

# VARIABILIDAD ESPACIAL DEL GRADO DE REPELENCIA AL AGUA EN UN ANDISOL DE ANTIOQUIA BAJO COBERTURA DE *Pinus patula*

Daniel f. Jaramillo J.<sup>1</sup>, Bibiana Caballero M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Geociencias. Calle 59A N° 63-20 Bloque 14 Oficina 238, Medellín. E-mail: djaramal@unal.edu.co

<sup>2</sup>Profesora de Cátedra. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Geociencias. Medellín bbcaball@unal.edu.co

## RESUMEN

En un Andisol de Antioquia, con cobertura de *Pinus patula*, muestreado sistemáticamente con dos intensidades en mallas de 5\*5 m y 1\*1 m, y sometido a varias temperaturas de secado en el laboratorio, se estudió la variabilidad espacial de la severidad de la repelencia al agua. No hubo correlación entre la severidad de la repelencia al agua en una determinada condición de secado y la humedad de la muestra en esa condición, ni entre la severidad y el espesor de la capa de acículas acumulada sobre el suelo.

Al aumentar el secado del suelo aumentó la magnitud de la severidad pero disminuyó su variabilidad. Sólo se presentó dependencia espacial, alta y de rango corto, cuando el suelo se secó a 75 °C o más. En la malla de 1\*1 m, con muestras secadas al aire, se detectó una distribución superficial de la repelencia al agua en parches pequeños.

**Palabras clave:** Geoestadística, Kriging, Porcentaje de etanol, Semivarianza, Severidad de la repelencia al agua.

Recibido: 13 de Abril de 2014. Aceptado: 30 de Junio de 2014.

Received: April 13<sup>th</sup>, 2014. Accepted: June 30<sup>th</sup>, 2014.

## SPACE VARIABILITY FOR THE DEGREE OF WATER REPELLENCY IN AN ANDISOLES WITH *Pinus patula* COVERAGE LOCATED IN ANTIOQUIA

### ABSTRACT

*The spatial variability of the water repellency severity was studied in an Andisol of Antioquia, planted with Pinus patula, sampled systematically with two intensities in grids of 5\*5 m and 1\*1 m, and subjected to several drying temperatures in the laboratory. There was no correlation between the severity of water repellency in a certain condition of drying and moisture of the sample in that condition. No significant statistical correlation was found between the thick of the litter bed accumulated over the soil.*

*When soil drying was increased, the magnitude of severity was also increased but the variability decreased. Only spatial dependence, high and short range, was presented when the soil was dried at 75 °C or more. Superficial distribution of the water repellency in small patches was detected in the grid of 1\*1 m, for air dried samples.*

**Key words:** Geostatistics, Kriging, Percentage of ethanol, Semivariance, Severity of the water repellency.

## 1. INTRODUCCIÓN

La repelencia al agua en el suelo es una función de su química superficial y más específicamente, de la energía libre de la interface sólido-gas en el suelo. El grado de resistencia que opone el suelo al humedecimiento, durante un tiempo de contacto limitado entre él y el agua, se denomina severidad o grado de la repelencia al agua [1] y desde 1981 se evalúa estableciendo la concentración de la solución de etanol que entra al suelo en 10 segundos, expresándola como molaridad: Molarity of Ethanol Droplet, método conocido como MED [2]. [3] cambiaron la manera de definir las concentraciones de la solución de molaridad a porcentaje y redefinieron el grado de repelencia como el menor porcentaje de alcohol de la solución de etanol que penetra en el suelo en 5 segundos o menos. Aparte de la severidad, la repelencia al agua también se mide en términos de persistencia, es decir, el tiempo que tarda en entrar una gota de agua completamente en el suelo: Water Drop Penetration Time (WDPT) [4].

Tanto el grado como la persistencia de la repelencia al agua en el suelo presentan una alta variabilidad, tanto aleatoria como sistemática, y dentro de esta última, temporal y espacial [3], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16].

El fenómeno de la repelencia al agua se presenta frecuentemente en forma de parches, lo que de por sí ya implica una variabilidad (aunque no necesariamente dependencia) espacial de consideración. [17], [12], [18] y [19], encontraron parches con diferentes grados de hidrofobicidad, de centímetros a decímetros, alternando con suelo completamente humectable en Andisoles de Antioquia. [10] describen parches hidrofóbicos de entre 0.03 a 6.4 ha, con una mediana de 0.38 ha, en suelos de Canadá y [15] demostraron que la hidrofobicidad se presentaba en parches desde centimétricos hasta de más de 10 m<sup>2</sup> en suelos sometidos a incendios en Montana y Colorado, USA.

De los primeros trabajos en que se ha cartografiado la variabilidad espacial de la repelencia al agua en suelos están los de [20] y [21], en plantaciones de cítricos de La Florida. Encontraron cuerpos de suelo difíciles de humedecer, de tamaño considerable, alrededor de los árboles que afectaban su producción.

[22], [3], [6], [7], [11], [23] y [8] encontraron que en suelos arenosos de dunas en Holanda, con cobertura herbácea, se presentaba una amplia variación en el WDPT de muestras, tanto superficiales como subsuperficiales, en cortas distancias horizontales y verticales. [3] y [5] tuvieron una alta variabilidad espacial de rango muy corto en los valores de repelencia al agua evaluada con el método del porcentaje de alcohol, en suelos de Holanda.

En Andisoles con cobertura de *Pinus patula*, *Cupressus lusitanica* y *Quercus humboldtii*, [12], [13], [24] y [25] encontraron alta variabilidad espacial en el WDPT, tanto superficial como en profundidad, de rango muy corto (pocos centímetros). También [16] detectaron una alta dependencia espacial en el WDPT medido en Calcic Chernozems sometidos a pastoreo con ovejas y cabras. La hidrofobicidad presentó coeficientes de variación entre 17 % y 58 %, dependió del estado de humedad de las muestras y se correlacionó significativamente con la conductividad hidráulica, la resistencia al corte, con los contenidos de arena, limo y carbono orgánico, y con la densidad aparente. Además, junto con otras variables hidrológicas, la hidrofobicidad fue identificada como una función espacio-temporal compleja.

[10] estudiaron la distribución espacial de la repelencia al agua, hasta 30 cm de profundidad, en suelos afectados por derrames de petróleo, y encontraron una alta variabilidad en los valores de MED, sin que pudieran definir claramente gradientes laterales y/o verticales en ellos.

[26] estudiaron el comportamiento de los valores del MED a medida que se iban alejando del tronco de árboles de eucalipto haciendo las evaluaciones y encontraron que la repelencia al agua disminuía al aumentar la distancia a la planta. Esta tendencia la observaron en las dos profundidades que estudiaron (3 y 8 cm). Además, obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de MED registrados a 5, 40 y 100 cm de distancia del tronco, en las 25 ocasiones en que realizaron las medidas en campo durante un año.

[27] encontraron variabilidad espacial alta en el MED de Oxisoles y Ultisoles de la Amazonia brasilera con cobertura de bosque y de pasto *Brachiaria brizantha*, después de que la cobertura fue sometida a incendio. La hidrofobicidad fue

disminuyendo a medida que aumentaba el tiempo desde el incendio y el cambio fue más rápido en los suelos con pastos que en los de bosque.

En los Andisoles de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas se ha evaluado la variabilidad espacial de la persistencia de la repelencia al agua (WDPT) pero no se ha hecho esta evaluación con la severidad de la misma. Con este trabajo se estudió la dependencia espacial de la severidad de la repelencia al agua, expresada como % de la solución de etanol que penetró en menos de 5 segundos, en un Andisol de dicha cuenca con cobertura de *Pinus patula*, sometido a varias temperaturas de secado en el laboratorio.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Descripción y localización del área de estudio

El estudio se realizó en el lote La Chavarra, localizado en la cuenca hidrográfica de la quebrada Piedras Blancas a 17 km al oriente de Medellín, en las coordenadas planas 1185311 de latitud Norte y 841466 de longitud Oeste. Tiene cobertura vegetal de *Pinus patula* de más de 30 años de edad, una pendiente promedio de 10 % y una capa de acículas de 8 cm en promedio (Figura 1). Los suelos son Andisoles fuertemente ácidos, con bajo contenido de bases y de fósforo, altos en materia orgánica y en aluminio intercambiable, y tienen un bajo nivel de fertilidad. La cuenca tiene 2911 ha, altitudinalmente está ubicada entre los 2340 y 2680 msnm, presenta una precipitación promedio anual de 1815 mm, con distribución bimodal, y una temperatura media anual de 14.7°C [28].

### 2.2. Muestreo

En vista de que la hidrofobicidad se presenta en forma de parches pequeños en la cuenca [17], se hizo un muestreo intensivo del suelo en dos mallas regulares con espaciamiento diferente: una con cuadrícula de 5x5 m, y otra de 1x1 m, incluida en la primera (Figura 1). Con este diseño se tomaron 81 muestras separadas a 5 m, y 121 muestras separadas a 1 m, para un total de 193 muestras (9 pertenecen a las dos mallas simultáneamente). Las muestras se tomaron con barreno de los primeros 10 cm del suelo mineral, inmediatamente debajo de la capa de acículas acumulada en la superficie.

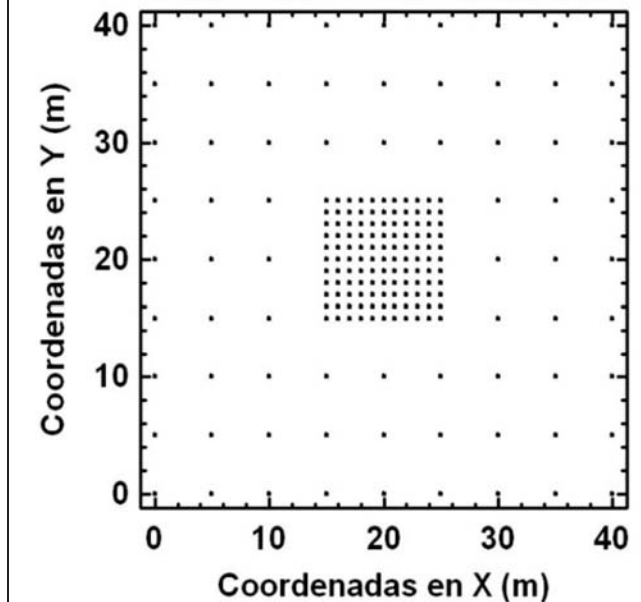


Figura 1. Aspecto general del lote experimental y mallas de muestreo.

### 2.3. Procedimiento

La variable a medir fue la severidad de la repelencia al agua, mediante el método del % de alcohol etílico (PE) de la solución acuosa de éste que penetró en el suelo en 5 segundos o menos. Se prepararon soluciones de etanol con concentraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12.5 y 15% y, en adelante, soluciones con incrementos de 2.5 % de etanol hasta llegar a una concentración de 35 %, con base en volumen [3].

Después de materializar las cuadrículas de muestreo, en cada uno de los sitios seleccionados se procedió a remover la capa de acículas presente

(Figura 1), se midió su espesor (EA) y se hizo una prueba rápida de hidrofobicidad por el método del WDPT, tomando el tiempo promedio de entrada de tres gotas de agua en el suelo como valor de la persistencia de la repelencia al agua. Para esta prueba se tuvo como tiempo máximo de observación 300 segundos y aquellos sitios en donde el agua entró en menos de 5 segundos se consideraron humectables. A continuación se tomó una muestra del suelo con un barreno holandés, la cual se empacó inmediatamente en una bolsa plástica hermética.

Las muestras recolectadas se trajeron al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, se tomó una submuestra para determinar el contenido de humedad gravimétrica de campo (Hc) y el resto de la muestra se dejó secar al aire durante tres días. Una vez que las muestras estuvieron secas al aire se tamizaron a 1 mm [1], se les determinó el contenido de humedad gravimétrica (Ha) y se procedió a determinar el grado de repelencia de cada una seca al aire (PEa), colocando suficiente cantidad de suelo en una caja de Petri y adicionándole gotas de solución de etanol de diferente concentración hasta encontrar aquella que penetró en el suelo en menos de 5 segundos. Después se llevó la muestra al horno, a 30 °C, durante tres días, se retiró del horno y se le determinó el grado de repelencia de la forma en que se indicó anteriormente (PE30). Se tomó una submuestra para determinar el contenido de humedad gravimétrica del suelo seco a 30 °C (H30). Todo el proceso desde el secado al horno descrito se repitió para secar las muestras a 50 °C, 75 °C y 105 °C y determinar en cada una el grado de repelencia (PE50, PE75 y PE105) y la humedad gravimétrica (H50 y H75) correspondientes. La severidad de la repelencia al agua se clasificó de acuerdo con la propuesta hecha por [3] y la cual se presenta en la Tabla 1.

#### 2.4. Análisis estadísticos

Se hicieron análisis exploratorios de los datos obtenidos y se determinaron los estadísticos básicos que caracterizaron las variables estudiadas: media, mediana, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo, coeficiente de variación y simetría. Además, se hicieron análisis de correlación entre todas las variables para establecer posibles relaciones de variación entre ellas.

Tabla 1. Clasificación de la severidad de la repelencia al agua medida por el método del % de etanol, propuesta por [3].

Clase*	Categoría*	Valores del % de etanol en la solución (PE)
1	No repelente	0
2	Ligeramente repelente	1 - 3
3	Moderadamente repelente	4 - 6
4	Fuertemente repelente	7 - 14
5	Severamente repelente	15 - 20
6	Extremadamente repelente	> 20

\* Ni las clases ni los nombres fueron propuestos por los autores de la clasificación; son propuestos por [19].

A todas las variables se les hicieron análisis de variabilidad espacial que incluyeron la confirmación de los supuestos de normalidad en la distribución, mediante el estadístico de Shapiro-Wilk, y de estacionaridad en los datos, con base en una regresión múltiple cuadrática entre la variable medida y las coordenadas de cada punto de la malla [29], [30] y [31]. Se obtuvieron los semivariogramas que modelaron la estructura espacial y se hicieron mapas por interpolación kriging para aquellas variables que presentaron dicha estructura espacial. Los mapas de las variables sin dependencia espacial (modelo nugget) se obtuvieron por interpolación con base en el inverso de la distancia. Todos los análisis descritos se hicieron en las mallas de 5 m y de 1 m, independientemente, con el fin de determinar si hubo efecto de escala en el comportamiento espacial de las variables. Los análisis básicos se hicieron con el programa Statgraphics Plus 5.1 y los de variabilidad espacial con el GS+, versión 9.0.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En condiciones de campo, 156 sitios no mostraron repelencia al agua: presentaron un WDPT < 5 segundos; en 34 sitios se obtuvo un WDPT de 60 segundos y sólo en 3 se manifestó una repelencia fuerte al agua, con un WDPT > 300 segundos. De los 34 sitios que tuvieron WDPT igual a 60 s, 27 se presentaron en la malla de 1 m, y de los 3 cuyo



WDPT fue > 300 s, dos estuvieron en esa misma malla.

Tabla 2. Estadísticos básicos de la severidad de la repelencia al agua en los suelos, sometidos a diferentes condiciones de secado (n = 193).

Estadístico*	PEa	PE30	PE50	PE75	PE105
Promedio	9.02	9.2	9.38	14.62	19.58
Mediana	8.0	8.0	10.0	16.0	20.0
DE	5.45	5.32	5.26	3.94	3.48
CV (%)	60.44	57.83	56.01	26.98	17.8
Mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
Máximo	22.0	22.0	22.0	23.0	28.0
Sesgo	1.66	1.36	1.24	-5.05	-7.3
p de W	1.57E-11	1.77E-10	3.02E-9	5.86E-11	3.33E-16

\* DE: Desviación Estándar. CV: Coeficiente de Variación. p de W: Valor p del estadístico de Shapiro-Wilk para normalidad en la distribución de los datos (si  $p > 0.05$ , la distribución es normal).

Tabla 3. Estadísticos básicos del espesor de la capa de acículas y del contenido de humedad de las muestras en diferentes condiciones de secado.

Estadístico*	EA	Hc	Ha	H30	H50	H75
Promedio	8.01	90.76	24.68	15.41	7.77	3.09
Mediana	7.8	94.83	23.22	15.26	7.72	3.06
DE	2.497	20.41	5.82	1.63	0.88	0.74
CV (%)	31.15	22.49	23.57	10.58	11.31	24.00
Mínimo	1.3	40.65	17.44	11.78	5.22	0.9
Máximo	16.6	127.98	57.1	22.78	10.73	7.23
Sesgo	2.87	-3.83	15.61	4.74	1.33	3.39

\* DE: Desviación Estándar. CV: Coeficiente de Variación.

Según la propuesta de clasificación de la Tabla 1, la mayoría de las muestras estuvieron entre fuerte y extremadamente repelentes al agua, en todos los estados de humedad evaluados (Tabla 2). Además, los coeficientes de variación fueron relativamente altos; hubo dos condiciones de humedad en que la distribución de los valores de PE fue asimétrica (PE75 y PE105) y ninguna de las distribuciones de los PE fue normal. Los contenidos de humedad de las muestras en las diferentes condiciones de secado fueron altos (Tabla 3), lo que coincide con el comportamiento de los Andisoles de la cuenca

estudiados anteriormente [12], [32], [13], [33] y [24]. La capa de acículas fue delgada (Tabla 3), si se compara con el promedio de 18.95 cm obtenido por [17] de 77 sitios medidos en la cuenta.

A medida que se incrementó el secado de las muestras aumentó la severidad general de la repelencia al agua: cuando se secaron a 75 °C, un poco más de la mitad de ellas estuvieron en las clases 5 y 6 de severidad, es decir, se requirieron concentraciones de más de 15 % de etanol en las soluciones para que entraran en el suelo, y a 105 °C, el 93.26 % de los suelos estuvieron en dichas clases (Figura 2). Este comportamiento ya había sido descrito para el WDPT por [12] y por [13].

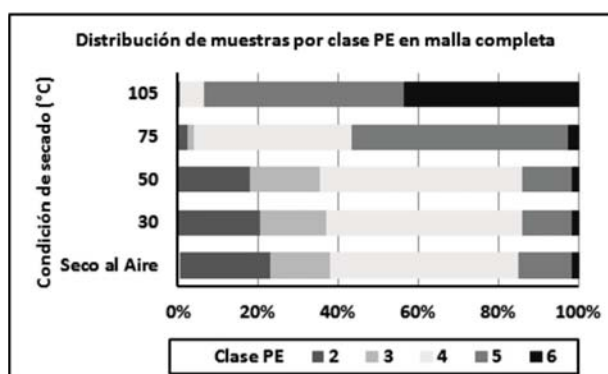


Figura 2. Frecuencia de distribución de las clases de severidad de la repelencia al agua en un Andisol de Antioquia secado a diferentes temperaturas.

Al hacer análisis de correlación entre las variables estudiadas no se encontró relación estadísticamente significativa entre los valores del PE y el contenido de humedad de las muestras, en las diferentes condiciones de secado en que se trabajó, así como tampoco la hubo entre PE y el espesor de la capa de acículas. Esto mismo encontró [17] cuando evaluó la persistencia de la repelencia al agua (WDPT) en la cuenca.

### 3.1. Malla con cuadrícula de 5\*5 m

En general el comportamiento de la severidad de la repelencia al agua evaluada en esta malla fue muy similar al observado en el conjunto total de muestras (Tabla 4). Como se describió anteriormente para el total de las muestras, en este muestreo también al aumentar la intensidad del secado aumentó el promedio de la concentración de etanol para que la solución entrara en el suelo y disminuyó el coeficiente de variación en las medidas. Tampoco se presentó ninguna

distribución normal en el PE y dos valores de él, PE75 y PE105 fueron, además, asimétricos.

En todas las condiciones de secado de las muestras se presentó tendencia espacial entre el respectivo PE y las coordenadas de los puntos de muestreo (resultados no mostrados), por lo que fue necesario hacer el análisis de semivarianza con los residuales de la regresión [29], [30] y [34]. Los resultados del análisis de dependencia espacial se aprecian en la Tabla 5 y la Figura 3.

Tabla 4. Estadísticos básicos de la severidad de la repelencia al agua en los suelos, sometidos a diferentes condiciones de secado (malla de 5\*5 m, n = 81).

Estadístico*	PEa	PE30	PE50	PE75	PE105
Promedio	9.46	9.58	9.9	14.68	19.78
Mediana	10.0	10.0	10.0	16.0	21.0
DE	6.23	6.14	6.03	4.98	4.60
CV (%)	65.91	64.09	60.95	33.91	23.25
Mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
Máximo	22.0	22.0	22.0	23.0	28.0
Sesgo	0.95	0.905	0.617	-3.25	-5.26
p de W	1.36E-5	4.26E-5	2.61E-4	3.77E-5	3.63E-9

\* DE: Desviación Estándar. CV: Coeficiente de Variación. p de W: Valor p del estadístico de Shapiro-Wilk para normalidad en la distribución de los datos (si  $p > 0.05$ , la distribución es normal).

Los resultados de la Tabla 5 muestran que sólo se detectó dependencia espacial en la severidad de la repelencia al agua cuando las muestras se secaron a 75 y a 105 °C y que en las demás condiciones de secado de las muestras la variabilidad fue completamente aleatoria. Además, cuando se presentó dependencia espacial, ésta fue muy alta (C/Sill > 75%), teniendo en cuenta la clasificación de [35].

Los mapas de la Figura 4 muestran que la repelencia al agua en la parcela experimental tiende a ser más severa en la parte inferior derecha, la cual coincide, aproximadamente, con la parte topográficamente más baja de la misma. También se observa que al aumentar la intensidad del secado se incrementa el área afectada por una mayor severidad de la repelencia al agua, efecto notado por [25].

Tabla 5. Análisis de semivarianza de los residuales de la tendencia de la severidad de la repelencia al agua en los suelos, bajo diferentes condiciones de secado (Lag activo = 28.28 m, intervalo lag = 5 m, pares en el lag 1 = 272).

Variable	Modelo	Nugget	Sill	Rango (m)	C*/Sill (%)	R <sup>2</sup> (%)
PEa	Nugget	21.5	21.5	-	0	23.6
PE30	Nugget	20.7	20.7	-	0	36.1
PE50	Nugget	20.88	20.88	-	0	14.5
PE75	Esférico	0.51	12.37	10.08	95.9	81.2
PE105	Esférico	0.72	7.97	10.62	91	87.2

\*C: Variabilidad estructurada.

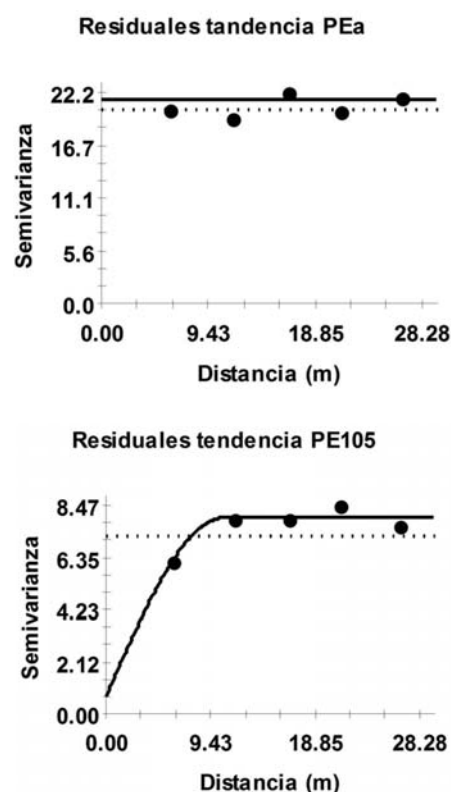


Figura 3. Semivariogramas (seleccionados) de la severidad de la repelencia al agua en muestras de Andisoles tomadas en malla de 5\*5 m, secadas al aire y a 105 °C.

En los mapas de PEa y PE50 (Figura 4) se alcanza a apreciar el desarrollo de parches en la distribución de la severidad de la repelencia al agua, patrón ampliamente documentado para la persistencia de la misma, tanto en la cuenca de Piedras Blancas [17], [12], [36] y [25], como en otros sitios: Holanda [5], Alemania [14] y USA [15]. [10] encontraron el mismo patrón de parches para el MED en suelos afectados por derrames de petróleo en Canadá.

**3.2. Malla con cuadrícula de 1\*1 m**

El comportamiento general de la severidad de la repelencia al agua se mantiene muy similar al descrito para la malla de 5\*5 m, excepto que en la de 1\*1 m, la distribución de los valores de PE105 es simétrica (Tabla 6).

Tabla 6. Estadísticos básicos de la severidad de la repelencia al agua en los suelos, sometidos a diferentes condiciones de secado (malla de 1\*1 m, n = 121).

Estadístico*	PEa	PE30	PE50	PE75	PE105
Promedio	8.69	8.91	9.0	14.59	19.46
Mediana	8.0	8.0	8.0	15.0	20.0
DE	4.74	4.59	4.54	2.95	2.34
CV (%)	54.51	51.5	50.47	20.23	12.03
Mínimo	1.0	1.0	1.0	3.0	14.0
Máximo	20.0	18.0	18.0	20.0	24.0
Sesgo	0.945	0.416	0.565	-3.125	-0.71
p de W	3.56E-5	1.8E-6	4.67E-6	4.376E-8	1.84E-5

\* DE: Desviación Estándar. CV: Coeficiente de Variación. p de W: Valor p del estadístico de Shapiro-Wilk para normalidad en la distribución de los datos (si p > 0.05, la distribución es normal).

En esta malla también se presentó tendencia espacial del PE en todas las condiciones de secado de las muestras y sólo se presentó estructura espacial de la semivarianza en PE105, en las demás medidas de PE toda la variabilidad fue aleatoria (Tabla 7, Figura 5).

Al comparar los mapas producidos con la malla de 1\*1 m (Figura 6), con los de la malla de 5\*5 m (Figura 4), se observan diferencias importantes relacionadas con la escala de muestreo.

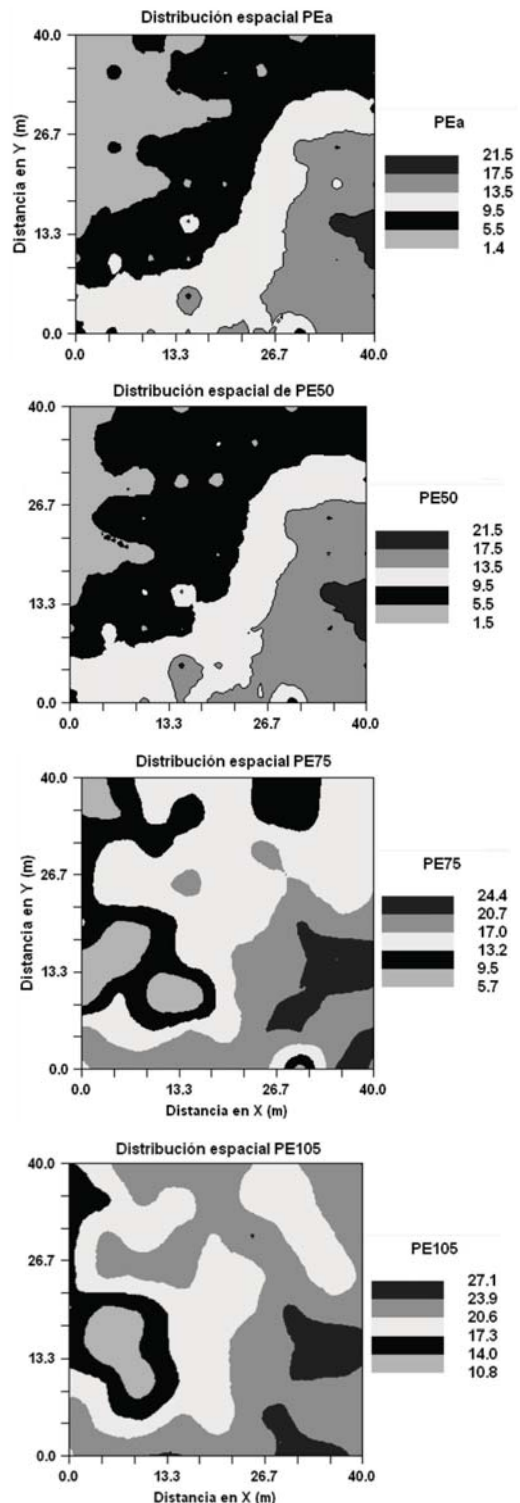
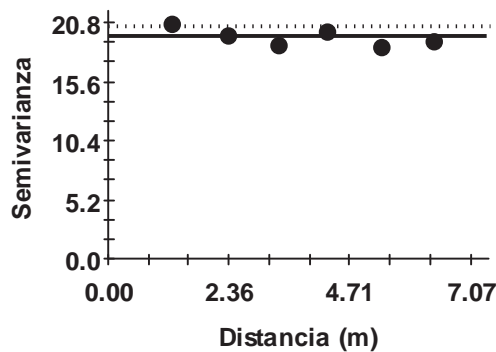


Figura 4. Mapas de isolíneas (seleccionados) de la severidad de la repelencia al agua en Andisoles muestreados en malla de 5\*5 m y sometidos a diferentes condiciones de secado.

Tabla 7. Análisis de semivarianza de los residuales de la tendencia de la severidad de la repelencia al agua en los suelos, bajo diferentes condiciones de secado (Lag activo = 7.07 m, intervalo lag = 1 m, pares en el lag 1 = 420).

Variable	Modelo	Nugget	Sill	Rango (m)	C*/Sill (%)	R <sup>2</sup> (%)
PEa	Nugget	19.64	19.64	-	0	41.5
PE30	Nugget	18.19	18.19	-	0	53.8
PE50	Nugget	17.3	17.3	-	0	29.5
PE75	Nugget	6.22	6.22	-	0	1.1
PE105	Exponencial	0.51	4.67	2.28	89.1	88.5

Residuales tendencia PEa



Residuales tendencia PE105

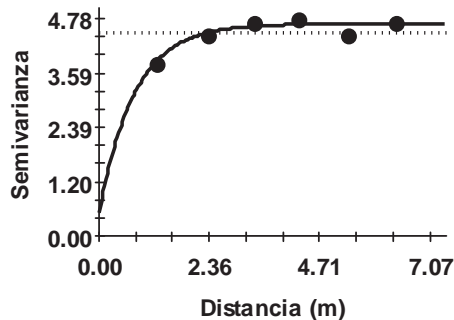


Figura 5. Semivariogramas (seleccionados) de la severidad de la repelencia al agua en muestras de Andisoles tomadas en malla de 1\*1 m, secadas al aire y a 105 °C.

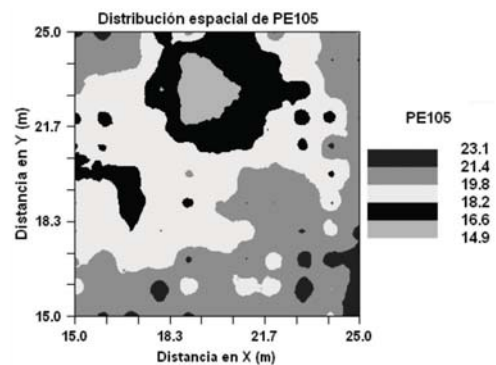
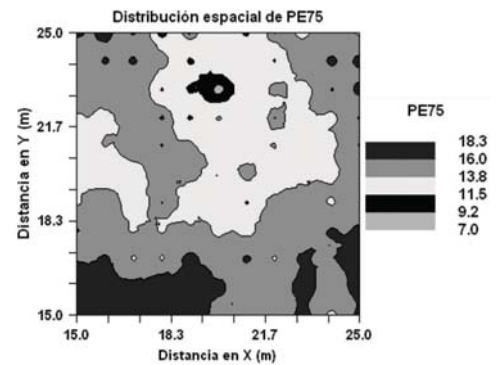
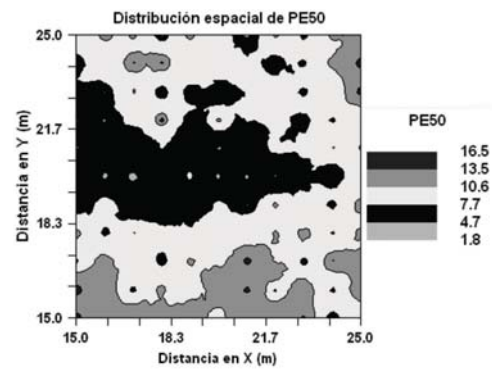
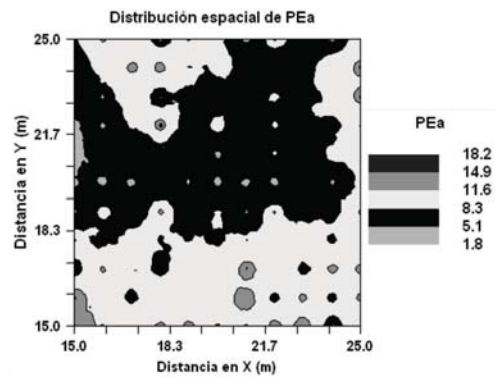


Figura 6. Mapas de isolíneas (seleccionados) de la severidad de la repelencia al agua en Andisoles muestreados en malla de 1\*1 m y sometidos a diferentes condiciones de secado.



En la malla más densa se alcanzó a detectar el patrón de parches típico de la distribución de la repelencia al agua en la cuenca de Piedras Blancas [17], [12], [36] y [25], sobre todo en el mapa de PEa, más cercano a la condición de humedad que puede caracterizar la repelencia del suelo en campo, en época de verano (repelencia real). Claramente hay un efecto de la escala en la configuración estructural de la repelencia al agua que debe ser tenido en cuenta para estudiar este fenómeno, máxime sabiendo que dicha variabilidad puede presentarse a escalas aún de milímetros [36] y [14].

#### 4. CONCLUSIÓN

El comportamiento estructural observado en este trabajo hace pensar en que la severidad de la repelencia al agua en Andisoles con cobertura de *Pinus patula* presenta alta variabilidad, la cual puede ser predominantemente aleatoria, aunque queda la posibilidad de que también sea una variabilidad espacial de rango muy corto, a nivel de centímetros, como se ha observado en el WDPT.

Con métodos sencillos de interpolación como el inverso de la distancia, en una malla densa de muestreo, se puede detectar el patrón de distribución de la severidad superficial del suelo en el campo, en forma de parches.

Sería importante hacer estudios similares al que se presenta, haciendo un muestreo sistemático con mayor densidad para resolver dos aspectos fundamentales: primero, si hay variabilidad espacial de rango muy corto, y segundo, si se puede mejorar la representación cartográfica de la repelencia al agua en el suelo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Roy, J. L. y McGill, W. B. Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test. *Soil Sci.* 167: 83-97. 2002.  
[2] King, P. M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Aust. J. Soil Res.* 19: 275-285. 1981.  
[3] Dekker, L. W. y Ritsema, C. J. How water moves in a water repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour. Res.* 30 (9): 2507-2517. 1994.

[4] Watson, C. L. y Letey, J. Indices for characterizing soil water repellency based upon contact angle - surface tension relationships. *Soil Sci. Soc. Am. P.* 34: 841-844. 1970.  
[5] Dekker, L. W. y Ritsema, C. J. Fingerlike wetting patterns in two water-repellent loam soils. *J. Environ. Qual.* 24: 324-333. 1995.  
[6] Dekker, L. W. y Ritsema, C. J. Preferential flow paths in a water repellent clay soil. *Water Resour. Res.* 32 (5): 1239-1249. 1996.  
[7] Dekker, L. W. y Ritsema, C. J. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hydrol.* 231-232: 148-164. 2000.  
[8] Ritsema, C. J.; Dekker, L. W. y Heijs, A. W. J. Three-dimensional fingered flow patterns in a water repellent sandy field soil. *Soil Sci.* 162: 79-90. 1997.  
[9] Doerr, S. H. y Thomas, A. D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *J. Hydrol.* 231-232: 134-147. 2000.  
[10] Roy, J. L.; McGill, W. B.; Lowen, H. A. y Johnson, R. L. Hydrophobic soils: Site characterization and tests of hypotheses concerning their formation. Final report on PTAC RFP #9 (1999/2000). Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC) – Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) – Environmental Research Advisory Council (ERAC). Alberta. Canadá. 87 p. 2000.  
[11] Dekker, L. W.; Doerr, S. H.; Oostindie, K.; Ziogas, A. K. y Ritsema, C. J. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1667-1674. 2001.  
[12] Jaramillo, J. D. F. Efecto de la temperatura de secado del suelo sobre la repelencia al agua en Andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. Informe de investigación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 36 p. 2003.  
[13] Vanegas, V. H. A. Efecto de la temperatura de secado de Andisoles bajo dos coberturas vegetales sobre el grado de hidrofobicidad que desarrollan. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 61 p. 2003.  
[14] Buczko, U.; Bens, O. y Durner, W. Spatial and temporal variability of water repellency in a Sandy soil contaminated with tar oil and heavy metals. *Journal of Contaminant Hydrology* 88: 249-268. 2006.  
[15] Woods, S. W.; Birkas, A. y Ahl, R. Spatial variability of soil hydrophobicity after wildfires in Montana and Colorado. *Geomorphology* 86 (3-4): 465-479. 2007.

- [16] Zhao, Y.; Peth, S.; Krümmelbein, J.; Horn, R.; Wang, Z.; Steffens, M.; Hoffmann, C. y Peng, X. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modeling* 205: 241-254. 2007.
- [17] Jaramillo, J. D. F. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus patula* y la hidrofobicidad en algunos Andisoles de Antioquia. Tesis Magister en Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 95 p. 1992.
- [18] Jaramillo, J. D. F. Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Rev. Acad. Col. Cienc. Exactas, Físicas y Naturales* 30 (115): 215-232. 2006.
- [19] Jaramillo, J. D. F. Repelencia al agua en Andisoles de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 218 p. 2011.
- [20] Jamison, V. The slow reversible drying of Sandy surface soils beneath citrus trees in Central Florida. *Soil Science Society Proceedings* 7: 36-41. 1942.
- [21] Jamison, V. The penetration of irrigation and rain water into Sandy soils of Central Florida. *Soil Science Society Proceedings* 10: 25-29. 1945.
- [22] Dekker, L. W. y Jungerius, P. D. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* 18: 173-183. 1990.
- [23] Ritsema, C. J. y Dekker, L. W. Distribution flow: A general process in the top layer of water repellent soils. *Water Resour Res.* 31 (5): 1187-1200. 1995.
- [24] Caballero, B. y Jaramillo, D. F. 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). *Rev. Fac. Nal. Agr. Med.* 60 (2): 4001-4024. 2007.
- [25] Jaramillo, J. D. F. y Vanegas, H. A. Efecto de la temperatura de secado sobre el grado y la variabilidad espacial de la repelencia al agua en Andisoles de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Med.* 60: 4025-4035. 2007.
- [26] Keizer, J. J.; Ferreira, A. J. D.; Coelho, C. O. A.; Doerr, S. H.; Malvar, M. C.; Domingues, C. S. P.; Perez, I. M. B.; Ruiz, C. y Ferrari, K. The role of tree stem proximity in the spatial variability of soil water repellency in a eucalypt plantation in coastal Portugal. *Aust. J. Soil Res.* 43: 251-259. 2005.
- [27] Johnson, M. S.; Lehmann, J.; Steenhuis, T. S.; de Oliveira, L. V. y Fernandes, E. C. M. Spatial and temporal variability of soil water repellency of Amazonian pastures. *Aust. J. Soil Res.* 43: 319-326. 2005.
- [28] Jaramillo, J. D. F. Reconocimiento de suelos con fines recreacionales y agropecuarios en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas. Empresas Públicas de Medellín. Medellín. 67 p. 1989.
- [29] Jaramillo, J. D. F. Efecto de la variabilidad sistemática en experimentos de fertilización con frijol. Primera siembra. *Rev. Fac. Nal. Agr. Med.* 58 (1): 2717-2732. 2005.
- [30] Jaramillo, J. D. F. Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Med.* 62: 4907-4921. 2009.
- [31] Diggle, P. J. y Ribeiro Junior, P. J. *Model-based Geostatistics*. New York: Springer. 212 p. 2007.
- [32] Jaramillo, J. D. F. Humedad crítica y repelencia al agua en Andisoles bajo cobertura de *Pinus patula* Schitdl y Cham. *Rev. Fac. Nal. Agr. Med.* 58 (2): 2893-2906. 2005b.
- [33] Jaramillo, J. D. F.; Flórez, M. T. y Parra, L. N. Caracterización de un Andisol de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Oriente Antioqueño, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 36 (1): 61-71. 2006.
- [34] Sidorova, V. y Fyodorov, F. Effect of beavers on variability of soil properties in southern Karelia. In: *Soil Geography and Geostatistics*. Krasilnikov, P.; Carré, F y Montanarella, L. eds. European Communities. Luxembourg. pp: 68-84. 2008.
- [35] Cambardella, C.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F. y Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal* 58: 1501-1511. 1994.
- [36] Hallett, P. D.; Nunan, N.; Douglas, J. T. y Young, I. M. Millimeter-scale spatial variability in soil water sorptivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 352-358. 2004.
- [36] Jaramillo, J. D. F.; Dekker, L. W.; Ritsema, C. J. y Hendrickx, J. M. H. Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. *J. Hydrol.* 231-232: 105-111. 2000.