suelos fueron secados en horno a 105°C y luego equilibrados con la humedad ambiente durante dos días. Se presenta la tendencia a que los suelos bajo cobertura de roble retengan mayor cantidad promedio de agua que los de ciprés, así como que también en roble se presenten los contenidos de humedad más extremos, tanto máximo como mínimo, hechos que podrían estar relacionados con la distribución de muestras que se presenta en la Figura 5.

Tabla 2. Comportamiento de la humedad en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés y roble (con base en 180 muestras de cada cobertura) en muestras con humedad de campo (Hc) y equilibradas dos días al aire después de secadas al horno a 105 °C (ha).

Estadístico	Cobertura de Ciprés		Cobertura de Roble	
	Hc	ha	Hc	ha
Promedio	92,42	10,09	147,66	10,16
Desviación estándar	21,75	2,25	51,50	3,08
Valor mínimo	48,60	6,39	49,41	4,36
Valor máximo	161,56	18,96	465,66	27,27
Rango	112,96	12,57	416,25	22,91
Cuartil Inferior	76,27	8,53	114,69	8,51
Cuartil Superior	107,69	12,08	166,26	11,07
Simetría estandarizada	2,1	6,167	13,49	12,31
Kurtosis estandarizada	-0,06	3,75	26,00	22,42
Coeficiente de variación (%)	23,53	22,28	34,88	30,28

Para tratar de esclarecer un poco la relación planteada en el párrafo anterior, se elaboraron las gráficas de distribución del contenido de humedad en cada clase de persistencia de la repelencia al agua que se presentan en la Figura 5. Estas gráficas ponen de manifiesto las respuestas diferenciales entre suelos y coberturas que ya se han hecho notar en apartes anteriores. Nótese, además, la gran amplitud del rango de humedades que se presenta en varias Clases de WDPT,

en ambas coberturas, lo que hace difícil que se pueda establecer una relación entre la humedad y la repelencia al agua en estos suelos. Al comportamiento descrito puede estar ayudando el hecho de que en estos análisis se hayan incluido las muestras de las tres parcelas de muestreo por cobertura, con lo cual puede haberse aumentado la variabilidad en dichas propiedades y generado, por lo menos parte de las respuestas diferenciales observadas.

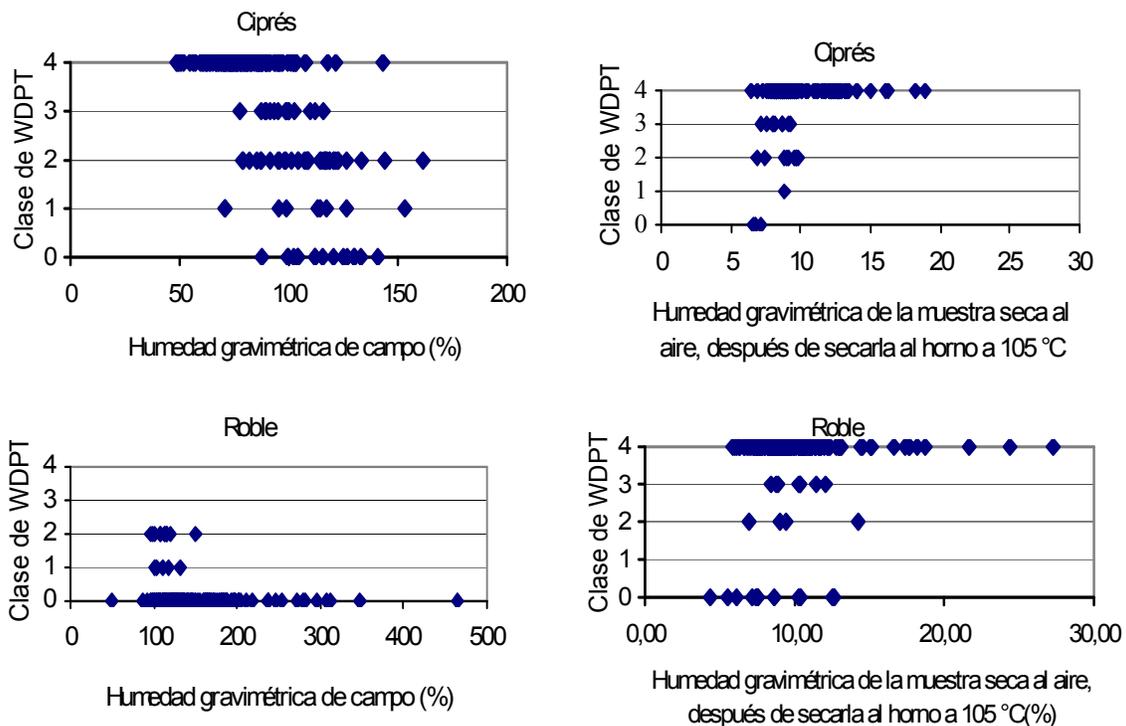


Figura 5. Distribución de la humedad en las diferentes clases de persistencia de la repelencia al agua en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciperis y de roble, con diferentes condiciones de secado de las muestras.

Los resultados de la Tabla 3 exponen un comportamiento contradictorio en el contenido de humedad de los

suelos pues se aprecia la tendencia a disminuir el contenido promedio de humedad en el suelo, a medida que

aumenta su persistencia en la repelencia al agua, cuando el WDPT se evalúa en muestras con humedad de campo pero esa tendencia se invierte

cuando la determinación se hace con la muestras secas al aire; esto podría estar evidenciando un fuerte efecto de histéresis en estos suelos.

Tabla 3. Comportamiento de la humedad en las diferentes clases de WDPT en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés y roble, con diferentes condiciones de secado de las muestras.

Clase de WDPT	Ciprés					
	Hc			Ha		
	n	Promedio \pm desviación estándar	Rango	n	Promedio \pm desviación estándar	Rango
0	16	115,15 \pm 14,93	53,04	3	6,83 \pm 0,27	0,5
1	9	106,62 \pm 26,30	82,47	1	8,76	-
2	38	109,72 \pm 17,51	82,9	9	8,87 \pm 1,02	2,92
3	15	97,40 \pm 10,11	38,17	9	8,28 \pm 0,69	2,09
4	102	80,43 \pm 16,21	94,53	158	10,34 \pm 2,27	12,57
	Roble					
	Hc			Ha		
	n	Promedio \pm desviación estándar	Rango	n	Promedio \pm desviación estándar	Rango
0	163	151,32 \pm 52,65	416,25	12	8,33 \pm 2,63	8,29
1	5	112,28 \pm 11,89	30,08	-	-	-
2	12	112,75 \pm 14,12	55,32	4	9,89 \pm 3,1	7,32
3	-	-	-	8	10,05 \pm 1,3	3,62
4	-	-	-	156	10,31 \pm 3,14	21,41

Humedad crítica y persistencia de la repelencia al agua en el suelo. Al implementar la metodología seguida por Dekker *et al.* (2001), con el fin de definir la zona de transición de la humedad crítica del suelo en las diferentes parcelas, se elaboraron las gráficas que se presentan en la Figura 6, en las cuales puede destacarse que:

- En ninguna parcela se puede definir ni un valor crítico ni una zona de transición de la humedad que establezcan un límite tajante para la presencia de suelos repelentes al agua y de suelos humectables en las dos condiciones de humedad estudiadas.

- En la mayoría las parcelas en las que es posible establecer una zona de transición de la humedad crítica del suelo, ésta se establece para que los suelos expresen la repelencia al agua, es decir, las muestras que quedan por fuera de la zona de transición presentan alguna clase de repelencia al agua. Sólo en la parcela superior y media de roble, al definir la zona de transición se establece el límite para las muestras humectables, con la humedad de campo, es decir, las muestras que quedan por fuera de la zona de transición son humectables: pertenecen a la Clase 0 de WDPT.

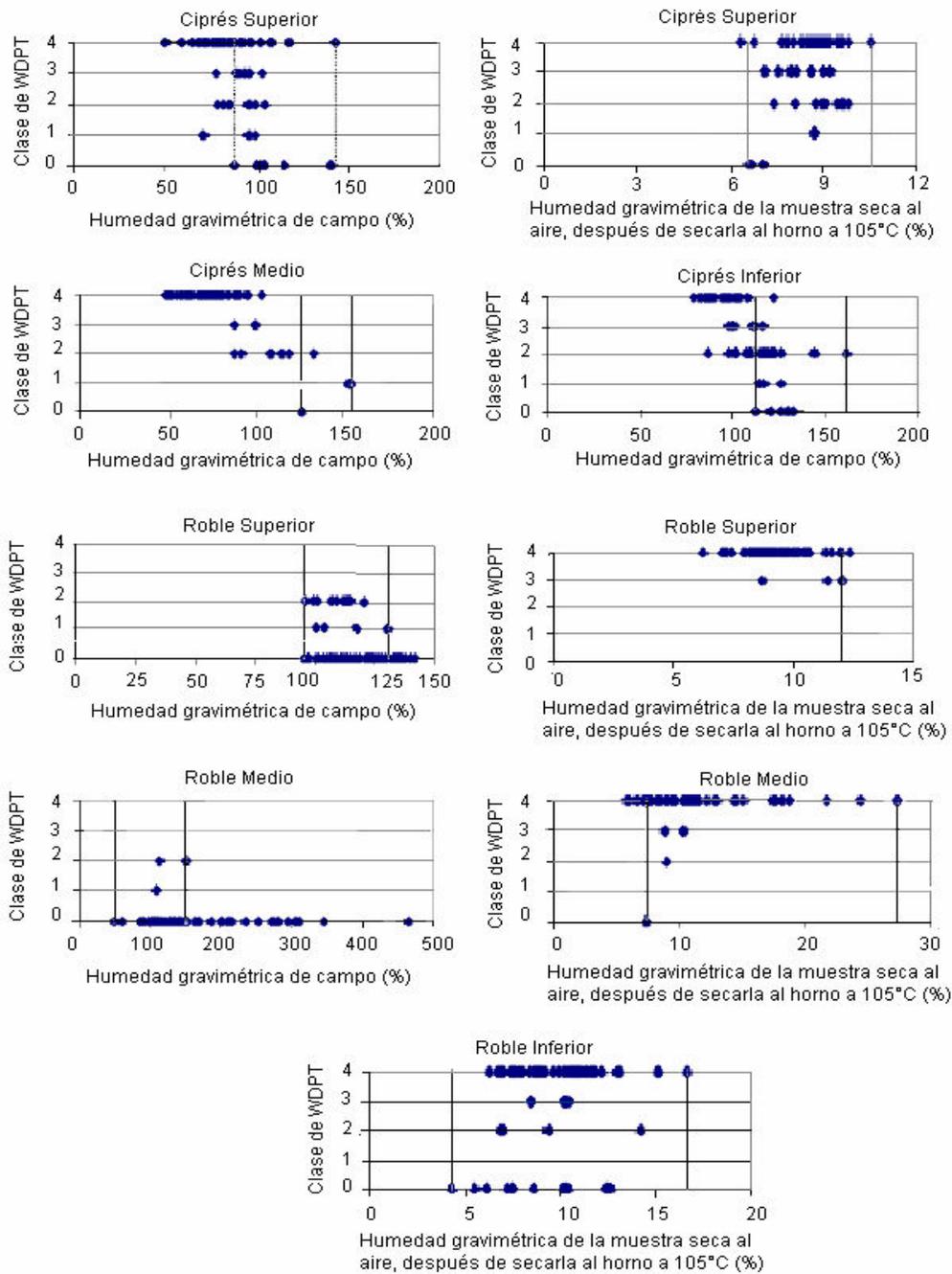


Figura 6. Distribución de la humedad en las diferentes clases de persistencia de la repelencia al agua en parcelas de andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés y de roble, con diferentes condiciones de secado de las muestras.

Resultados muy similares a los encontrados en este trabajo obtuvo Jaramillo (2005), en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, bajo cobertura de *Pinus patula*, en varios transectos muestreados a diferentes profundidades. El comportamiento observado pone de manifiesto, nuevamente, la poca relación que se presenta en los andisoles estudiados, entre el contenido de humedad y la repelencia al agua en ellos, contrario a la relación más estable que han observado otros investigadores como Dekker *et al.* (2001), posiblemente debido a que el tipo de suelos que ellos utilizaron era muy diferente al de esta investigación. También en estas relaciones se presentan comportamientos diferenciales entre parcelas y coberturas, confirmándose que la respuesta de los suelos a la repelencia al agua es bastante específica y particular en cada sitio de observación, lo que hace que la detección y manejo de dicho fenómeno sea bastante difícil.

Relación humedad – persistencia de la repelencia al agua, por cobertura.

Al observar la información de la Tabla 2 y de las gráficas de la Figura 6, donde se insinúa una relación entre la humedad del suelo y la manifestación de la repelencia al agua en él, se hizo un análisis de regresión logística relacionando cada clase de WDPT con el contenido de humedad gravimétrico de las muestras pertenecientes a ellas, en primer lugar por el tipo de cobertura vegetal (Tabla 4 y Figuras 7 y 8) y luego, para cada una de las parcelas dentro de cada cobertura (Tabla 5 y Figuras 9 y 10), para tratar de confirmar si se presenta o no relación entre esas dos

propiedades, sugeridas por varios investigadores pero aún sin confirmar plenamente. El análisis de regresión logística fue seleccionado debido a que la variable respuesta (clase de WDPT) está expresada en forma categórica.

Antes de llevar a cabo las regresiones logísticas se revisó y evaluó la información disponible para hacerlas y se encontró que en varias clases de WDPT, bajo ciertas condiciones de secado, se presentaba un número muy bajo de muestras; en estos casos no se tuvo en cuenta esa clase para el análisis de regresión. Para las regresiones por cobertura fueron eliminadas, por dicha razón, las Clases 0 y 1 de WDPT obtenidas en muestras provenientes de suelos bajo cobertura de ciprés, secas al aire después de haber sido secadas al horno a 105 °C, así como la Clase 1 de muestras tomadas bajo cobertura de roble y evaluadas con la humedad de campo y las Clases 2 y 3 de suelos, también bajo roble, cuyo WDPT se determinó en muestras secadas al aire, después de haber sido secadas al horno a 105°C.

Téngase en cuenta que, según el procedimiento descrito en el párrafo anterior, la regresión establece la probabilidad de que una muestra de suelo que tenga un determinado contenido de humedad presente una clase de WDPT en particular, comparada con otras clases posibles en cada caso. Como se indicó anteriormente, en la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de regresión hecho por cobertura vegetal, es decir, agrupando las muestras de las parcelas de la misma cobertura.

Tabla 4. Análisis de regresión logística entre diferentes clases de persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andiosoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés y roble, con diferentes condiciones de secado de las muestras.

Factor *	Variable dependiente (Clase de WDPT)	Coeficiente de la variable independiente (α_1)	Error Estándar del coeficiente de la variable independiente	Chi ² del coeficiente de la variable independiente	Valor p de Chi ²	Nivel de significancia de Chi ²	OR (Odds Ratio)	Intervalo de confianza para OR		% de la "deviance" ** explicado por el modelo
								Límite Inferior	Límite Superior	
Ciprés										
	0	0,0538	0,0138	18,7390	0,0000	$P < 0,001$	1,0553	1,0269	1,0845	13,64
	1	0,0296	0,0151	3,8415	0,0500	$P < 0,05$	1,0301	0,9998	1,0612	-
Hc	2	0,0522	0,0106	31,6696	0,0000	$P < 0,001$	1,0536	1,0312	1,0759	14,91
	3	0,0112	0,0121	0,8431	0,3585	No	1,0113	0,9874	1,0357	-
	4	-0,0975	0,0144	90,2217	0,0000	$P < 0,001$	0,9071	0,8818	0,9332	35,00
	2	-0,4373	0,2542	4,2184	0,0400	$P < 0,05$	0,6458	0,3911	1,0665	0,30
Ha	3	-0,9667	0,3875	11,2360	0,0008	$P < 0,001$	0,3803	0,1770	0,8172	10,18
	4	0,6962	0,2368	14,9085	0,0001	$P < 0,001$	2,0061	1,2570	3,2016	9,38
Roble										
Hc	0	0,0428	0,0153	12,8130	0,0003	$P < 0,001$	1,0437	1,0126	1,0758	10,07
Ha	4	0,4129	0,1756	7,2763	0,0070	$P < 0,01$	1,5112	1,0685	2,1373	3,78

* Hc : Muestras con la humedad de campo

Ha : Muestras con humedad estabilizada al aire durante dos días después de haber sido secadas al horno a 105 °C

** Puede traducirse como "desviación" aunque no se acostumbra hacerlo

Humedad crítica y repelencia al agua.....

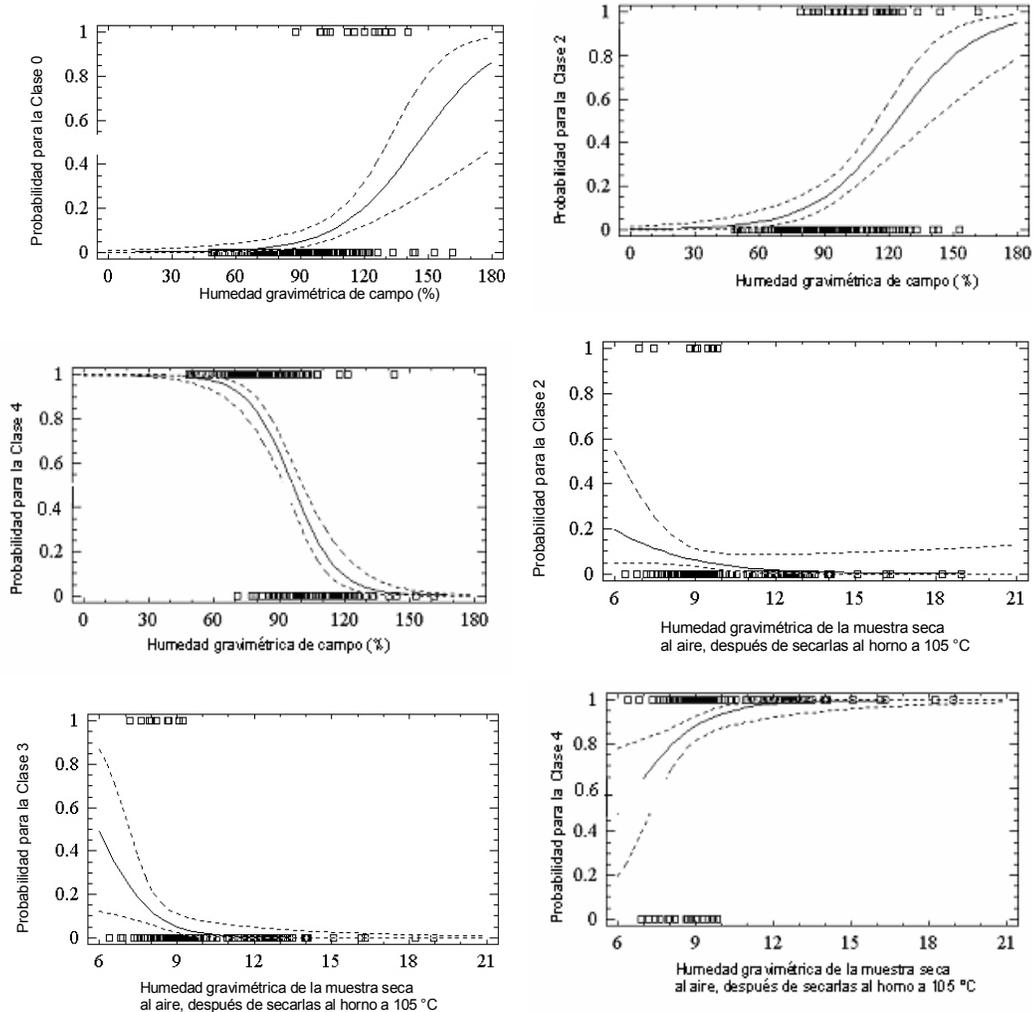


Figura 7. Tendencias de la regresión logística entre diferentes clases de persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés, con diferentes condiciones de secado de las muestras. (Las líneas punteadas muestran los límites de confianza al 95%).

En los resultados de la Tabla 4 se observa que, en buena parte de las clases de WDPT que tuvieron una cantidad de muestras suficientes para hacer la regresión se presentó un modelo significativo estadísticamente que relacionó la persistencia de la repelencia al agua con el contenido de

humedad gravimétrico de las muestras. Los niveles de significancia de la prueba de χ^2 muestran que la mayoría de los coeficientes de la variable independiente (α_1) fueron significativamente diferentes de cero y, por lo tanto, la OR tuvo valores diferentes de 1, presentándose relación

entre las variables estudiadas. Los valores de OR fueron, en la mayoría de los casos mayores de 1, indicando que hubo una relación positiva entre dichas variables. En general, a pesar de presentarse modelos significativos estadísticamente, el poder explicativo de los mismos fue muy bajo.

Abraira (2005) dice que si el intervalo de confianza del coeficiente de la variable independiente incluye el valor de 1, no hay una relación significativa entre las variables analizadas; según este criterio, pueden excluirse las relaciones significativas obtenidas entre Hc y la Clase 1 de WDPT y entre Ha y la Clase 2 de WDPT, ambas bajo cobertura de ciprés.

En las regresiones hechas con muestras tomadas bajo cobertura de ciprés, las relaciones significativas encontradas entre Hc y las Clases 0, 2 y 4 de WDPT, así como las obtenidas en roble entre Hc y la Clase 0 de WDPT (comparada

sólo con la Clase 2), representan el comportamiento teórico normal entre esas dos variables: a mayor contenido de humedad, mayor probabilidad de que la persistencia de la repelencia al agua en el suelo sea menor (Figura 7), como lo han observado, en otros tipos de suelo, Dekker y Ritsema (2000); Dekker *et al.* (2001); Doerr y Thomas (2000) y; en andisoles con cobertura de *Pinus patula*, Jaramillo (2005) y Vanegas (2003) y en andisoles de páramo ecuatoriano, Poulenard *et al.* (2004), bajo diversas condiciones de medida del WDPT.

Contrario a lo expuesto en el párrafo anterior, el tipo de relaciones obtenidas entre Ha y las Clases 3 y 4 de WDPT en ciprés, así como la de Ha y la Clase 4 en roble (comparada sólo con la Clase 0 Tabla 4), confirman el comportamiento distorsionado de la persistencia de la repelencia al agua con respecto al contenido de humedad del suelo mencionado en la Tabla 3.

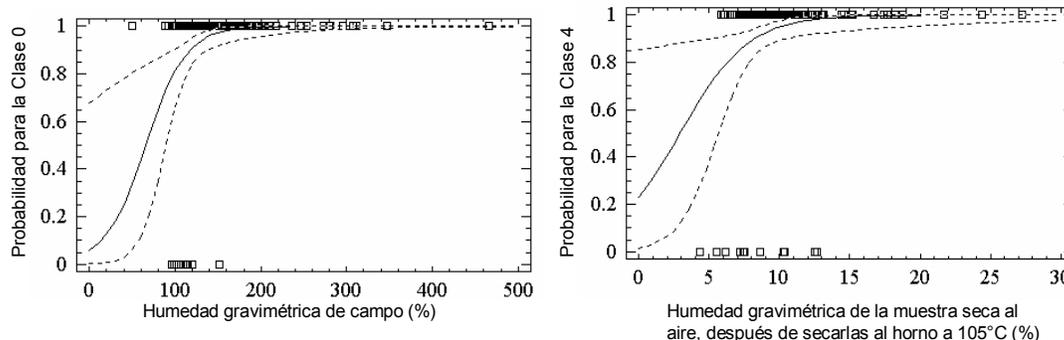


Figura 8. Tendencias de la regresión logística entre diferentes clases de persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de roble, con diferentes condiciones de secado de las muestras. (Las líneas punteadas muestran los límites de confianza al 95%).

Si se observa el comportamiento de los intervalos de confianza al 95% para varias relaciones en las gráficas de las Figuras 7 y 8, (gráfica Ha – probabilidad para la Clase 3 en ciprés y similares) puede apreciarse una fuerte tendencia a ampliarse su valor en uno de los extremos de ellas, situación que no permite resolver el modelo y, por tanto, la relación que él representa; lo anterior puede deberse a un número insuficiente de muestras o a la presencia de valores influyentes, por lo que las relaciones analizadas deben ser omitidas como relaciones relevantes entre el contenido de humedad y las clases de WDPT estudiadas en los casos citados.

De lo expuesto anteriormente puede decirse que, en este caso, sólo hay una relación consistente y más o menos bien definida y confiable entre la humedad y la persistencia de la repelencia al agua y es la obtenida entre la humedad de campo y la probabilidad de que las muestras pertenezcan a la Clase 4 de WDPT, bajo cobertura de ciprés; las otras relaciones encontradas tienen muy bajo poder de asociación entre las variables y se ubican de manera muy sesgada dentro de los valores de humedad encontrados, indicando que su importancia se restringe a un corto rango de valores de la variable independiente dentro de todo el rango de valores observados.

Relación humedad – persistencia de la repelencia al agua, por parcela dentro de cada cobertura. Teniendo en cuenta las pocas y débiles relaciones humedad – persistencia de la repelencia al agua obtenidas con la cobertura vegetal, se consideró oportuno hacer regresiones logísticas por parcelas dentro de cada cobertura, con el fin de reducir el efecto que pudiera tener

el desbalance en el número de muestras por clase de WDPT, originado en las respuestas diferenciales de cada sitio de muestreo. Para tal efecto se siguieron los mismos procedimientos que se expusieron en el título anterior. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 5.

Al analizar por separado cada parcela, por cobertura, sólo se obtiene una mejora importante en las probabilidades predictivas del modelo en 2 situaciones: con la Clase 4 en las parcelas media e inferior de ciprés, con muestras a humedad de campo. En los demás casos o no hay mejora o el modelo obtenido tiene menor capacidad predictiva que los modelos generalizados para la cobertura vegetal correspondiente. Es notorio el hecho de que al hacer el análisis por parcela, bajo cobertura de ciprés, no se obtiene ninguna relación significativa entre la humedad de las muestras equilibradas al aire después de haber sido secadas al horno a 105°C y la persistencia de la repelencia al agua, confirmándose que el agrupamiento de todas las muestras de una misma cobertura vegetal puede generar comportamientos no reproducibles con muestras de la misma cobertura pero tomadas bajo condiciones más controladas. Esto implica que las relaciones generalizadas que se obtuvieron para cada cobertura no son estables y que se deben tomar con precaución, sobre todo si se quieren hacer predicciones con los modelos establecidos.

Los bajos porcentajes de explicación que dan los modelos obtenidos pueden sustentar la anterior recomendación.

Tabla 5. Análisis de regresión logística entre la persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés y roble, en diferentes parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente y con diferentes condiciones de secado de las muestras.

Factor *	Parcela	Variable dependiente (Clase de WDPT)	Coeficiente de la variable independiente (α_1)	Error Estándar del coeficiente de la variable independiente	Chi ² del coeficiente de la variable independiente	Valor p de Chi ²	Nivel de significancia de Chi ²	OR (Odds Ratio)	Intervalo de confianza para OR		% de la "deviance" ** explicado por el modelo
									Límite Inferior	Límite Superior	
Ciprés											
Hc	Superior	0	0,07348	0,02784	9,97325	0,0016	P < 0,01	1,0763	1,0179	1,1379	12,67
	Media	4	-0,04969	0,02027	7,73162	0,0054	P < 0,01	0,9515	0,9137	0,9909	4,50
Ha	Superior	0	0,06536	0,02926	6,36446	0,0116	P < 0,05	1,0675	1,0068	1,1319	5,46
	Inferior	2	0,06314	0,02210	10,88590	0,0010	P < 0,01	1,0652	1,0191	1,1134	8,37
Hc	Superior	0	-0,18025	0,04396	40,01150	0,0000	P < 0,001	0,8351	0,7647	0,9119	45,66
	Inferior	4									
Roble											
Hc	Superior	0	0,0858	0,0373	6,7942	0,0091	P < 0,01	1,0896	1,0112	1,1741	5,31
	Inferior	4	0,4128	0,1707	7,0162	0,0081	P < 0,01	1,5111	1,0728	2,1284	5,53

* Hc : Muestras con la humedad de campo

Ha : Muestras con humedad estabilizada al aire durante dos días después de haber sido secadas al horno a 105 °C

** Puede traducirse como "desviación" aunque no se acostumbra hacerlo

Humedad crítica y repelencia al agua.....

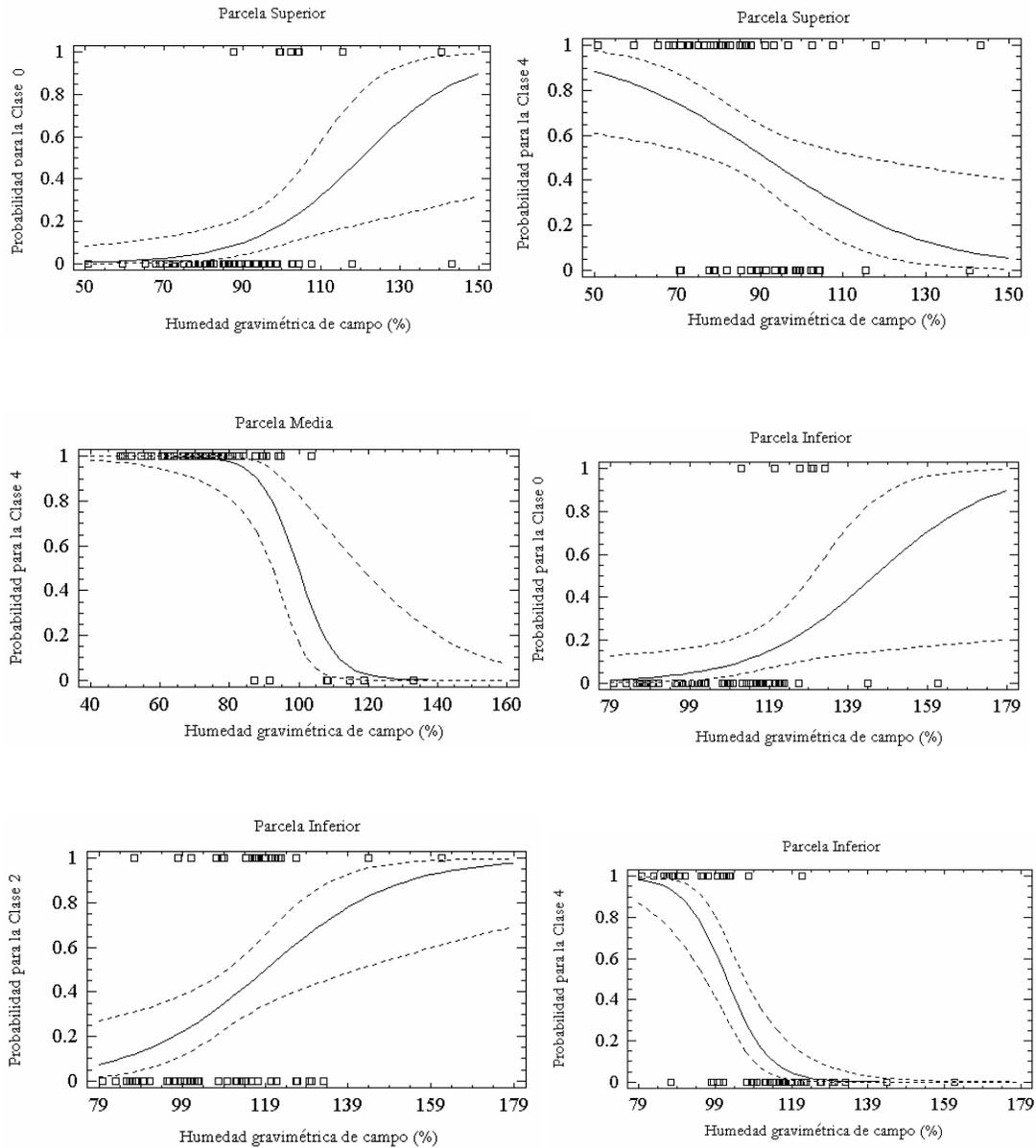


Figura 9. Tendencias de la regresión logística entre la persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de ciprés, en tres parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente y con diferentes condiciones de secado de las muestras. (Las líneas punteadas muestran los límites de confianza al 95%).

El tipo de relación obtenido en este análisis conserva el mismo signo que el que se obtuvo en las relaciones generalizadas para la cobertura por lo que el comportamiento observado aquí puede interpretarse como se hizo en el título anterior (Figuras 9 y 10). La forma de las gráficas obtenidas presenta un comportamiento muy similar a sus equivalentes generalizadas para la cobertura (Figuras 7 y 8) en lo referente a la amplitud de los límites de confianza al 95% y la ubicación sesgada de las curvas. Además, las gráficas obtenidas entre Hc y la probabilidad de la

Clase 4 de WDPT en las parcelas de ciprés presentan un comportamiento diferencial entre ellas y sólo en la parcela inferior se obtiene una gráfica con comportamiento similar al de la gráfica Hc – probabilidad de la Clase 4 generalizada para la cobertura vegetal de ciprés (Figura 7). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con las regresiones logísticas no es recomendable hacer modelos generalizados por cobertura vegetal pues cada parcela, aún dentro de la misma vertiente, tiene diferentes relaciones entre la humedad del suelo y su repelencia al agua.

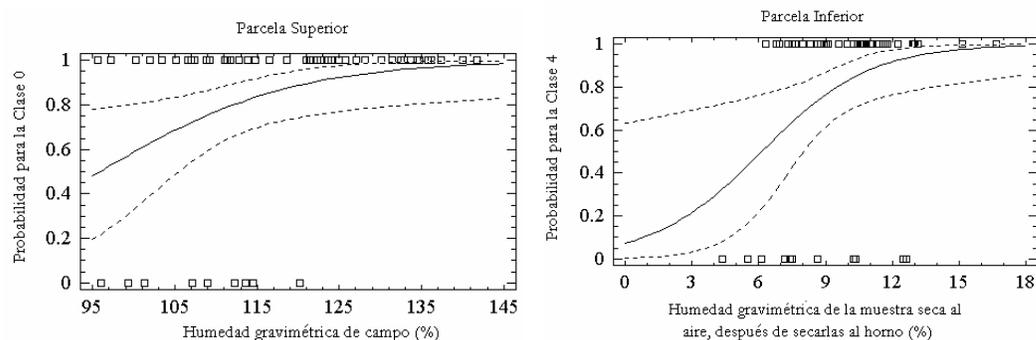


Figura 10. Tendencias de la regresión logística entre la persistencia de la repelencia al agua y el contenido de humedad gravimétrico en andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Medellín, Colombia, bajo cobertura vegetal de roble, en dos parcelas ubicadas a lo largo de una vertiente y con diferentes condiciones de secado de las muestras. (Las líneas punteadas muestran los límites de confianza al 95%).

CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha comprobado que los andisoles estudiados tienen una alta capacidad de almacenar agua en campo, aún cuando presentan fuerte repelencia al agua en esta condición. Además, que bajo cobertura de ciprés se presenta mayor cantidad de muestras repelentes al agua que bajo cobertura de roble.

Tanto la repelencia el agua como el contenido de humedad de los suelos presentan comportamiento diferencial entre coberturas y entre ubicación de la parcela de muestreo a lo largo de una misma vertiente, dentro de cada cobertura vegetal.

En términos generales no se pudo establecer una zona crítica de humedad

ni en las parcelas de muestreo individuales, ni en la generalización hecha para cada cobertura vegetal.

Mediante el uso de la regresión logística no se pudieron establecer relaciones estables entre el contenido de humedad y la persistencia de la repelencia al agua en los suelos estudiados ni en forma general para la cobertura vegetal ni en forma individual para cada parcela dentro de cada cobertura.

Las pocas relaciones significativas obtenidas tuvieron un poder de asociación entre las variables tan bajo y unos límites de confianza tan amplios que no permiten aseverar que hay una relación relevante entre el contenido de humedad y la repelencia al agua en los andisoles estudiados, en ninguna de las dos coberturas vegetales y en ninguna de las dos condiciones de humedad de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

Abraira, V. s.f. Modelos de regresión logística. Hospital Ramón y Cajal. Unidad de Bioestadística Clínica. En: http://www.hrc.es/investigación/bioest/M_docente.html.; consulta: Julio 2005.

Bland, J.M. y D.G. Altman. 2000. Notas de estadística: Razón de desigualdad (the odds ratio). En: <http://patoral.umayor.cl>; consulta: Julio 2005.

Dekker, L.W. and P.D. Jungerius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena. Suppl.* 18:173-183.

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

Dekker, L.W. 1998. Moisture variability resulting from water repellency in dutch soils. Doctoral Thesis. Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 240 p.

Dekker, L.W. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hydrology* 231/232:148-164.

Dekker, L.W., S.H. Doerr, K. Oostindie, A. K. Ziogas and C.J. Ritsema. 2001. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65 (6):1667-1674.

Doerr, S. H. and A. D. Thomas. 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *J. Hydrology* (231/232):134-147.

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

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

- González, B.J. 2003. Introducción al modelo de regresión logística. En: <http://www.labmat.puc.cl>; consulta: Julio 2005.
- Jaramillo, J.D.F. 1989. Reconocimiento de suelos con fines recreacionales y agropecuarios en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas. Empresas Públicas de Medellín. 67 p.
- Jaramillo, J.D.F. y F.E. Herrón. 1991. Evaluación de la repelencia al agua de algunos andisoles de Antioquia bajo cobertura de *Pinus patula*. Acta Agr. 41(4):79-85.
- Jaramillo, J.D.F. 1992. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus patula* y la hidrofobicidad en algunos andisoles de Antioquia. Tesis de Maestría en Suelos y Aguas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 95 p.
- Jaramillo, J.D.F. 1996. Algunos estudios sobre repelencia al agua en andisoles de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 311 p.
- Jaramillo, J.D.F. 2003. Efecto de dos temperaturas de secado del suelo sobre la repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. Informe de investigación. Escuela de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 36 p.
- Jaramillo, J.D.F. 2004. Repelencia al agua en suelos: con énfasis en andisoles de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 197 p.
- Jaramillo, J.D.F. 2005. Humedad crítica y repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 58(2):2893-2906.
- Molinero, L.M. 2003. La regresión logística I. En: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/tutoriales/EpZkpuFEZVzUTWILrV.php>; consulta: Julio 2005.
- Poulenard, J., J.C. Michel, F. Bartoli, J.M. Portal, and P. Podwojewski. 2004. Water repellency of volcanic ash soils from Ecuadorian páramo: effect of water content and characteristics of hydrophobic organic matter. Eur. J. Soil Sci. 55(3):487-496.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker and A.W.J. Heijs. 1997. Three – dimensional fingered flow patterns in a water repellent sandy field soil. Soil Sci. 162(2):79-90.
- Vanegas, H.A. 2003. Efecto de la temperatura de secado de andisoles bajo dos coberturas vegetales sobre el grado de hidrofobicidad que desarrollan. Trabajo de grado Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 61p.