



## Efecto del exudado de *Chaitophorus leucomelas* sobre las propiedades hidráulicas del suelo

Effect of exudates of *Chaitophorus leucomelas* on soil hydraulic properties

Seguel, O. <sup>a\*</sup>, Sagardía, S. <sup>a</sup>, Casanova, M. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago.

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Water repellency  
Infiltration  
Hydraulic conductivity  
Tension disc infiltrometer

Original Research Article  
Soil Science

\*Corresponding author:  
Óscar Seguel  
E-mail address:  
[oseguel@uchile.cl](mailto:oseguel@uchile.cl)

### ABSTRACT

Soils may develop hydrophobic properties, causing either resistance to water infiltration or slowing the process. The aim of this study was to evaluate the effect of exudates of *Chaitophorus leucomelas* Koch, an aphid parasitic to *Populus* sp., on soil hydraulic properties and water repellency. *Ch. leucomelas* infested and non-infested sites were evaluated, using four randomly distributed replications for each case. The unsaturated hydraulic conductivity ( $K_{ns}$ ) was measured using a tension disc infiltrometer at supply pressures of -10, -20, -40 and -60 mm, estimating saturated  $K$  ( $K_o$ ). Hydrophobicity was determined in laboratory using the  $R$  index, based on water and ethanol sorptivity. Both sites showed a hydrophobic behavior when the soil was air dried, being higher in the *Ch. leucomelas* infested site, however, the hydrophobicity was lost upon wetting the soil. The infiltration of water decreased with the presence of the parasite, but the spatial variability prevented the occurrence of statistically significant differences between sites. The hydrophobicity and the  $K_{ns}$  evaluated at -10 mm were exponentially fitted, which ensures that the behavior of  $K_{ns}$  depends not only on the pore size distribution of the soil, but also on the proportion and distribution of the soil organic matter. Finally,  $K_{ns}$  is presented as a tool to assess soil hydrophobicity at low pore water pressures to assess erosion in forest plantations.

### RESUMEN

Los suelos pueden desarrollar propiedades hidrofóbicas, causando una resistencia a la infiltración del agua o retardando dicho proceso. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del exudado de *Chaitophorus leucomelas* Koch, parásito del álamo (*Populus* sp.), sobre las propiedades hidráulicas del suelo y la repelencia al agua de éste. Para ello, en sitios con y sin infestación de *Ch. leucomelas*, con cuatro repeticiones distribuidas al azar en cada caso, se evaluó la conductividad hidráulica no saturada ( $K_{ns}$ ) mediante un tensioinfiltrómetro a presiones de suministro de -10, -20, -40 y -60 mm, con lo que se estimó la conductividad hidráulica saturada ( $K_o$ ); la hidrofobicidad se determinó en laboratorio utilizando el índice  $R$ , basado en la sortividad en agua y etanol. Ambos sitios manifestaron un comportamiento hidrófobo cuando el suelo se encontraba seco al aire, siendo mayor en el sitio con infestación de *Ch. leucomelas*; sin embargo, al humectarse se pierde el comportamiento hidrófobo. La infiltración de agua disminuyó con la presencia del parásito, pero la variabilidad espacial impidió observar diferencias estadísticas significativas. El índice de hidrofobia presentó una correlación exponencial con la  $K_{ns}$  evaluada a -10 mm de tensión, lo que permite asegurar que el comportamiento de  $K_{ns}$  depende no sólo de la distribución del tamaño de poros del suelo, sino también de la proporción y distribución de la materia orgánica de éste. Finalmente, la medición de  $K_{ns}$  se presenta como una herramienta para evaluar la hidrofobia del suelo a bajas tensiones para evaluar procesos de erosión en plantaciones forestales.

**Palabras clave:** Repelencia al agua, infiltración, conductividad hidráulica, tensioinfiltrómetro de disco.

### INTRODUCCIÓN

Los suelos pueden presentar propiedades hidrofóbicas, causando una resistencia a la infiltración del agua o retardando dicho proceso (Ritsema *et al.*, 2001). 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 (MO) sobre las partículas minerales del suelo (Hallett, 2008). Entre los impactos hidrológi-

cos 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 MO al suelo no son únicamente por residuos vegetales, una parte importante puede provenir de la actividad de la micro y mesofauna y entre estos últimos destacan los insectos. En ese contexto, y

debido a los exudados que produce, una de las plagas introducidas a Chile y cuyo efecto sobre el suelo debe ser investigado, es el pulgón del álamo (*Chaitophorus leucomelas* Koch). Este insecto fue inicialmente reconocido en el Valle de Azapa sobre follaje de *Populus nigra* (Rodríguez et al., 2001) y en pocos años se ha expandido en el territorio nacional, afectando diversas especies de álamo de uso ornamental y forestal. En la actualidad, *Ch. leucomelas* se encuentra principalmente en las regiones Metropolitana y de Valparaíso, aunque también está presente en Arica y Parinacota, O'Higgins y el Maule, pero con niveles de población de menor importancia (Klein-Koch y Waterhouse, 2000).

Este pulgón, al alimentarse de la savia de los árboles, expele grandes volúmenes de mielcilla en su entorno, ocasionando molestias permanentes en ambientes urbanos y provocando daños importantes en la vegetación (Ramírez et al., 2004). Este exudado no sólo afectaría 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); sin embargo, este es un aspecto que no se ha estudiado en detalle en el país.

El efecto que *Ch. leucomelas* produciría sobre las propiedades hidráulicas del suelo, dada la naturaleza de su exudado, debiese apuntar a un aumento de la repelencia al agua, siendo mayor que en 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 la cual se pueda comparar el efecto del pulgón del álamo. Al respecto, el índice *R* de repelencia al agua se presenta como un método sencillo de implementar en una gran variedad de suelos y condiciones de manejo (Lipiec et al., 2009), por lo que resulta adecuado para evaluar el efecto que el exudado de *Ch. leucomelas* tiene sobre el comportamiento hidráulico del suelo.

Considerando que el efecto de la hidrofobia sobre el movimiento del agua dentro del suelo es directo (Chenu et al., 2000), en el presente trabajo se evaluó el efecto del exudado de *Chaitophorus leucomelas* Koch sobre las propiedades hidráulicas del suelo y la repelencia al agua de éste, correlacionando ambas propiedades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de ensayo y tratamientos

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

El suelo corresponde a la Serie Santiago, Familia franca gruesa, sobre arenosa esquelética, mixta, térmi-

ca de los Entic Haploxerolls, de origen aluvial, moderadamente profundo, topografía plana y texturas superficiales franco arenosas (CIREN, 1996). Las áreas experimentales se encuentran en el mismo sector, bajo iguales condiciones ambientales, con un uso ornamental (jardines) que se ha mantenido en los últimos 20 años. Estas áreas permitieron definir dos condiciones de la superficie del suelo, las que constituyeron los tratamientos. Uno de los sectores corresponde a una empastada con presencia de árboles no infectados con *Ch. leucomelas*, mientras que el otro sector presenta escasa vegetación herbácea pero abundantes árboles, mayoritariamente álamos, parasitados con el insecto.

Dentro de cada tratamiento, se definieron en forma aleatoria cuatro unidades experimentales de 1 m<sup>2</sup> en donde se realizaron los análisis de campo y recolectaron muestras de suelo.

### Recolección de muestras de suelo y análisis de campo

En octubre de 2006, dos días después de un evento de lluvia, se tomaron muestras de suelo superficial (0-5 cm) para los análisis de laboratorio, los cuales incluyeron densidad aparente, retención de agua, contenido de materia orgánica e índice de repelencia *R*. En cuanto a los análisis de campo, se recolectó material para determinar el contenido de agua gravimétrico y se llevaron a cabo ensayos de infiltración *in situ* con tensiómetro de disco.

### Curva de retención de agua del suelo (pF) y densidad aparente

Se obtuvieron muestras no disturbadas de suelo tomadas con cilindros metálicos de 5 cm de altura y 5,9 cm de diámetro (una muestra por unidad experimental, *n* = 8). La curva pF se determinó por medio del drenaje de las muestras mediante la metodología de la cama de arena y de la olla y plato a presión (Sandoval et al., 2012). Para esto se saturaron las muestras y se equilibraron a tensiones crecientes, inicialmente en cama de arena (hasta -6 kPa) y posteriormente en plato y olla de presión (hasta -1500 kPa). Finalmente, la muestra fue secada en estufa (105°C por 24 horas) y con la masa de suelo seco se calculó la densidad aparente y el contenido volumétrico de agua de las muestras.

A partir de los diferenciales de equilibrio determinado en base al contenido volumétrico de agua de las muestras a las distintas tensiones, se determinó la distribución de tamaño de poros (Hartge y Horn, 2009), definiendo los macroporos (o poros de drenaje total, >10 µm) como la diferencia entre el contenido de agua a -0,2 y -33 kPa y el agua aprovechable (AA, 0,2-10 µm) como la diferencia entre la retención de agua entre -33 y -1500 kPa.

### Contenido de materia orgánica (MO)

Se determinó con muestra disturbada (una muestra por unidad experimental,  $n = 8$ ) mediante la técnica de calcinación (Sadzawka *et al.*, 2006). Para esto se coleccionaron muestras compuestas tomadas de la superficie del suelo, las cuales se tamizaron a 2 mm y se secaron a 105°C durante 24 h. Posteriormente, en crisoles de porcelana se colocaron las muestras de suelo previamente pesadas en una balanza analítica para proceder a la calcinación de la MO en una mufla a 600°C, calculando la MO por diferencia de masa y expresándola en forma porcentual.

### Índice de repelencia (R)

Este índice permite estimar la repelencia del suelo al agua. Se determinó en laboratorio utilizando la metodología descrita por Hallett y Young (1999) usando agua y etanol (95%) como líquidos infiltrantes. Para esto se tomaron muestras distintas a las de retención de agua, pero utilizando el mismo tipo de cilindros (5 cm de altura y 5,9 cm de diámetro). Se tomaron muestras de suelo desde el horizonte superficial, equilibrándolas a -33 kPa, -1500 kPa y secas al aire (una muestra por cada unidad experimental y tensión de equilibrio mátrico,  $n = 24$ ), sobre las cuales se hicieron las pruebas de sortividad con presión de suministro de -1mm. El dispositivo descrito por Hallett y Young (1999) permite medir el flujo  $Q$  del líquido (agua o etanol) a través de un sistema de capilares bajo tensión durante el primer periodo de sorción de la muestra de suelo, en que se registra el volumen del líquido en función del tiempo. En este sistema  $Q$  está definido por:

$$Q_{(-1)} = \frac{4bS_{(-1)}^2 r}{f} \quad (1)$$

Donde (-1) se refiere a la tensión con que se suministra el líquido;  $b$  es un parámetro que depende de la difusividad agua-suelo, y que toma un valor de 0,55;  $S$  es la sortividad;  $r$  es el radio del capilar y  $f$  es la porosidad llena de aire. Al ser  $Q$  conocido por medición directa (volumen de líquido en función del tiempo), se despeja  $S$  como incógnita a calcular. La cantidad de líquido infiltrado en las muestras se registró cada 10 segundos durante un minuto. A partir de la ecuación (1) se calculó la sortividad de cada líquido, calculando finalmente el índice de repelencia ( $R$ ) mediante la relación:

$$R = 1,95 \left( \frac{S_e}{S_w} \right) \quad (2)$$

Donde  $S_e$  es la sortividad en etanol,  $S_w$  es la sortividad en agua destilada y 1,95 es una constante que considera las propiedades del agua y el etanol (viscosidad

y tensión superficial). El suelo es repelente al agua si  $R$  es mayor a 1,95 (Hallett y Young, 1999). Con el objeto de discriminar si existe un efecto del exudado de *Ch. leucomelas* al ser depositado en la superficie del suelo, se realizaron mediciones en la parte superior del cilindro (0 cm) y en la parte inferior de éste (5 cm).

### Contenido gravimétrico de agua (W)

Para comprobar que el contenido de agua fue similar entre las distintas unidades experimentales al momento de las mediciones de infiltrometría, se tomó una muestra de suelo en el sitio inmediatamente adyacente a la zona de medición como contenido hídrico inicial y otra bajo la zona de medición como contenido hídrico final (una muestra por unidad experimental en dos momentos,  $n = 16$ ) (Poblete, 1998).

### Infiltración acumulada (IA)

Finalmente, en campo se midió la velocidad de infiltración mediante un tensioinfiltrómetro de disco (White *et al.*, 1992), utilizando presiones de suministro de -10, -20, -40 y -60 mm, registrando los valores de la altura de agua del reservorio cada 30 segundos. Previamente, con ayuda de una tijera se cortó con cuidado la vegetación superficial, instalando una capa de arena fina entre el suelo y el disco del tensioinfiltrómetro. Cada medición a distinto potencial se realizó en el mismo punto, desde el valor de suministro más negativo (-60 mm) para evitar efectos histeréticos en los suelos. El tiempo de medición varió entre 25 a 60 minutos en cada ocasión, hasta alcanzar un estado de equilibrio.

Con los datos de infiltración acumulada y un ajuste lineal se calculó la conductividad hidráulica no saturada ( $K_{ns}$ ) para cada tensión. Finalmente, con la gráfica de  $K_{ns}$  en función de la tensión de suministro se estimó la conductividad hidráulica saturada ( $K_0$ ) mediante la aproximación propuesta por Joel y Messing (2000), utilizando un ajuste exponencial y extrapolando la  $K_0$  a un valor de tensión 0.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El ensayo se realizó bajo un diseño de parcela dividida, con dos tratamientos (con pulgón y sin pulgón). Cada parcela correspondió 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 una prueba t con un nivel de significancia del 95% para comparar los resultados entre tratamientos. Además se realizaron regresiones lineales para establecer la relación entre el índice  $R$  y la conductividad hidráulica ( $K_{ns}$ ) validando la correlación mediante una prueba t con un nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Los valores de densidad aparente (Da) 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 rápido (porosidad gruesa, >50 µm) y una menor proporción de poros de retención de agua, aunque esta última es alta en ambos casos, considerando la clase textural franco arenosa (Sandoval et al., 2012).

Los contenidos de materia orgánica (MO) son elevados, siendo mayor, aunque sin diferencias estadísticas significativas, en el sitio sin pulgón (SP) por efecto de una mayor biomasa de pradera. La alta proporción de MO en ambos sitios estaría explicando el alto contenido de agua aprovechable (Rawls et al., 2003). Considerando un efecto sólo cuantitativo, el sitio SP debiera presentar la mayor hidrofobia y la menor velocidad de infiltración de agua en el suelo, considerando su mayor nivel de MO y su menor proporción de poros de drenaje en relación al sitio CP.

El Cuadro 2 presenta el índice de repelencia R. Se puede observar que hay un aumento en la hidrofobicidad del suelo (repelencia al agua) en la medida que aumenta la tensión con que es retenida el agua en los poros del suelo, especialmente con contenidos de agua menores a 1.500 kPa (punto de marchitez permanente). Esto ocurre debido a que la repelencia de los suelos al agua se expresa con mayor intensidad cuando éstos están secos (Bachmann y Vander Ploeg, 2002; Orellana et al., 2004).

Valores de R muy cercanos a 2 no discriminan diferencias entre suelos hidrófobos e hidrófilos, pero aun así se registraron diferencias estadísticas significativas en las muestras equilibradas a -33 kPa evaluadas a 5 cm de profundidad, describiendo un comportamiento hidrófilo en el sitio CP cuando éste se encuentra húmedo. Con tensiones dentro del rango de agua aprovechable (<1.500 kPa) los sitios se comportan de manera similar, con niveles de hidrofobia dentro del rango subcrítico (2<R<4) definido por Hallett et al. (2001).

En las muestras secas al aire, R se incrementó en mayor magnitud en el sitio afectado por el exudado del pulgón (CP) que en el suelo cubierto por la pradera (SP); sin embargo, dicha diferencia no es estadísticamente significativa y técnicamente ambos sitios se clasifican como hidrófobos, con valores de R>1,95 (Hallett, 2008). La condición seca al aire es normal encontrarla en climas mediterráneos, como el de la zona de estudio, con veranos marcadamente secos y cálidos (Uribe et al., 2012); esto es especialmente crítico dentro de los primeros centímetros del suelo, por lo que el sitio CP presenta un mayor riesgo de generación de

escorrentía superficial asociada a procesos de erosión en condiciones de ladera (Bodí et al., 2012).

Tal como lo señalan Orellana et al. (2004), existe una relación lineal entre el contenido de MO y el índice R, siendo mejores los ajustes con las evaluaciones de R realizadas a altas tensiones. Para el caso de este estudio, los mejores ajustes son del tipo exponencial con el índice R en condición seca al aire (datos no mostrados). Por otro lado, al contrastar la condición de capacidad de campo (33 kPa) y seco al aire y analizar su cambio en profundidad, se observa (Figura 1) que en los suelos húmedos R es similar entre sitios, pero al sufrir procesos de secado al aire, R es mayor en superficie que

**Cuadro 1.** Propiedades de los suelos estudiados (0-5cm). Valores de las constantes hidráulicas en base a volumen. Promedio (±DS).

**Table 1.** Properties of the studied soils (0-5cm). Values of hydraulic properties, volume based. Average (±SD).

Propiedad	Con pulgón (CP)	Sin pulgón (SP)
Da (Mg m <sup>-3</sup> )	1,15 (±0,18)	1,19 (±0,15)
Porosidad total (%)	63,4 (±3,5)	65,5 (±4,4)
Retención a 33 kPa (%) *	47,5 (±2,1)	54,0 (±1,2)
Retención a 1.500 kPa (%)	13,6 (±3,4)	14,0 (±1,9)
Poros de drenaje rápido (%)	15,8 (±4,6)	11,5 (±3,3)
Agua aprovechable (%)	33,9 (±2,1)	40,0 (±1,2)
MO (%)	18,4 (±5,7)	26,2 (±5,6)

(Da: densidad aparente, MO: materia orgánica \* Presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con α ≤ 0,05).

**Cuadro 2.** Índice de repelencia al agua (R) con y sin la presencia de *Ch. leucomelas* medido a dos profundidades del suelo.

**Table 2.** Repellence index (R) with and without the presence of *Ch. leucomelas* measured at two soil depths.

Tensión de agua (kPa)	Con pulgón (CP)	Sin Pulgón (SP)
<i>R</i> en superficie (0 cm)		
33	1,58 (± 0,67)	1,91 (± 0,94)
1.500	2,61 (± 0,59)	2,97 (± 0,64)
Seco al aire	17,76 (± 7,79)	13,47 (± 3,88)
<i>R</i> en profundidad (5 cm)		
33*	1,09 (± 0,57)	2,13 (± 1,02)
1.500	2,43 (± 0,70)	2,09 (± 1,48)
Seco al aire	8,64 (± 6,41)	4,82 (± 1,81)

(\* Presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con α ≤ 0,05).



en profundidad, siendo mayores los valores en el suelo afectado por el exudado del pulgón.

La disminución de  $R$  desde 0 a 5 cm de profundidad se debe a un gradiente en el contenido de MO, ya que como ninguno de los sitios es sometido a labranza, los aportes de MO se concentran en la superficie, manteniendo un mayor comportamiento hidrófobo. Esta característica ya la había demostrado Ellies *et al.* (1996) en una amplia variedad de suelos y manejos, siendo más contrastante la diferencia entre superficie y profundidad en suelos bajo bosque con escasa intervención.

El valor crítico para considerar a un suelo con comportamiento hidrófobo es  $R \geq 1,95$  (Hallett y Young, 1999). Esta condición se presenta en toda la sección analizada, tanto en el sitio CP como en el SP, cuando se encuentran secos al aire. Con mayores contenidos de agua (33 kPa) el índice  $R$  resulta no repelente en el sitio con pulgón (CP), pero ésta sería una condición cualitativa del tipo de MO (Ellies *et al.*, 2002) ya que el diferencial de  $R$  entre el suelo a 33 kPa y seco al aire es mayor en este sitio.

Las diferencias del comportamiento hidrofóbico de los sitios se manifestó en las velocidades de flujo de agua (Figura 2). Se observa que en la pradera (SP) la  $VI$  aumentó en la medida que las mediciones se acercaron a saturación (potencial de suministro = 0 mm), mientras que en el suelo afectado por el exudado del pulgón, la  $VI$  varió muy poco. Para tensiones de suministro  $< -40$  mm ambos sitios presentaron valores de  $VI$  similares. A pesar de las diferencias entre sitios (CP versus SP) en las condiciones cercanas a saturación, la alta variabilidad de las repeticiones no permitió generar diferencias estadísticas significativas.

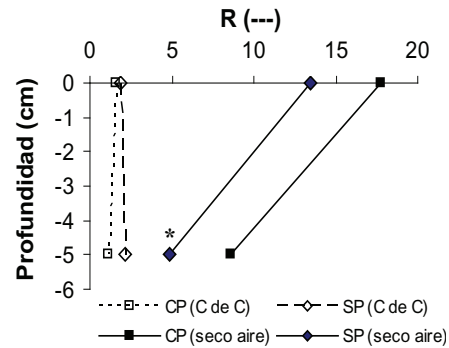
La presencia de sustancias hidrófobas en los suelos puede disminuir considerablemente los procesos de infiltración en éstos y, dependiendo de la magnitud de dicha repelencia, pueden generarse procesos de escorrentía superficial e incluso verse afectado el crecimiento de las plantas al producirse flujos irregulares de humedecimiento (Orellana *et al.*, 2004; Bodí *et al.*, 2012). Sin embargo, al derivar los valores de conductividad hidráulica saturada (datos no mostrados), ambos sitios presentaron niveles muy altos (Casanova *et al.*, 2008), aunque dentro de los rangos definidos para condiciones de suelo similares (Joel y Messing, 2000).

Debido al menor contenido de MO y mayor macroporosidad (Cuadro 1), se esperaba un comportamiento hidráulico más rápido en el sitio CP, sin embargo, esto no fue así, lo que reafirma la importancia del tipo de MO y su relación con las partículas sólidas y ubicación dentro del sistema poroso (Bachmann, 1998; Ellies *et al.*, 2003).

Al correlacionar el índice  $R$  con la conductividad hidráulica, los mejores ajustes se presentaron con la  $K_{ns}$  evaluada a una presión de suministro de -10 mm ( $K_{-10}$ ), tal como se observa en la Figura 3. La  $K_{-10}$  presentó un comportamiento exponencial decreciente a medida que

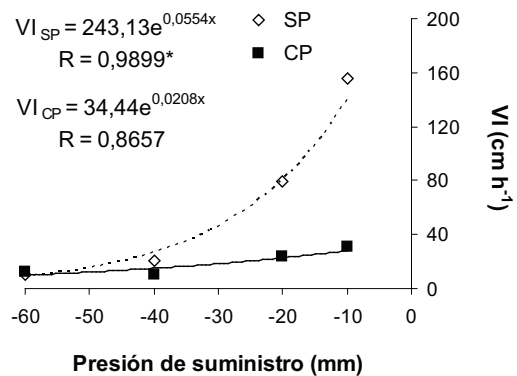
aumenta  $R$ , teniendo mayor curvatura el suelo no afectado por el exudado del pulgón (rombos vacíos) que el afectado por el exudado del pulgón (cuadrados llenos).

La  $K_{-10}$  disminuye en la medida que aumenta el índice de repelencia, independiente de la magnitud de éste y si se obtuvo de muestras secas o con un mayor contenido de agua. Las correlaciones fueron significativas ( $p < 0,05$ ) por lo que el comportamiento de  $K_{-10}$  depende no sólo de la distribución del tamaño de poros del suelo, sino también de la proporción y distribución de la MO de éste. La mayor curvatura del sitio sin pulgón (SP) estaría indicando una mayor sensibilidad del sitio ante agentes que causen hidrofobia, presentando el si-



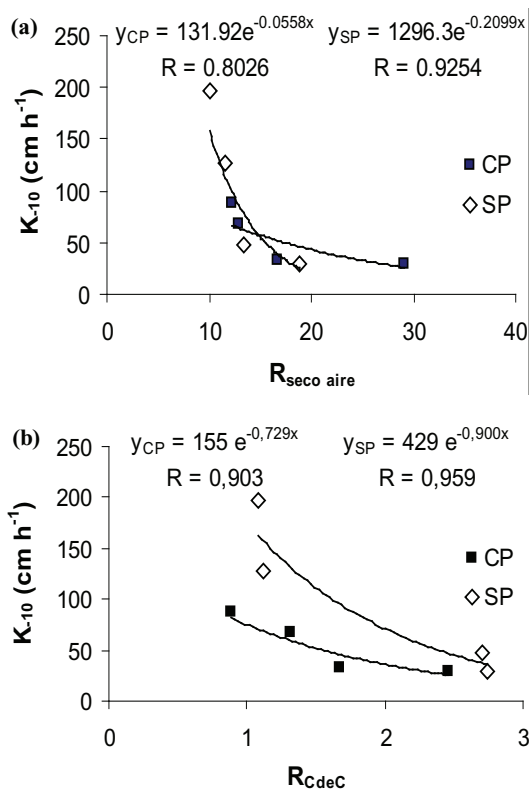
**Figura 1.** Valores de  $R$  a dos profundidades de suelo ( $n = 4$ ). Muestras equilibradas a capacidad de campo (C de C, -33 kPa) y secas al aire. CP: con pulgón; SP: sin pulgón. El asterisco (\*) denota diferencias estadísticas significativas entre profundidades ( $\alpha \leq 0,05$ ).

**Figure 1.**  $R$  values at two soil depths ( $n = 4$ ). Soil samples equilibrated at field capacity (C de C, -33 kPa) and air dried. CP: with aphid; SP: without aphid. Asterisk (\*) denotes statistical differences between depths ( $\alpha \leq 0.05$ ).



**Figura 2.** Velocidad de infiltración ( $VI$ ) en función del potencial mátrico del suelo (presión de suministro de agua) para el sitio con pulgón (CP) y sin pulgón (SP). \* denota significancia estadística ( $\alpha \leq 0,05$ ).

**Figure 2.** Infiltration rate ( $VI$ ) according to soil matric potential (supply pressure) in the site with aphid (CP) and without aphid (SP). \* denotes statistical significance ( $\alpha \leq 0.05$ ).



**Figura 3.** Conductividad hidráulica (medida a una presión de suministro de -10 mm) en función del índice de repelen-  
 cia  $R$  superficial en (a) suelo seco al aire y (b) equilibrado a -33 kPa. CP: con pulgón; SP: sin pulgón.

**Figure 3.** Hydraulic conductivity (measured at supply pressure of -10 mm) as function of surficial  $R$  repellency index at (a) air dry soil condition and (b) equilibrated at -33 kPa. CP: with aphid; SP: without aphid.

tio con pulgón (CP) una condición en que las partículas minerales estarían saturadas con grupos orgánicos repelentes al agua (Bachmann, 1998).

La medición de  $K_{ns}$ , de acuerdo a la Figura 3, se presenta como una herramienta útil 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 es tan sensible entre manejos, complementándose esta técnica con evaluaciones de estabilidad al agua como herramientas de evaluación de la calidad estructural de los suelos (Ellies et al., 1997).

Finalmente, resulta importante el contenido de MO dentro de un mismo suelo, ya que tal como señalan Ellerbrock et al. (2005), los arreglos órgano-minerales buscan cubrir toda la superficie de las partículas inorgánicas, dejando expuesto el lado hidrófobo hacia el medio poroso; sin embargo, existe una condición intermedia de contenido de MO en la que parte de los grupos funcionales hidrofílicos quedan expuestos al medio. En este caso, dados los niveles de MO del suelo (Cuadro 1) y los resultados de  $R$  en condición seca (Cuadro 2)

asociados al manejo, ambos suelos presentan una saturación de MO, con un marcado comportamiento hidrófobo, siendo relevante el efecto que *Ch. leucomelas* genera sobre el comportamiento hidráulico del suelo.

### CONCLUSIONES

El suelo afectado por el exudado del pulgón *Chaitophorus leucomelas* Koch presenta un grado de repelen-  
 cia al agua similar al de un sitio con pradera permanente, sin diferencias estadísticas significativas entre sitios, por lo que es posible concluir que el aporte orgánico generado por el exudado del pulgón tiene un efecto hidrófobo similar al de la materia orgánica aportada por la pradera.

La velocidad de infiltración medida con tensioinfiltrómetro de disco muestra valores mayores en el suelo cubierto por la pradera que en el afectado por el exudado del pulgón, aun cuando este último posee una mayor macroporosidad. Este resultado podría atribuirse al efecto del exudado sobre la superficie del suelo, por lo que resulta importante continuar estudiando la naturaleza de sus grupos funcionales y su relación con la hidrofobia.

Los valores de conductividad hidráulica se correlacionan con los del índice de repelen-  
 cia ( $R$ ), presentándose las mediciones con tensioinfiltrómetro como una herramienta para evaluar hidrofobia en suelos.

### REFERENCIAS

BACHMANN, J. 1998. Messung und simulation der anisothermen feuchtebewegung in benetzungsgehemmten mineralböden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 161: 147-155.

BACHMANN, J., VANDER PLOEG, R. 2002. A review on recent development in soil water retention theory: interfacial tension and temperature effects. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165(4): 468-478.

BODÍ, M. B., DOERR, S. H., CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J. 2012. Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil. Geoderma 191: 14-23.

CASANOVA, M., SEGUEL, O., HABERLAND, J., KREMER, C. 2008. Propiedades físicas: Indicadores de calidad y salud de suelos. Antumapu 6(1-2): 32-34.

CHENU, C., LE BISSONNAIS, Y., ARROUAYS, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Science Society of America Journal 64:1479-1486.

CIREN. 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales, Publicación 115, Santiago.

- CONTRERAS, S., SOLÉ-BENET, A. 2003. Hidrofobia en suelos mediterráneos semiáridos: implicaciones hidrológicas para una pequeña cuenca experimental en el else ibérico. *Revista C&G* 17(1-2): 29-45.
- ELLERBROCK, R.H., GERKE, H.H., BACHMANN J., GOEBEL M.O. 2005. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 69: 57-66.
- ELLIES, A., GREZ, R., RAMÍREZ, C. 1996. Efecto de la materia orgánica sobre la capacidad de humectación y las propiedades estructurales de algunos suelos de la zona Centro Sur de Chile. *Agro Sur* 24(1): 48-58.
- ELLIES, A., GREZ, R., RAMÍREZ, C. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura de suelo. *Agro Sur* 25(1): 51-56.
- ELLIES, A., Mac DONALD, R., 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., MacDONALD, R. 2003. Wetting capacity distribution in aggregates from soils with a different management. *Food, Agriculture & Environment* 1(2): 229-233.
- HALLETT, P. D. 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency – An overview. *Soil & Water Resources*. (Special Issue 1): S21-S29.
- HALLETT, P. D., BAUMGARTL, T., YOUNG, I.M. 2001. Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices. *Soil Science Society of America Journal* 65: 184-190.
- HALLETT, P. D., 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.
- HARTGE, R., HORN, R. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis Messmethoden Auswertung. 4. vollst. Überarbeitete Auflage. Schweizerbart Vorlage, Stuttgart.
- 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., 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.
- KLEIN-KOCH, C., WATERHOUSE, D. 2000. Distribution and importance of arthropods associated with agriculture and forestry in Chile. *ACIAR Monograph*, Canberra.
- LIPIEC, J., WÓJCIGA, A., HORN, R. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil & Tillage Research* 103: 170-177.
- ORELLANA, I., ELLIES, A., 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. Tensiointrometría en un suelo tratado con abono orgánico. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 58 p.
- RAMÍREZ, C., ZAMUDIO, F., VERDUGO, J.V., NUÑEZ, M.E. 2004. Differential susceptibility of poplar hybrids to the aphid *Chaitophorus leucomelas* (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 97(6): 1965-1971.
- RAWLS, W.J., PACHEPSKY, Y.A., RITCHIE, J.C., SOBECKI, T.M., BLOODWORTH, H. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116: 61-76.
- RITSEMA, C. J., VAN DAM, F. C., DEKKER, L. W., OOSTINDIE, K. 2001. Principles and modeling of flow and transport in water repellent surface layers and consequences for management. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: 615-623.
- 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, p. 23
- SADZAWKA, A., CARRASCO, M.A., GREZ, R., MORA, M.L., FLORES, H., NEAMAN, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Serie Actas INIA – N° 34. Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago.
- SANDOVAL, M., DÖRNER, J., SEGUEL, O., CUEVAS, J., RIVERA, D. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepción. Publicación N° 5, Chillán.
- URIBE, J. M., CABRERA, R., DE LA FUENTE, A., PANEQUE, M. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Universidad de Chile, Santiago.
- WHITE, I., SULLY, M. J. AND PERROUX, K.M. 1992. Measurement of surface-soil hydraulic properties: Disc Permeameters, tension infiltrometers and other techniques. In: Clarke, G., Topp, W., Reynolds, D., Green, R.E. (Eds.), *Advances in measurement of soil physical properties: bringing theory into practice*, SSSA. Special Publication N°30, Madison.

