

Efecto del exudado de *Chaitophorus leucomelas* Koch, parásito de *Populus* sp, sobre las propiedades hidráulicas del suelo.

Susana Sagardía Q., Oscar Seguel S., Manuel Casanova P.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago. oseguel@uchile.cl

INTRODUCCIÓN

Los suelos pueden presentar propiedades hidrofóbicas, causando una resistencia a la infiltración del agua o retardando dicho proceso. La repelencia del suelo al agua, es causada por la acumulación de compuestos orgánicos hidrófobos y se origina como consecuencia de un recubrimiento de materia orgánica (M.O.) sobre las partículas minerales del suelo (Ritsema *et al.*, 2000). Entre los impactos hidrológicos y geomorfológicos asociados a la hidrofobia, cabe destacar la reducción de la infiltración y disponibilidad de agua para las plantas, incremento de la escorrentía y susceptibilidad a la erosión, desarrollo de vías preferenciales de infiltración y percolación del agua, entre otros (Jaramillo, 2006).

Los aportes de M.O. al suelo, no son únicamente por residuos vegetales, una parte importante puede provenir de la actividad de la micro y mesofauna. Una de las plagas de introducción relativamente reciente a Chile fue el pulgón del álamo (*Chaitophorus leucomelas* Koch). La primera vez que se encontró esta especie en el país, fue en el Valle de Azapa sobre follaje de *Populus Nigra* (Rodríguez *et al.*, 2001).

En pocos años, este insecto se dispersó sobre el territorio nacional, afectando diversas especies de álamo de uso ornamental y forestal. Al alimentarse de la savia de los árboles, este pulgón expele grandes volúmenes de mielcilla en su entorno, ocasionando molestias permanentes en ambientes urbanos y provocando daños importantes en la vegetación (Rodríguez y Rodríguez, 2005). Este exudado no sólo afecta a la planta infectada, sino también al suelo que se encuentra en torno a ella, alterando sus propiedades físicas e hidráulicas (Contreras y Solé-Benet, 2003).

C. leucomelas K. se encuentra principalmente en las regiones Metropolitana y V, aunque también está presente en la I, VI y VII Región, pero con niveles de población de menor importancia (Klein y Waterhouse, 2000 citado por Giganti *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del exudado de *Chaitophorus leucomelas* Koch sobre las propiedades hidráulicas del suelo y la repelencia al agua de éste. Para ello, se utilizó un tensioinfiltrómetro que permitió evaluar las propiedades en terreno, mientras que la hidrofobicidad se determinó en laboratorio utilizando el método de sortividad en agua y etanol.

El efecto que *C. Leucomelas* K. produciría sobre las propiedades hidráulicas del suelo, debiese ser comparable con las propiedades hidráulicas de un sector sin la presencia del parásito, pero con otros factores que generen hidrofobia. En este sentido, una pradera permanente debiese cumplir las condiciones de hidrofobicidad contra lo cual se pueda comparar el efecto del pulgón del álamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana, durante el segundo semestre del año 2006. Las mediciones se hicieron en terreno y en el Laboratorio de Física de Suelos.

Las áreas experimentales elegidas se encuentran en el mismo sector, bajo iguales condiciones ambientales, pero con distinta vegetación. Ambos sitios son de uso ornamental (jardines). Uno de los sectores corresponde a una empastada con presencia de árboles no infectados con *C. leucomelas* K., mientras que el otro sector presenta escasa vegetación herbácea pero abundantes árboles, mayoritariamente álamos, parasitados con el insecto. El suelo corresponde a la Serie Santiago, Familia franca gruesa, sobre arenosa esqueletal, mixta, térmica de los Entic Haploxerolls, de origen aluvial, topografía plana y texturas superficiales franco arenosas (CIREN, 1996).

Durante el ensayo se realizaron las siguientes mediciones:

Infiltración acumulada (IA): Se utilizó un tensioinfiltrómetro, mediante el cual se midió la conductividad hidráulica no saturada (K_{ns}) a potenciales mátricos de -1, -2, -4 y -6 hPa, registrándose los valores de la altura de agua del reservorio cada 30 segundos.

Cada medición a distinto potencial se realizó en el mismo punto, partiendo del valor más negativo (-6 hPa). El tiempo de medición varió entre 25 a 60 minutos en cada ocasión, hasta alcanzar un estado de equilibrio, con el que se calculó la conductividad hidráulica (K_o), según la metodología propuesta por Joel y Messing (2000)

Contenido gravimétrico de agua (w): Para determinar la diferencia del contenido de agua, se tomó una muestra de suelo cercano al lugar de la medición, como contenido hídrico inicial y otra bajo la zona de medición como contenido hídrico final (Poblete, 1998).

Densidad aparente: Se determinó mediante la metodología propuesta por Blake y Hartge (1986), utilizando cilindros metálicos de volumen conocido para recoger muestras de los primeros 5 cm de suelo. El suelo muestreado se pesó en fresco y en seco después de llevarlo a estufa a 105°C. Los valores obtenidos se utilizaron posteriormente en la conversión del contenido de agua gravimétrico (w) a volumétrico (θ).

Curva característica del suelo: Se obtuvieron muestras no disturbadas de suelo tomadas con cilindros metálicos, procediendo mediante la metodología de la olla y plato a presión (Klute, 1986).

Contenido de materia orgánica (M.O): Determinada mediante la técnica de calcinación. Se colectaron muestras compuestas tomadas de la superficie del suelo. Éstas se trasladaron a laboratorio en bolsas plásticas debidamente identificadas. Las muestras se dejaron secar al aire por 24 horas, luego se tamizaron a 2 mm. Posteriormente, en crisoles de porcelana se colocaron las muestras de suelo previamente pesadas en una balanza analítica para proceder a la calcinación de la M.O. en una mufla a 600 °C, calculando la M.O. porcentual por diferencia de masa.

Índice de Repelencia (R): Se determinó en laboratorio utilizando la metodología propuesta por Tillman (1989, citado por Hallett y Young, 1999) usando agua y etanol como líquidos infiltrantes. La cantidad de líquido infiltrado en las muestras se registró cada 10 segundos durante un minuto. Se calculó la sortividad de cada líquido, calculando finalmente el índice de repelencia R mediante la relación:

$$R = 1,95 (S_e / S_w)$$

Donde:

S_e : Sortividad en etanol

S_w : Sortividad en agua destilada

1,95 : Constante que considera las propiedades del agua y el etanol (viscosidad, tensión superficial).

El suelo es repelente al agua si R es mayor a 1,95 (Tillman, 1989 citado por Hallett y Young, 1999).

Diseño experimental y análisis estadístico

El ensayo se realizó bajo un diseño de parcela dividida, con dos tratamientos. Cada parcela correspondía a un tratamiento y la unidad experimental fue el suelo. Todas las propiedades fueron calculadas con cuatro repeticiones, a partir de lo cual se calcularon los descriptores estadísticos básicos. Se realizó análisis de varianza para verificar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando fue necesario, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tuckey (5%). Se realizaron regresiones lineales para establecer la relación entre el índice R y la conductividad hidráulica (K_{ns}) en cuyo caso se realizó una prueba t con un nivel de significancia del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra un resumen de las principales propiedades de los suelos estudiados.

Cuadro 1. Propiedades de los suelos estudiados (0-5cm).

Valores de las constantes hídricas en base a volumen.

Propiedad	Con Pulgón	Pradera
Da (Mg m^{-3})	1,15	1,19
Porosidad total (%)	63,4	65,5
CC (%)	47,5	54,0
PMP (%)	13,6	14,0
Poros de drenaje (%)	15,8	11,5
Agua Aprovechable (%)	33,9	40,0
MO (%)	15,3	20,6

Los valores de densidad aparente en ambos sitios son comparables, lo que resulta en valores de porosidad total similares. Sin embargo, la distribución de tamaño de poros es distinta, presentando el sitio con presencia de pulgón (CP) una mayor cantidad de poros de drenaje (porosidad gruesa) y una menor proporción de poros de retención de agua. El contenido de materia orgánica (M.O.) es mayor en el sitio con pradera (SP), por lo que, considerando un efecto sólo cuantitativo, este sitio debiera presentar la mayor hidrofobia y la menor velocidad de infiltración de agua en el suelo.

En la Figura 1 puede observarse que las curvas de retención de agua presentan una gran similitud entre sí, siendo levemente mayores los valores en el suelo cubierto por la pradera, lo que resulta en un mayor contenido de agua aprovechable, pero con una menor macro porosidad.

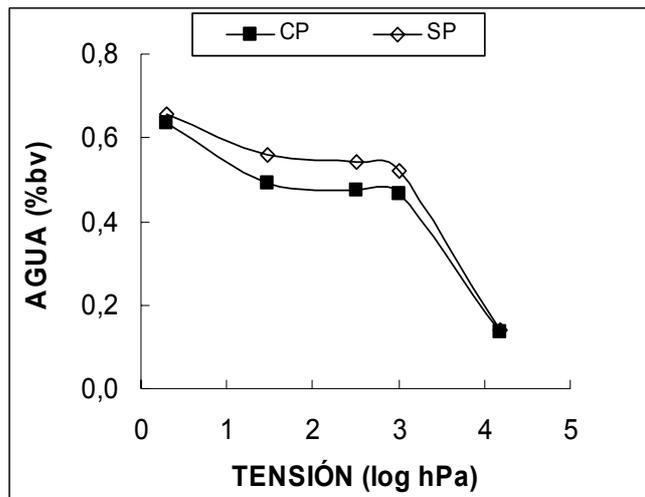


Figura 1. Curva retención de agua para los suelos estudiados. CP: Con pulgón; SP: Pradera sin pulgón.

La mayor proporción de poros gruesos se encuentra en el rango de poros de drenaje rápido ($pF < 1,6$), de un tamaño mayor a $50 \mu m$. Los valores de capacidad de campo son altos, dada la clase textural franco arenosa del suelo, pero explicable dado los altos contenidos de materia orgánica.

El Cuadro 2 presenta el índice de repelencia (R). Se puede observar que hay un aumento en la hidrofobicidad del suelo en la medida que disminuye el agua de éste. Sin embargo, esto ocurre con contenidos de agua menores al punto de marchitez permanente, ya que la repelencia de los suelos al agua se expresa con mayor intensidad cuando éstos están secos (Orellana *et al.*, 2004; Bachmann y Vander Ploeg, 2002).

Cuadro 2. Índice de repelencia al agua (R) con y sin la presencia de *C. Leucomelas* medido en superficie y a 5 cm de profundidad.

pF	Con pulgón (CP)	Pradera (SP)
R superficie (0 cm)		
2,5	1,73 (\pm 1,08)	2,06 (\pm 1,23)
4,2	2,61 (\pm 0,59)	2,47 (\pm 1,35)
4,5	13,22 (\pm 9,28)	10,22 (\pm 4,82)
R profundidad (5 cm)		
2,5	1,09 (\pm 0,57) *	2,13 (\pm 1,02) *
4,2	2,43 (\pm 0,70)	2,09 (\pm 1,48)
4,5	8,64 (\pm 6,41)	4,82 (\pm 1,81)

* indica diferencias significativas entre sitios (Tuckey, $\alpha \leq 0,05$).

Con tensiones dentro del rango de humedad aprovechable ($pF < 4,2$) los sitios se comportan de manera similar en cuanto a hidrofobia, pero para muestras secas al aire ($pF = 4,5$) R es mayor en el suelo afectado por el exudado del pulgón que en el suelo cubierto por la pradera. Sin embargo, dicha diferencia no es estadísticamente significativa, ya que técnicamente ambos sitios se clasifican como hidrófobos ($R > 1,95$). La condición seca al aire es normal encontrarla en climas mediterráneos, como el de la zona de estudio, con veranos secos y cálidos, en especial dentro de los dos primeros centímetros del suelo. Valores de R muy cercanos a 2 no discriminan diferencias estadísticas significativas con suelos hidrófobos o hidrófilos, de manera tal que se registran diferencias estadísticas sólo a pF 2,5 a 5 cm de profundidad.

En la Figura 2, puede observarse que cuando los suelos han sido secados al aire, R es mayor en superficie que en profundidad, siendo mayores los valores en el suelo afectado por el exudado del pulgón. Cuando las muestras se encuentran a capacidad de campo (C.C.) no hay diferencias estadísticamente significativas en superficie.

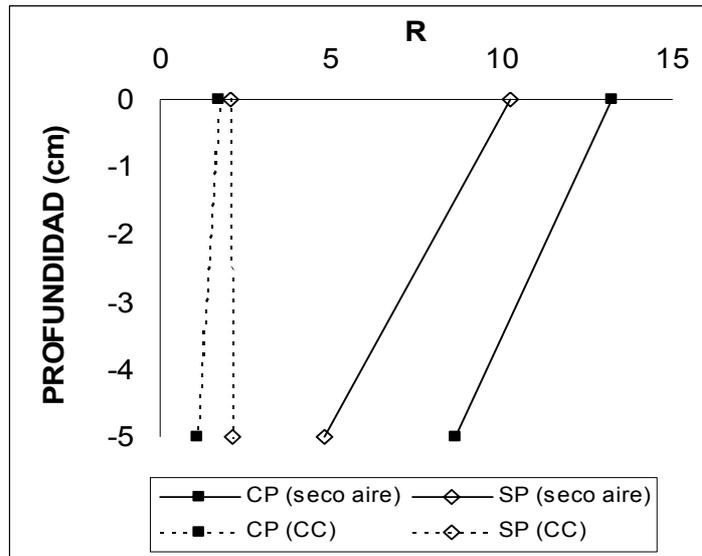


Figura 2. Variación de R en los primeros 5 cm de profundidad. CP: Con pulgón; SP: Pradera sin pulgón

La disminución de R desde 0 a 5 cm de profundidad se debe a un gradiente en el contenido de M.O., ya que como ninguno de los sitios es sometido a labranza, los aportes de M.O. se concentran en la superficie.

El valor crítico para considerar a un suelo con comportamiento hidrófobo es $R \geq 1,95$ (Tillman, 1989 citado por Hallett y Young, 1999). Esta condición se presenta en toda la sección analizada, tanto en el sitio con como en el sin presencia del pulgón, cuando se encuentran secos al aire. Con mayores contenidos de agua (CC, Capacidad de Campo) el índice R resulta no repelente en el sitio con pulgón, pero ésta sería una condición cualitativa del tipo de materia orgánica (Ellies *et al.*, 2002) ya que el gradiente de R hasta llegar a un suelo seco al aire es mayor en este sitio.

La Figura 3 muestra las curvas de infiltración evaluadas con tensioinfiltrómetro (a modo de ejemplo, con una tensión de suministro de agua de 6 hPa). La presencia de sustancias hidrófobas en los suelos puede disminuir considerablemente los procesos de infiltración en éstos y dependiendo de la magnitud de dicha repelencia, puede verse afectado el crecimiento de las plantas al producirse flujos irregulares de humedecimiento (Bauters *et al.*, 2003, citado por Orellana *et al.*, 2004).

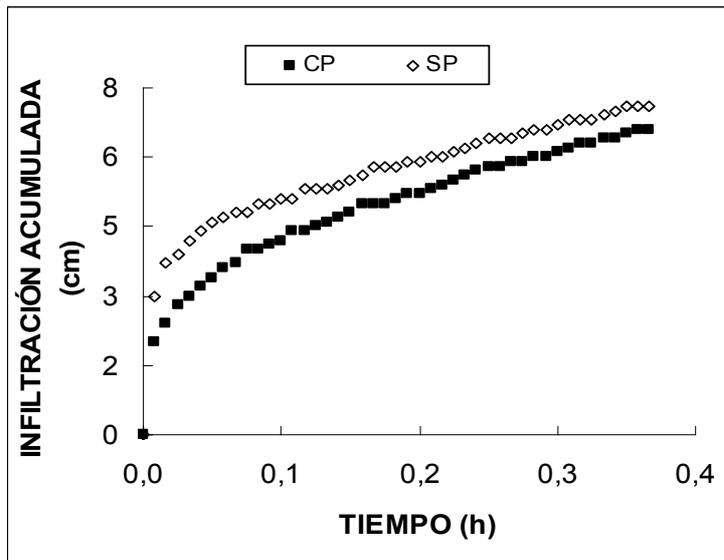


Figura 3. Curvas de infiltración acumulada versus tiempo obtenidas con tensioinfiltrómetro, para el sitio con pulgón (CP) y pradera sin pulgón (SP).

Al analizar la infiltración, en ambos suelos puede observarse que las curvas son similares entre sí, no presentando alteraciones en el comportamiento potencial del proceso de infiltración.

La velocidad de infiltración corresponde a la pendiente de la gráfica de infiltración acumulada versus el tiempo. Puede observarse en la Figura 4, que en la pradera (SP) la V.I. aumenta en la medida que las mediciones se acercan a saturación ($\Psi_m=0$), mientras que en el suelo afectado por el exudado del pulgón, la V.I. varía muy poco; cuando $\Psi_m= -6$ hPa, ambos suelos presenta valores similares.

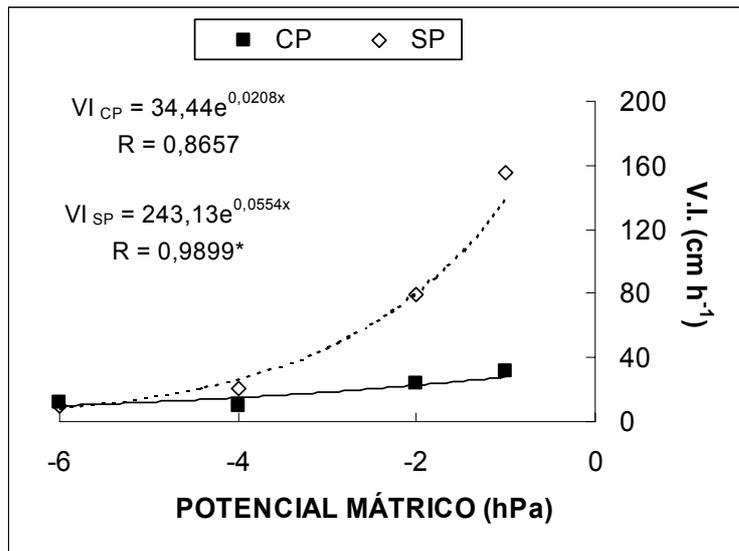


Figura 4. Velocidad de infiltración (V.I.) versus potencial mátrico, para el sitio con pulgón (CP) y pradera sin pulgón (SP).

Como se comentó a partir del Cuadro 1, debido al menor contenido de materia orgánica y mayor macroporosidad, se esperaba un comportamiento hidráulico más rápido en el sitio con pulgón, pero este resultado reafirma la importancia del tipo de materia orgánica y su relación con las partículas sólidas y ubicación dentro del sistema poroso, tal como lo señalan Ellies *et al.*, (2003) y Bachmann (1998)

Por otra parte, la conductividad hidráulica (Figura 5) disminuye en la medida que el potencial mátrico se hace más negativo ($\Psi = -6$ hPa), aumentando en la medida que aumenta el contenido de agua en el suelo. Al realizar el análisis estadístico, sólo hubo diferencias en la conductividad hidráulica medidas a $\Psi = -6$ hPa .

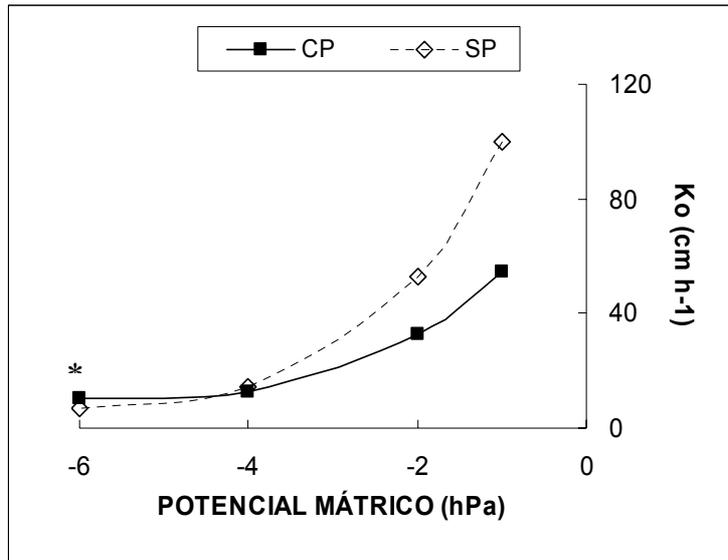


Figura 5: Conductividad hidráulica versus potencial mátrico. CP: Con pulgón; SP: Pradera sin pulgón. * Indica diferencias estadísticas significativas.

Los valores de K_o son altos cercanos a saturación, pero se encuentran dentro de los rangos definidos para condiciones de suelo similares (Joel y Messing, 2000)

Al correlacionar la conductividad hidráulica (K_o) con el índice R (Figura 6), puede observarse que la conductividad hidráulica presenta un comportamiento exponencial decreciente a medida que aumenta R, teniendo mayor curvatura el suelo cubierto por la pradera (◇) que en el afectado por el exudado del pulgón (■). La K_o disminuye en la medida que el índice de repelencia aumenta, independiente de la magnitud de R y si se obtuvo de muestras secas o con un mayor contenido de agua.

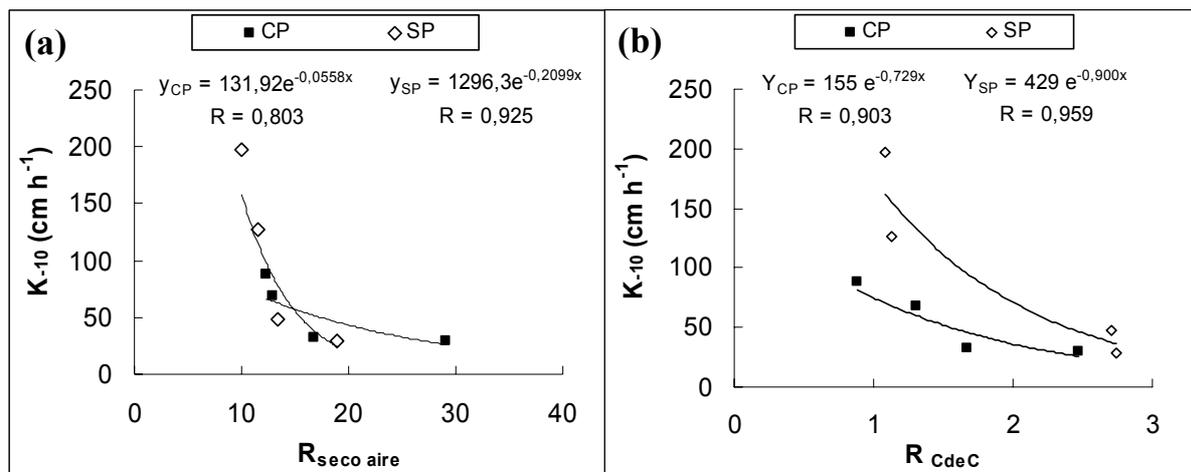


Figura 6. Conductividad hidráulica (medida a una tensión de -1 hPa) en función del índice de repelencia R en muestras (a) secas al aire y (b) equilibradas a -33 kPa. CP: Con pulgón; SP: Pradera sin pulgón.

Las correlaciones son significativas ($p \geq 0,95$) por lo que el comportamiento de K_0 depende no sólo de la distribución del tamaño de poros del suelo, sino también de la proporción y distribución de la M.O. de éste.

La mayor curvatura del sitio con pradera y sin pulgón (SP), estaría indicando una mayor sensibilidad del sitio ante agentes que causan hidrofobia, presentando el sitio con pulgón (CP) una condición en que las partículas minerales estarían saturadas con grupos orgánicos repelentes al agua (Bachmann, 1998).

Por otra parte, la medición de K_{ns} , con tensioinfiltrómetro, de acuerdo a las Figuras 5 y 6, se presenta como una herramienta para evaluar la hidrofobia del suelo a bajas tensiones, precisamente en rangos en que la manifestación de la hidrofobia es baja y el índice R no funciona adecuadamente.

CONCLUSIONES

- El suelo afectado por el exudado del pulgón *Chaitophorus leucomelas* Koch presenta un mayor grado de repelencia al agua, pero estadísticamente esta diferencia no es significativa. Basándose en esta información, se puede concluir que el exudado del pulgón tiene un efecto hidrófobo sobre el suelo similar al de la materia orgánica aportada por la pradera.
- La V.I. y K_o medidos con tensioinfiltrómetro muestran valores mayores en el suelo cubierto por la pradera que en el afectado por el exudado del pulgón, lo que podría atribuirse al efecto del sistema radical de la empastada sobre la estructura del suelo. Pese a ello, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los suelos a un nivel de confianza del 95 % en un amplio rango de tensiones.
- Los valores de conductividad hidráulica se correlacionan con los del índice R, por lo que el efecto hidrofóbico podría explicar la menor R en el sitio afectado con el pulgón, presentándose las mediciones con tensioinfiltrómetro como una herramienta para evaluar hidrofobia en suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- BLAKE, G. and HARTGE, K. 1986. Bulk density. p: 363-375 In: Klute, A. Methods of soil analysis. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, Wis. v.1. 1188 p.
- BACHMANN, J. 1998. Messung und Simulation der anisothermen Feuchtebewegung in benetzungsgehemmten Mineral böden.2. Pflanzenernähr. Bodenk 161: 147-155.
- BACHMANN, J., VANDER PLOEG, R. 2002. A review on recent developmentd in soil water retention theory: interfacial tension and temperature effects. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 165 (4): 468-478.
- CIREN. 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación 115. 425 p.
- CONTRERAS, S y SOLÉ-BENET, A. 2003. Hidrofobia en suelos mediterráneos semiáridos: implicaciones hidrológicas para una pequeña cuenca experimental en el else ibérico. C&S 17(1-2): 29-45.
- ELLIES, A. Mac DONALD, H., RAMÍREZ , C. 2002. Efecto de la resistencia a la humectación sobre la estabilidad de los agregados del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 2 (2):1-9.
- ELLIES, A., RAMÍREZ , C., Mac DONALD, H. 2003. Wetting capacity distribution in aggregates from soils with a different managment. Food, Agriculture & Environment 1(2): 229-233.
- GIGANTI, H., DAPOTO, G., DELFINO, M. 2004. Chaitophorus leucomelas Koch (Hemiptera, Aphididae) en Río Negro y Neuquén (Argentina). Características Morfológicas y Biológicas. RIA 33(2): 27-39.
- JARAMILLO, D. 2006. Repelencia al agua en suelos: Una Síntesis. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 30 (115): 215-232.
- JOEL, A. and MESSING, I. 2000. Application of two methods to determine hydraulic conductivity with disc permeameters on sloping land. European Journal of Soil Science. 51: 93-98.

- KLUTE, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. p: 732-815. In: Klute, A. Methods of soil analysis. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, Wis. v.1. 1188 p.
- HALLETT, P.D. and YOUNG, I.M. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. European Journal of Soil Science. 50: 35-40.
- ORELLANA, I. , ELLIES, A. y SEGUEL O. 2004. Variación de la capacidad de humectación de suelos en relación al contenido de materia orgánica. Boletín Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (20): 399-406.
- POBLETE, I. 1998. Tensioinfiltrometría en un suelo tratado con abono orgánico. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrónomo, Manejo de Suelos y Agua. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 58 p.
- RITSEMA, C. J., VAN DAM, F. C., DEKKER, L. W., OOSTINDIE, K. 2000. Principles and modeling of flow and transport in water repellent surface layers and consequences for management. Alterra Progress Report CT98-4027.
- RODRÍGUEZ, F., RODRÍGUEZ, S. 2005. Control biológico de plagas urbanas. Tierra Adentro 65: 16-17.
- RODRÍGUEZ, F., ROJAS, S., LIZARDE, L., STARY, P. 2001. Internación a Chile de salicaphis (Fitch) (Hym. : Aphididae), parasitoide del pulgón del álamo Chaitophorus leucomelas Koch (Hem. : Aphididae) Resúmenes XXIII Congreso Nacional de Entomología. Sociedad Chilena de Entomología y Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de la Frontera. Chile.