

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DEL USO DE UN HIDROGEL (PAK) EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS DE SUELO Y EN EL POTENCIAL XILEMÁTICO EN VID**

GUSTAVO ALEJANDRO ALFARO VILLANUEVA

Santiago, Chile

2016

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTO DEL USO DE UN HIDROGEL (PAK) EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS DE SUELO Y EN EL POTENCIAL XILEMÁTICO EN VID**

**EFFECT OF USING A HYGROGEL (PAK) IN THE PHYSICAL PROPERTIES
OF SOIL AND GRAPEVINE XYLEM POTENTIAL**

GUSTAVO ALEJANDRO ALFARO VILLANUEVA

Santiago, Chile

2016

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFFECTO DEL USO DE UN HIDROGEL (PAK) EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS DE SUELO Y EN EL POTENCIAL XILEMÁTICO EN VID**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo.

GUSTAVO ALEJANDRO ALFARO VILLANUEVA

	Calificaciones
Profesores Guías	
Sr. Cristián Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,3
Sr. Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo, Ph.D	6,2
Profesores Evaluadores	
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0
Sr. Rodrigo Callejas R. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0

Santiago, Chile

2016

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo general	5
Objetivo específico.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de estudio	6
Producto	6
Evaluaciones de planta.	7
Evaluaciones de suelo	8
Análisis estadístico	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
Evaluaciones en terreno	12
Evaluaciones de planta.....	12
Potencial xilemático.....	12
Contenido de agua en el suelo.....	13
Evaluaciones de suelo.....	15
Curva característica.....	15
Conductividad hidráulica saturada (Ksat).....	18
Resistencia a la penetración.....	18
Densidad aparente.....	20
Evaluaciones en macetas	21
Evaluaciones de planta.....	21
Potencial xilemático.....	21
Contenido de agua en el suelo.....	23
Evaluaciones de suelo.....	25
Curva característica del suelo.....	25
Conductividad hidráulica saturada (Ksat).....	28
Resistencia a la penetración.....	28
Densidad aparente.....	30
CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFÍA	33
APÉNDICES	37

RESUMEN

Con el fin de estudiar alternativas para hacer frente a las sequías que se presentan en las diferentes zonas del país, se evaluó el efecto del hidrogel poliacrilato de potasio, el cual permitiría un aumento en la capacidad de retención de agua, mejora propiedades físicas del suelo y disminuye las pérdidas de agua en el sistema, por lo tanto, disminuye la frecuencia de riego. El producto se aplicó directamente al suelo, realizando tres ensayos, dos en terreno (uno en la localidad de Naicura, comuna de Quinta de Tilcoco, suelo franco arenoso; y otro en la localidad de Corcolén, comuna de Malloa, suelo franco arcilloso, ambas comunas ubicadas en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins) y otro desarrollado en macetas (48 macetas con tres clases texturales diferentes, franco, franco arenoso y franco arcilloso) ubicado en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, comuna de La Pintana, Región Metropolitana. En los tres ensayos se utilizaron plantas de vid de la variedad Crimson Seedless. Se aplicaron 3 dosis diferentes del producto más un tratamiento testigo y se evaluaron efectos en propiedades físicas del suelo (densidad aparente, curva característica, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica saturada y contenido de agua en el suelo) y se midieron efectos en la planta (potencial xilemático). No se encontró una relación directa entre el PAK y los cambios de los valores de las variables estudiadas. Sin embargo, se pudo observar que el PAK se produce una disminución en la resistencia a la penetración en el ensayo de terreno. Además se encontró que el PAK aumenta el contenido de agua retenido en el suelo luego de un riego, por un tiempo mayor que un suelo sin el producto, pero esta agua no se encuentra disponible en los rangos aprovechables para las plantas. Por lo anteriormente mencionado, se concluye que el PAK no es una solución viable, en huertos frutales, para hacer frente a las sequías que se presentan en las diferentes zonas del país.

Palabras Clave: Crimson Seedless, curva característica, franco arcilloso, poliacrilato de potasio, franco arenoso.

ABSTRACT

In order to study alternatives to cope with droughts that occur in different places of the country, the effect of hydrogel potassium polyacrylate was assessed, which would increase water retention capacity, improving soil physical properties and decreasing water losses in the system, therefore, reducing the frequency of irrigations. The product was applied directly to the soil, developing three trials, two on the field (one in the town of Naicura, comuna Quinta de Tilcoco, sandy loam; and one in the town of Corcolén, comuna Malloa, clay loam; both places located in the Región del Libertador Bernardo O'Higgins) and another developed in pots (48 pots with three different textural classes, loam, sandy loam and clay loam) located at Facultad de Ciencias Agronómicas of the University of Chile, La Pintana, Región Metropolitana. In the three places grape plants variety Crimson seedless were used. Three different doses of the product plus a control treatment were applied and soil physical properties were assessed (bulk density, characteristic curve, penetration resistance, saturated hydraulic conductivity and water content in the soil) and effects on the plants (xilematic potential) were measured. There is no a direct relationship between the dose of the PAK and changes in the values of the variables studied. However, it can observe that the PAK decreases the penetration resistance in field developed experiments. Also is found that the PAK increases the water content in the soil after watering for longer time than a soil without the product, but this water is not available in used ranges for plants. By the above it is concluded that the PAK is not a viable solution to deal with droughts that occur in different places of the country.

Key words: Crimson seedless, characteristic curve, clay loam, potassium polyacrylate, sandy loam.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos está disminuyendo en varios lugares del mundo, siendo una de las principales causas el déficit hídrico, por lo que realizar un manejo más eficiente en la producción de cultivos es una preocupación para hacer frente a las crecientes necesidades de la población (Yanzdani *et al.*, 2007).

Chile es el principal exportador a nivel mundial de uva de mesa, con un 18,7% de participación en el mercado (CCI, 2013, citado por ODEPA 2013). Según el censo agropecuario realizado por ODEPA-INE en 2007, la Región de O'Higgins comprende un 8,2% de la superficie nacional dedicada a los cultivos. De esta superficie, un 38,8% corresponde a plantaciones forestales, 15,6% a cereales, 21,5% a frutales y un 9,9% corresponde a viñas y parronales, abarcando una superficie de 16.941,6 ha (ODEPA, 2014). Dada la superficie que ocupa la uva de mesa en la región, es importante evitar que ocurra un déficit hídrico en cualquier estado de crecimiento, en especial entre floración y pinta, ya que se limita la producción y la calidad de la fruta (INIA, 2011).

Debido a que el agua ha pasado a ser un factor limitante para el desarrollo de la agricultura en Chile, se han mejorado las técnicas de riego y se han creado numerosos productos para hacer un uso más eficiente del agua, entre los que se encuentran aquellos formulados en base a polímeros. Un polímero es un material de alto peso molecular que al ser sintetizado puede dar como resultado materiales hidrófilos o hidrófobos (Orzolek, 1993). Los polímeros que están disponibles comúnmente se clasifican de 3 formas, según la familia química del cual provengan: co-polímeros, alcoholes polivinílicos y poliacrilamidas (Woodhouse y Johnson, 1991). A la familia de las poliacrilamidas se le ha dado uso en la agricultura, ocupando los polímeros hidrófilos. Estos son grandes absorbentes de agua que han sido ocupados en la industria de los pañales y que se han ido insertando en el mundo agrícola, donde se registran sus primeros usos en invernaderos y luego para la producción de vegetales y frutas (Orzolek, 1993). Un polímero hidrófilo puede llegar a absorber hasta 1000 veces su peso en agua, por lo que son promovidos como enmiendas para reducir las frecuencias de riego en diversos cultivos, promover el crecimiento de este y aumentar la retención de nutrientes (Foster y Keever, 1990). Este tipo de compuesto es capaz de llegar a retener un 95% del total del agua absorbida disponible para la planta (Yanzdani *et al.*, 2007) formando fragmentos de gel que actúan como pequeños reservorios de agua en el suelo, por lo cual el agua puede ser extraída a partir del gel por la succión ejercida por raíces de las plantas o se puede perder lentamente a la atmósfera por evaporación (Woodhouse y Johnson, 1991).

En el mercado, los polímeros mayoritariamente utilizados en agricultura son los poliacrilatos de sodio, sin embargo, éste ha sido sustituido por poliacrilatos de potasio, ya que este último reduce la toxicidad en las plantas (Orzolek, 1993). Araya (1997), señala que, en un experimento de laboratorio realizado con poliacrilato de sodio, este poseía un potencial de absorción de 350 vpi (veces su peso inicial) mientras que el poliacrilato de potasio posee un

potencial de absorción menor, correspondiente a 120 vpi.

Se han llevado a cabo ensayos con plántulas de tomate, ya que estas poseen un rápido crecimiento y son bastante sensibles a los cambios de humedad (Adams y Lockaby, 1987). En suelos con estos cultivos se encontró que hidrogeles aumentan el porcentaje de saturación y reducen la densidad aparente, aumentan significativamente el crecimiento vegetativo y productivo (Hayat y Ali, 2004), aumentan el porcentaje de germinación de las plántulas en suelos con hidrogeles, disminuyen los efectos negativos de la salinidad del suelo (Rojas *et al.*, 2006). Por otra parte se encontró que a los 18 días luego de haberles cortado el riego a plántulas de tomate, en un sustrato de turba con vermiculita y perlita, a mayor dosis del producto mayor era la probabilidad de sobrevivencia de las plantas. (Adams y Lockaby, 1987).

Efectos sobre propiedades físicas y químicas de suelo se han detectado al realizar aplicaciones de polímeros hidrofílicos. En Irán, donde se evaluó el efecto de los polímeros hidrofílicos, se obtuvo que las plantas que se cultivaban en suelos salinos tenían mermas en su crecimiento, sin embargo, las plantas que se cultivaron en suelos salinos con presencia de estos polímeros obtuvieron una mayor biomasa que las plantas testigo (Dorrají *et al.*, 2010). Al realizar aplicaciones de estos tipos de productos se detectaron cambios en los valores de densidad aparente, ya que mientras más es la cantidad del producto a aplicar más bajo es el valor de la densidad aparente (Al-Harbi *et al.*, 1999). Al cambiar la densidad, aparente lo que cambia es el espacio poroso del suelo, lo que también estaría cambiando el grado de compactación del suelo. Estos parámetros afectan el óptimo crecimiento de raíces de las plantas, ya que con rangos de 1 a 2 MPa de resistencia a la penetración hay restricciones en el desarrollo radicular de cultivos (Letey, 1985) y valores de 1,5 a 2,5 MPa comienzan a generarse limitaciones para el desarrollo de raíces en árboles frutales (Threadgill, 1982).

Entre los nuevos productos de polímeros hidrofílicos se encuentra AquaViva®, distribuido por la empresa Aberiego, este es un polímero con gran capacidad absorbente. Según la empresa, el producto ofrece una gran variedad de efectos, tanto en la planta como en el suelo. Entre estos se menciona su permanencia, una reducción de hasta un 50% de la frecuencia de riego y mejora en las propiedades físicas de los suelos compactos, favoreciendo el crecimiento de raíces y evitando el decaimiento de estas, ya que según Selles y Ahumada (2000), a mayor resistencia a la penetración hay un menor crecimiento radicular, lo que trae como consecuencia una menor absorción de nutrientes y agua, esto resulta en plantas más débiles. También se indica que el producto refuerza el crecimiento de la planta, genera plantas más vigorosas y de mejor desarrollo y crecimiento, aumenta el porcentaje de sobrevivencia de las plantaciones y protege el medioambiente contra la sequedad y la contaminación de las aguas (ABEriego, s.f.).

Sin embargo, Malik y Letey (1992) señalan que aplicaciones de estos polímeros pueden alterar actividades fisiológicas de las plantas durante su crecimiento, obstruyendo los poros de la superficie de los agregados del suelo debido a su alta viscosidad y peso molecular, lo cual impediría la respiración de las raíces y de otros organismos aeróbicos.

Objetivo general

Evaluar el efecto del PAK sobre las propiedades físicas del suelo cultivado con vid, como paliativo para la problemática de la escases hídrica producto de la sequía.

Objetivo específico

Evaluar los cambios en el potencial xilemático, densidad aparente, resistencia a la penetración, capacidad de retención de agua y conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) del suelo, en función de las dosis de poliacrilato de potasio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio consistió de experimentos en campo y en macetas. En campo se utilizaron dos predios con suelos contrastantes ubicados en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. El primero se localizó en el fundo Santa Marta, en la localidad de Naicura, Comuna de Quinta de Tilcoco ($34^{\circ}19'42''$ latitud sur, $70^{\circ}55'30''$ longitud oeste), el cual posee un suelo delgado, dominado por texturas franco arenosas, perteneciente a la serie de suelo Cachapoal (Vargas *et al.*, 2000). El segundo predio se localizó en el fundo El Boldar, localidad de Corcolén, Comuna de Malloa ($34^{\circ}24'45''$ latitud sur, $71^{\circ}01'47''$ longitud oeste), el cual posee un suelo moderadamente profundo, con una textura franco arcillosa, perteneciente a la serie de suelo Corcolén (Rojas-Walker y Chacón, 2007).

Las características de clima en ambos predios son similares debido a su cercanía. La temperatura máxima registrada en el mes más cálido es de $29,1^{\circ}\text{C}$, con una temperatura mínima registrada en el mes más frío de $4,4^{\circ}\text{C}$, promedio anual de precipitaciones de $641,9$ mm y una evapotranspiración potencial (ETp) anual de $1111,3$ mm (Uribe *et al.*, 2012).

El Fundo Santa Marta posee un parrón español con uva de la variedad Crimson Seedless en un marco de plantación de $3,5$ m x 3 m, con un riego por goteo de línea simple, la distancia entre emisor es de $0,75$ m, con un gasto de $4\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ por emisor. El Fundo el Boldar posee un parrón español con uva de la variedad Crimson Seedless, en un marco de plantación de 4 m x $2,3$ m, con riego por goteo en línea simple, la distancia entre goteros es de $0,7$ m, con un gasto de $4\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ por emisor.

El ensayo en macetas se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile ($33^{\circ}34'16,68''$ latitud sur, $70^{\circ}38'10,77''$ longitud oeste), comuna de La Pintana, Región Metropolitana, con un registro de temperatura máxima en el mes más cálido de 28°C , la temperatura mínima registrada en el mes más frío es de $4,3^{\circ}\text{C}$, el promedio anual de precipitaciones es de $384,3$ mm y una ETp anual de $1135,9$ mm (Uribe *et al.*, 2012).

Producto

Se evaluaron los efectos del producto Aquaviva® (poliacrilato de potasio) en uva de mesa,

variedad Crimson Seedless.

Se utilizaron 3 dosis del producto; $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (50% dosis recomendada, T1), $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (100% dosis recomendada, T2) y $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (150% de dosis recomendada, T3). Estas dosis fueron evaluadas en los ensayos de terreno y de macetas; además, se estableció un tratamiento T0, el cual funcionó como testigo, recibiendo las mismas intervenciones tanto en terreno como en macetas, pero sin aplicación del producto.

El establecimiento de los ensayos en terreno se realizó durante el mes de noviembre del año 2013 hasta el mes de enero de 2014. Se realizó una única aplicación para las diferentes dosis, estas se aplicaron al voleo, sobre una taza de unos 30 cm de profundidad y una superficie de 1 m^2 , teniendo como centro la vid. La excavación se realizó manualmente, lo que permitió a medida que el producto se iba agregando al suelo ser mezclado con este, para ser posteriormente incorporado en la taza. Con respecto al tratamiento T0, este fue intervenido de la misma manera mencionada, sin la incorporación del producto.

El establecimiento de los ensayos en maceta se realizó desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre de 2013. El producto tuvo una única aplicación en las macetas con las dosis correspondientes. Se utilizaron macetas de un volumen de 1 m^3 (0,5 m de alto y 0,6 m de diámetro) las cuales fueron llenadas con suelo de tres clases texturales contrastantes donde el factor que marcó la diferencia es el porcentaje de arcilla; franco arcillosa (con 34% de arcilla) franca (con 22% de arcilla), y franco arenosa (14% de arcilla). Cada maceta fue llenada con una mezcla suelo-producto homogenizada previamente con una betonera. El suelo se encontraba seco y desintegrado, sin un tamaño mínimo o máximo de fragmentos Finalmente en cada maceta se plantaron vides de la variedad Crimson Seedless, de un año, francas en bolsa, provenientes de vivero.

Evaluaciones de planta

En el ensayo de terreno la unidad experimental fueron 3 plantas de vid y 4 unidades experimentales por tratamiento (repeticiones), de las cuáles solo en la central se realizó aplicación del producto y fue la unidad de observación para evitar el efecto borde. Se realizaron mediciones de las propiedades físicas del suelo y de planta a los 2 meses (primer período de medición) y a los 6 meses (segundo período de medición) luego de haber montado el ensayo.

En el ensayo de macetas la unidad experimental fue una planta de vid en 1 maceta y 4 unidades experimentales por tratamiento (repeticiones). Se realizaron mediciones de las propiedades físicas del suelo y de planta a los 4 meses (primer periodo de medición) y a los 10 meses (segundo período de medición) luego de haber montado el ensayo.

Se evaluó el potencial xilemático a medio día con días sin nubosidad en las unidades experimentales. Para determinarlo se utilizó una cámara de presión, tipo Schollander (M600, PMS Instrument Company, USA). Se realizaron 4 mediciones durante el primer periodo de medición tanto en terreno como en maceta y se realizaron 3 mediciones durante el segundo periodo de medición en macetas, esto se hizo a medio día, seleccionando 4 hojas (para terreno) y 2 hojas (para macetas) por planta, las hojas fueron envueltas en bolsas de aluminio, para así poder estabilizar el potencial de la hoja con el potencial hídrico xilemático (Turner, 1981). Luego de un tiempo de 60 minutos se procedía a medir el potencial xilemático.

Estas evaluaciones se llevaron a cabo luego de un riego abundante, de manera tal de asegurar la sobrevivencia de la planta hasta terminar con el periodo de medición, tanto en terreno como en macetas. Una vez iniciado el período de mediciones no se volvió a regar hasta finalizar con este.

En el predio ubicado en la localidad de Corcolén el riego se realizó el día 24 de enero, las mediciones de potencial xilemático se llevaron a cabo el día 25, 27 y 29 de enero y el día 4 de febrero (1, 3, 5 y 11 días después del riego respectivamente).

En la localidad de Naicura, el último riego antes que se realizaran las mediciones se realizó el día 21 de febrero, las mediciones se realizaron los días 22, 24 y 28 de febrero y el día 6 de marzo (1, 3, 7 y 13 días después del riego respectivamente).

En macetas en el primer período de medición se realizó el riego el día 22 de marzo, las mediciones se hicieron los días 24 y 26 de marzo y los días 5 y 12 de abril (2, 4, 14 y 21 días después del riego respectivamente). Antes de comenzar con el segundo periodo de medición se realizó un riego el día 12 de noviembre y las mediciones se hicieron los días 14, 20 y 26 de noviembre (2, 8 y 14 días del riego respectivamente).

Evaluaciones de suelo

Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Las propiedades físicas de suelo, evaluadas tanto en el ensayo de terreno como en el de macetas, fueron:

a) Densidad aparente, a través del método del cilindro (Blake y Hartge, 1986), para lo cual se obtuvieron 2 muestras por unidad experimental en terreno. En maceta se escogió 1 muestra por unidad experimental.

b) Curvas características, las cuales se determinaron a 4 tensiones, -2 hPa, -6hPa, -330hPa y -15000hPa (Dane y Hopmans, 2002) y se tomaron 2 muestras de suelo por unidad

experimental en terreno, a los 0-20 cm de profundidad y de 20-40 cm de profundidad, y una muestra por unidad experimental en macetas (de la superficie de la maceta). Para determinar las curvas características se utilizó una cámara de arena (Sandbox, Eijkelkamp, Holanda), olla a presión (1600 Pressure Plate Extractor 5 Bar, Soilmoisture Equipment Corp, USA) y plato a presión (1600 Pressure Membrano Extractor 15 Bar, Soilmoisture Equipment Corp, USA).

c) Resistencia a la penetración del suelo (Lowery y Morrison, 2002), con un penetrológico (Penetrologger, Eijkelkamp, Holanda), en terreno se realizaron 4 mediciones por unidad experimental en la localidad de Corcolén. En la localidad de Naicura no se realizaron mediciones debido al alto grado de pedregosidad que el suelo poseía, impidiendo el correcto uso de los instrumentos. Finalmente se realizó una medición en las unidades experimentales de maceta. Las mediciones se realizaron luego de un riego abundante, con la intención de que el suelo estuviese a capacidad de campo.

d) Conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), se utilizó un minidisco infiltrómetro (Minidisk Infiltrometer, Decagon Devices, USA), donde se obtuvo la conductividad hidráulica no saturada a partir de los datos obtenidos (Zhang, 1997), la cual luego fue procesada para obtener la conductividad hidráulica saturada (Casanova *et al.*, 2009). Esto se realizó a 3 tensiones diferentes (-1, -3 y -6 hPa), durante 10 minutos cada una, llevando a cabo dos repeticiones por unidad experimental en terreno y una repetición por unidad experimental en macetas; además para garantizar un buen contacto entre la membrana porosa del disco y el suelo se aplicó una capa delgada de arena fina sobre la superficie del lugar de medición.

e) Tanto en campo como en macetas se realizó un monitoreo discreto del contenido de agua volumétrico (θ) del suelo con sensores FDR (GS3, Decagon Devices, USA). Bajo la línea de mojado del gotero se determinó el θ a los 5, 10 y 15 cm de profundidad. Esto se hizo realizando una calicata en los mismos días en que se midió el potencial xilemático, de manera de tener un enfoque más amplio del estado hídrico de la planta.

Análisis estadístico

En cuanto a las actividades que se llevaron a cabo en maceta, se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con estructura factorial de tratamientos. Como se puede observar en la Figura 1, el factor aplicación de PAK tuvo 4 niveles (T0: sin aplicación de PAK, T1: aplicación de 50% de dosis recomendada de PAK, T2: aplicación de 100% de la dosis recomendada, T3: aplicación de 150% dosis recomendada) y el factor suelo tuvo 3 niveles (suelos franco arcilloso, franco y franco arenoso), cada uno con 4 repeticiones.

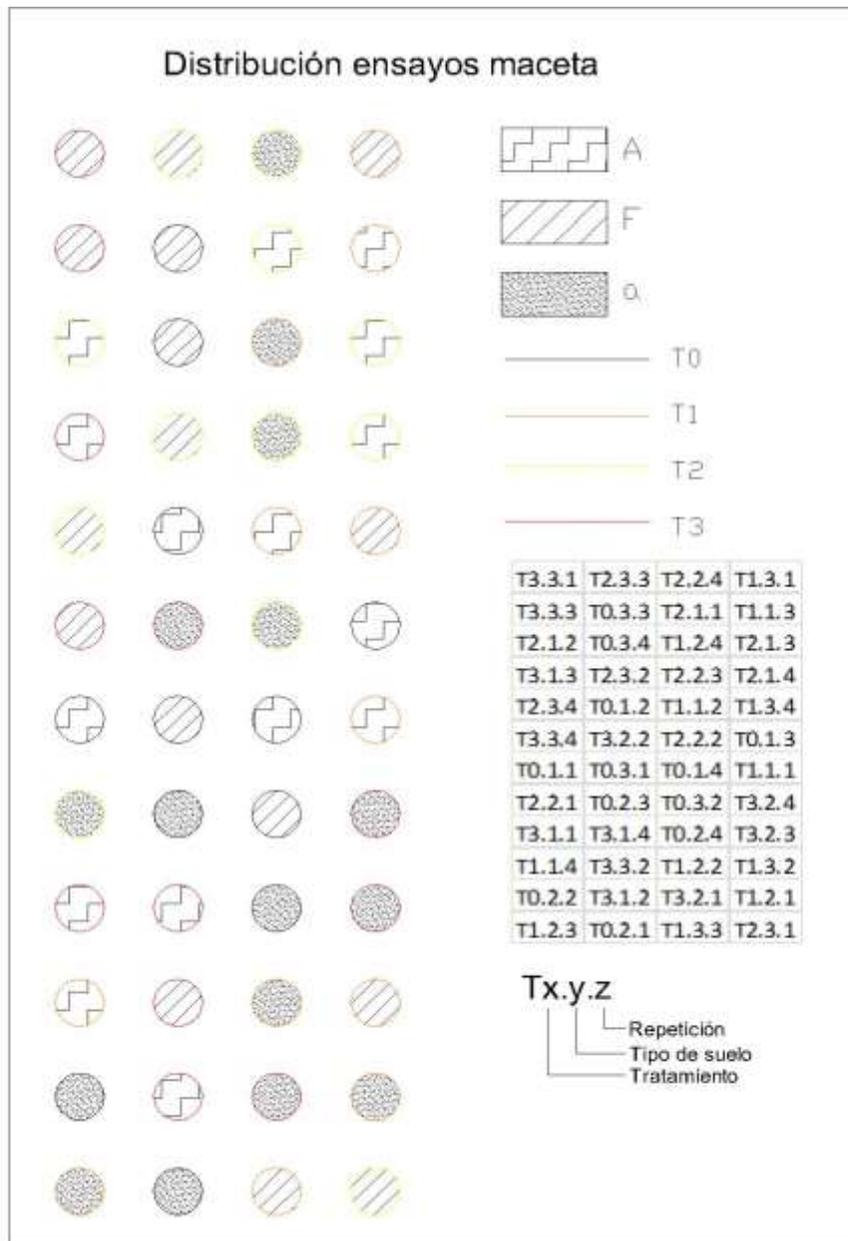


Figura 1. Distribución (aleatoria) de unidades experimentales del ensayo en macetas con suelos franco arcilloso (FA), franco (F) y franco arenoso (Fa).

Para el experimento que se realizó en terreno se ocuparon 2 campos (Fundo el Boldar y Fundo Santa Marta) y en ambos casos el diseño experimental fue un diseño en bloques completamente aleatorizado, bloqueado por hilera de plantas, dando como resultado 4 bloques (4 hileras, los cuales corresponden a G1, G2, G3 y G4). El factor tratamiento tuvo 4 niveles (T0: tratamiento testigo, T1: aplicación de 50% de dosis recomendada de PAK, T2: aplicación de 100% dosis recomendada, T3: aplicación de 150% dosis recomendada) y cada nivel tuvo 4 repeticiones; los suelos de cada predio son contrastantes entre sí. Como se puede observar en la Figura 2, la unidad experimental fueron 3 plantas, de las cuales sólo en la

central se aplicó el producto y fue la unidad de observación para evitar el efecto borde.

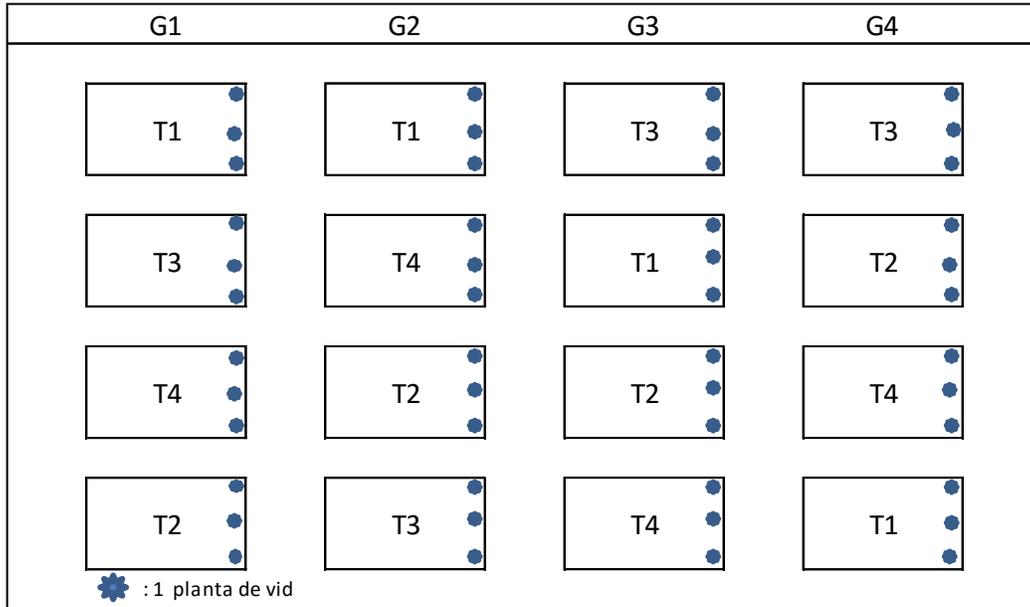


Figura 2. Distribución de bloques, tratamientos y unidades experimentales en los campos.

Tanto para el experimento en terreno como en maceta los datos fueron sometidos previamente al análisis de varianza ($p < 0,05$), en el caso de presentar diferencias estadísticamente significativas estos fueron sometidos a la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p < 0,05$).

En terreno y en maceta las pendientes e intercepto de las curvas características de los suelos fueron analizadas estadísticamente con una prueba t de Student, con un $\alpha = 0,05$, $n = 10$ (debido a las 5 tensiones ocupadas por tratamiento) y 8 grados de libertad (grados de libertad = $n - 2$), comparando de a pares entre tratamientos tanto el intercepto como la pendiente. Para realizar esto primero fueron sometidos los datos de contenido de agua de cada tensión y tratamiento a una transformación logarítmica. Los tratamientos y número de repeticiones por tratamiento fueron los mismos que se utilizaron para el análisis estadístico de las evaluaciones de terreno y macetas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones en terreno

Evaluaciones de planta

Potencial xilemático. En la Figura 3 se puede observar la evolución del potencial xilemático de las plantas testigos y de las plantas sometidas a las dosis de PAK, luego del riego aplicado.

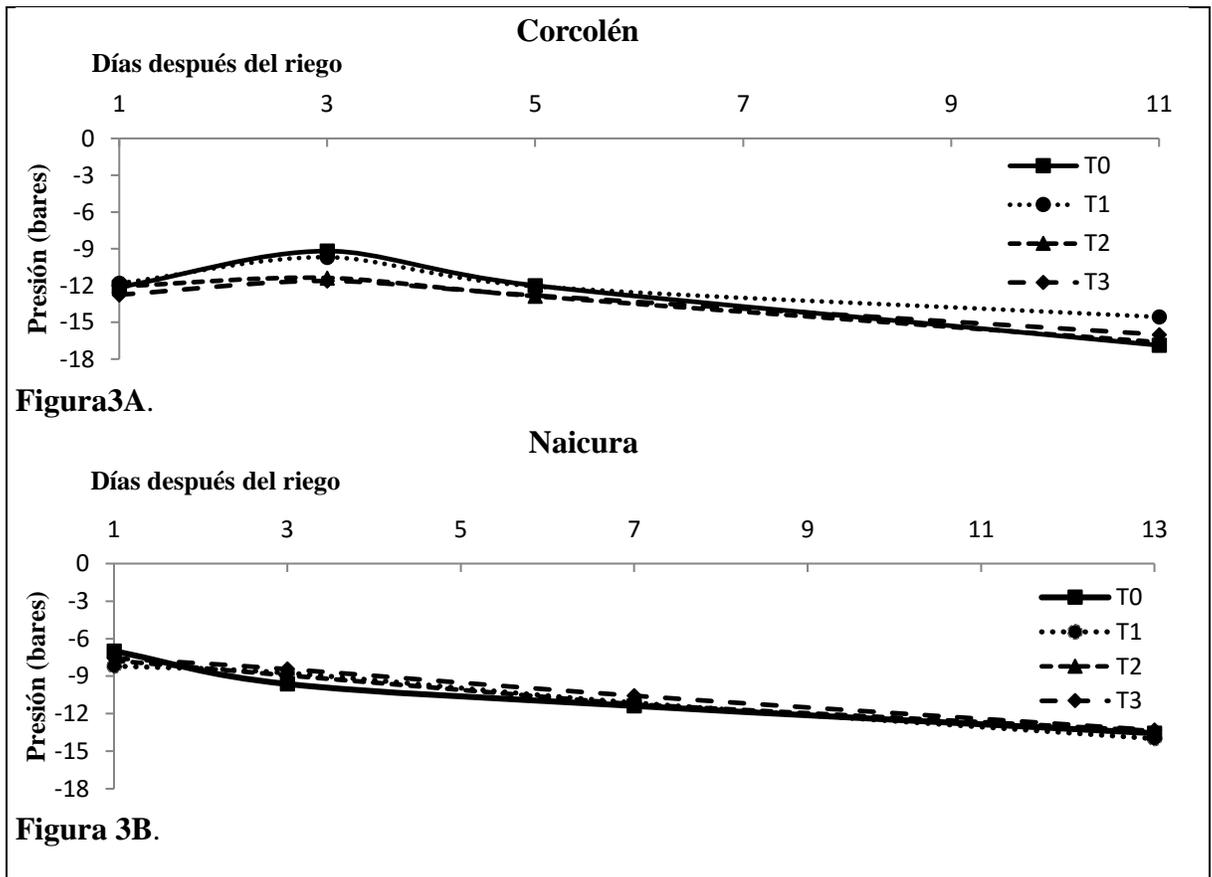


Figura 3. Evolución del potencial xilemático, 2 meses después de haber aplicado el producto en la localidad de Corcolén (Figura 3A) y Naicura (Figura 3B). Datos representan valores promedio de cada tratamiento.

Como se puede observar en la Figura 3A (Corcolén), todos los tratamientos inician el periodo de medición con un nivel de estrés, ya que en plantas de la variedad Crimson Seedless mediciones de potencial xilemático adecuadamente regadas, en la localidad de Curimón, dieron como óptimo de riego valores de -7 a -8 bares (Sellés y Ferreyra, 2007). Al inicio de las mediciones, los valores registrados son bastante similares en todos los tratamientos, lo cual es apoyado estadísticamente, según los apéndices I y II. Se aprecia que después del 5 día de haber realizado el riego, en la Figura 3A, comienza una clara caída de potencial xilemático en todos los tratamientos, mostrando tasas de caída similares en todos los tratamientos.

En la Figura 3B (Naicura), contrario a lo observado en la Figura 3A, se puede apreciar como las vides comienzan el periodo de medición sin registrar estrés según Sellés y Ferreyra (2007), además de que las diferencias de potencial entre los tratamientos es aún menor, mostrando, al igual que la Figura 3A, tasas de caída bastante similares.

Se esperaba ver en los gráficos un mayor efecto del producto, en donde el suelo mezclado con PAK debe retardar la entrada en estrés hídrico. Lo anterior se debiese evidenciar en las pendientes de las curvas obtenidas, siendo las pendientes menores en los tratamientos que poseen una mayor dosis de PAK. Sin embargo, los resultados obtenidos incluso en Naicura (franco arenoso) donde se esperaba una señal más clara, muestran que las pendientes fueron bastante similares.

Como se mencionó anteriormente, no se observan diferencias entre los tratamientos y no se encontró diferencias significativas entre la respuesta de la vid, en ambas localidades, versus la dosis de PAK aplicada al suelo (apéndices I y II). La ausencia de diferencias se pueden explicar ya sea por un bajo impacto de las dosis utilizadas en el retraso de la entrada en estrés hídrico de la vid, o porque la forma de incorporación del producto al suelo pudo afectar la masa radicular por igual a todos los tratamientos, generando daños en raíces finas, las cuales están directamente relacionadas con la absorción de agua y nutrientes, (Soza *et al.*, 2007).

Contenido de agua en el suelo. En las Figura se presentan los datos registrados del contenido de agua en el suelo en ambas localidades.

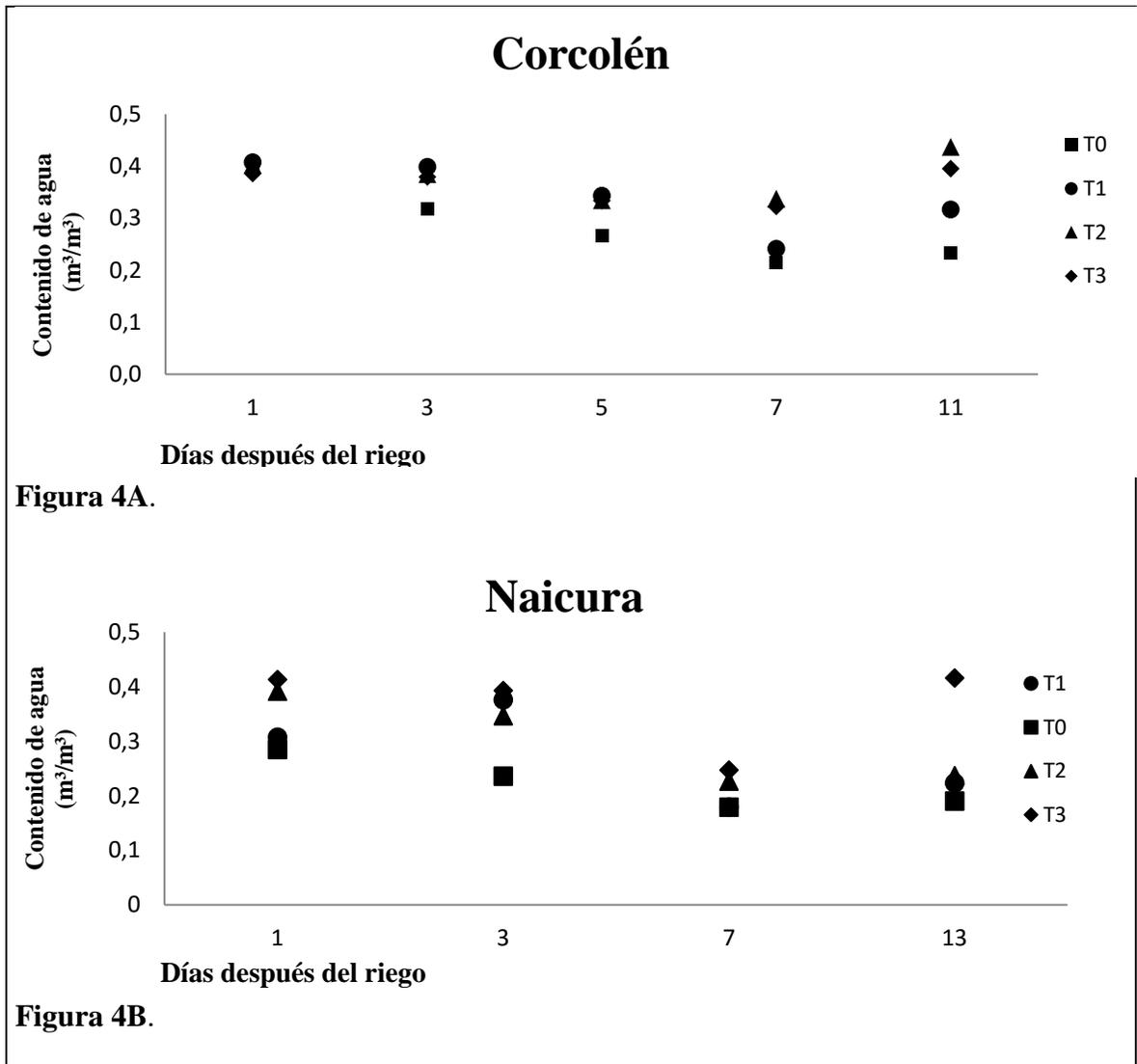


Figura 4. Seguimiento del contenido de agua del suelo registrado en la localidad de Corcolén (Figura 4A) y Naicura (Figura 4B), 2 meses después de haber aplicado el producto, valores promedios de contenido de agua en el suelo, registrado con GS3 durante los mismos días en que se registró el potencial xilemático. Datos representan valores promedios de cada tratamiento.

En la Figura 4A (Corcolén) se puede apreciar una disminución sostenida en el tiempo del contenido de agua en el suelo en todos los tratamientos, lo cual concuerda con los datos registrados de potencial xilemático; sin embargo, en el segundo y último día de medición no hay concordancia en los datos de contenido de agua y potencial xilemático, ya que el 3 día después del riego se produce un aumento del potencial, mientras que el contenido de agua disminuye. Probablemente esto se debe a un error de muestreo del potencial. Así mismo, en el último día de medición hay un aumento en el contenido de agua, esto se produjo posiblemente porque la medición se hizo en una zona con alta concentración del producto,

ya que al observar el potencial xilemático este registra los mayores niveles de estrés.

En la Figura 4B (Naicura) al observar los datos se puede apreciar algo similar a lo ocurrido en la localidad de Corcolén, ya que si bien comienzan con valores diferentes el primer día de medición estadísticamente no existieron estas diferencias (Apéndice IV). Se observan valores distintos en las mediciones del contenido de agua, donde los tratamientos con dosis de PAK registran mayores contenidos, lo cual era lo esperado, ya que según Camilia (2011), en trabajos previos con hidrogeles, los productos de polímeros hidrofílicos cuando son mezclados con suelos arenosos, estos se asocian rápidamente con el agua de riego, lo que genera que se forme un gel, resultando en un aumento en la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Al comparar estos valores con los registrados de potencial xilemático, las disminuciones del contenido de agua concuerdan con el aumento en el nivel de estrés en las vides, a excepción del último día, donde se registra un alza en el contenido de agua en el suelo, lo cual, al igual que en Corcolén, pudo ocurrir debido a que se midió en una zona donde la relación producto/suelo era muy alta. A pesar de que hay una relación entre la caída del contenido de agua y el estrés en las vides, no se encuentra una relación entre las dosis PAK y su efecto en planta y una escasa relación entre la dosis de PAK y el contenido de agua en el suelo, ya que los contenidos de agua de T2 son bastantes similares en algunos casos a los de T1 y al final del periodo los valores de estos dos últimos no difieren bastantes de T0.

Es importante mencionar que rangos promedios de capacidad de campo para suelos franco arcillosos registran valores aproximados de un 35% y para suelos franco arenosos adquieren valores aproximados a un 18% (Warrick, 2002). Al observar los valores registrados en la localidad de Corcolén se nota que el contenido de agua en los tratamientos T2 y T3 estuvo siempre con valores superiores a capacidad de campo. En Naicura también se distingue que los tratamientos con mayores dosis de PAK obtuvieron los mayores contenidos de agua durante todo el período de medición, obteniendo valores muy por el promedio de un suelo arenoso sin PAK, sin embargo, el tratamiento testigo también obtuvo valores cercanos a capacidad de campo, pero no superiores.

A pesar de que se produjo un aumento en el contenido de agua en el suelo, esto no trajo ningún beneficio a la planta ya que la tasa de caída de potencial xilemático era muy similar en todos los tratamientos.

A pesar de que el análisis estadístico (Apéndices III y IV) no arroja una clara diferencia entre las dosis aplicadas, si se pudo observar que a mayor contenido de PAK mayor fue el contenido de agua volumétrico en el suelo, ya que en ambas localidades los tratamientos con mayor dosis obtuvieron contenidos de agua más altos.

Evaluaciones de suelo.

Curva característica. En la Figura 5 se pueden observar las curvas de retención de agua a

diferentes tensiones, para cada tratamiento en ambos periodos de medición.

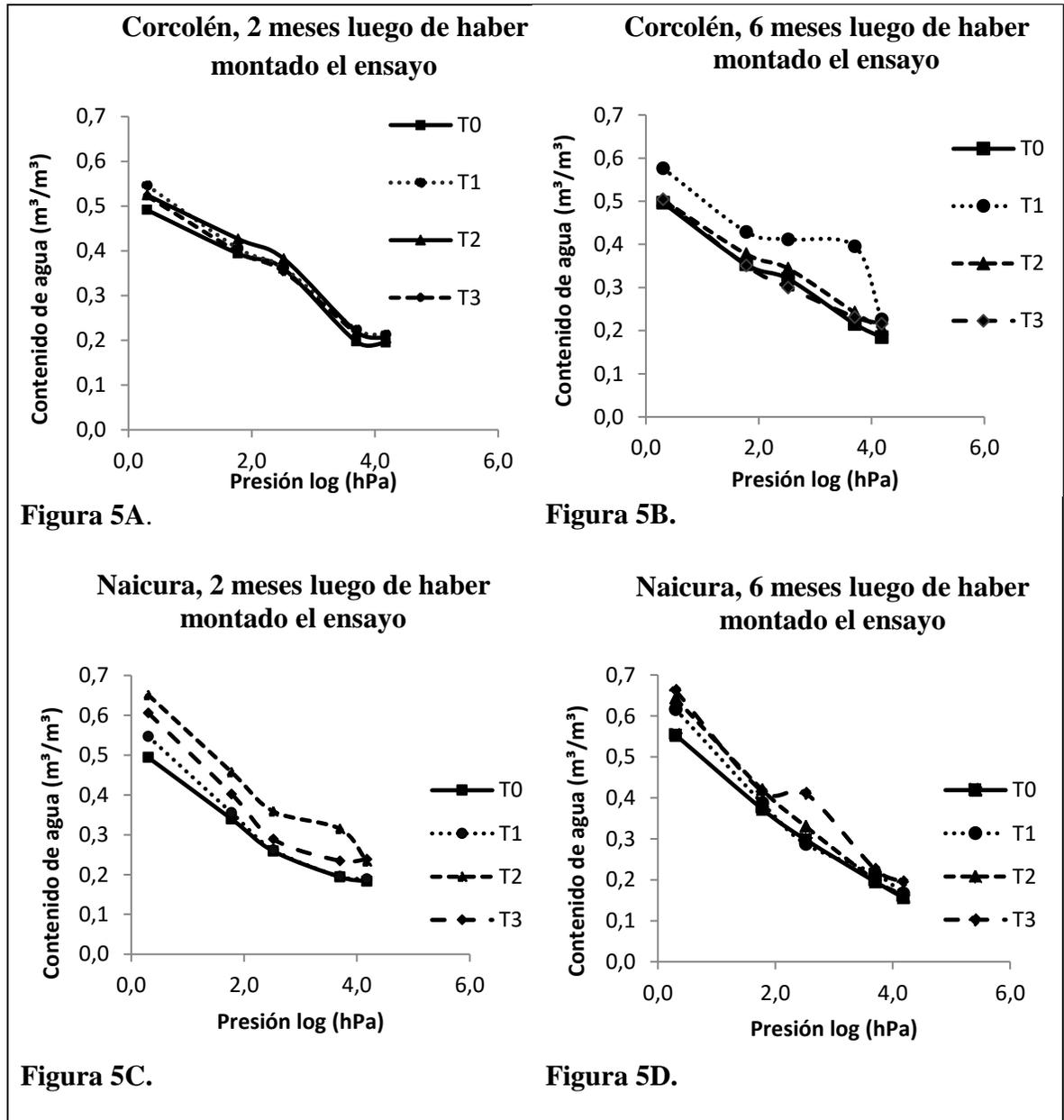


Figura 5. Curva de retención de agua a diferentes presiones y a diferentes dosis de PAK, para la localidad de Corcolén, a los 2 (Figura 5A) y 6 (Figura 5B) meses luego de montar el ensayo, para la localidad de Naicura, a los 2 (Figura 5C) y 6 (Figura 5D) meses luego de montar el ensayo, datos representan valores promedios de cada tratamiento.

Como se puede observar en la Figura 5A y en la Figura 5B, no hay diferencias notorias entre tratamientos, ya que las tasas de cambio del contenido de agua a distintas tensiones es similar. El tratamiento T1 en el segundo periodo en la localidad de Corcolén presentó un comportamiento diferente, donde se ve una pendiente bastante baja del agua retenida en

comparación con los demás tratamientos. Se estima que el material utilizado (muestra) para este contenía una alta concentración del producto, lo que podría haber producido un aumento de la retención de agua mucho mayor a lo esperado a la luz de los resultados de la primera etapa. Cercano a los 1500 kPa (pF 4,2) se produce un brusco aumento de la pendiente, ocurriendo una alta liberación del contenido de agua, registrando posteriormente valores más similares a los obtenidos por el resto de los tratamientos. Esto pareciera indicar que a mayores concentraciones del producto se produce un mayor aumento en la retención de agua, pero no así una mayor disponibilidad para las plantas, ya que las mayores cantidades de agua liberadas se producen cuando se aplican tensiones cercanas a las de agua no aprovechable para las plantas. En cuanto a los demás tratamientos, en ambos periodos en Corcolén, la diferencia en la tasa de cambio de contenido de agua por variación de potencial es prácticamente la misma.

Con respecto a las Figuras 5C y 5D, se observa que para una misma tensión la cantidad de agua retenida es mayor en los tratamientos con dosis de PAK, siendo esta diferencia menor en la Figura 5D. En la Figura 5C se observa que a pesar que el punto de partida por tratamiento es diferente, las tasas de cambio en los tratamientos son similares, esto estaría afirmando lo anteriormente mencionado, el producto produjo el aumento de retención de agua esperado, pero no la deja disponible para rangos aprovechables usados por las plantas.

Como se puede observar en el Cuadro 1 al realizar la prueba t de Student, se obtuvo que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes y el intercepto de los tratamientos, por lo que las tasas de cambio en las pendientes de las curvas de los tratamientos son iguales, es decir, el producto no genera una mayor disponibilidad de agua para las vides en los rangos de agua aprovechable por las plantas.

Cuadro 1. Pendientes e interceptos de las curvas características luego que se les aplicara una transformación log-log, para ambos periodos de medición y localidades.

Tratamiento	Pendiente (%)	Intercepto con eje y	Pendiente (%)	Intercepto con eje y
	Naicura, 2 meses luego de montar el ensayo		Naicura, 6 meses luego de montar el ensayo	
T0	-0,11a	1,72a	-0,14a	1,81a
T1	-0,12a	1,76a	-0,14a	1,83a
T2	-0,11a	1,85a	-0,16a	1,88a
T3	-0,11a	1,79a	-0,14a	1,88a
	Corcolén, 2 meses luego de montar el ensayo		Corcolén, 6 meses luego de montar el ensayo	
T0	-0,11a	1,77a	-0,11a	1,74a
T1	-0,11a	1,79a	-0,08a	1,80a
T2	-0,11a	1,80a	-0,10a	1,75a
T3	-0,11a	1,78a	-0,10a	1,72a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba t de Student ($p < 0,05$).

Conductividad hidráulica saturada (Ksat). En el Cuadro 2 se encuentran los resultados del análisis estadístico realizado en ambas localidades en ambos periodos de medición.

Cuadro 2. Promedios (\pm Desviación Estándar) de conductividad hidráulica saturada medida en ambas localidades a los 2 y 6 meses luego de montar el ensayo.

Tratamiento	Ksat ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$)			
	Corcolén, 2 meses luego de montar el ensayo	Corcolén, 6 meses luego de montar el ensayo	Naicura, 2 meses luego de montar el ensayo	Naicura, 6 meses luego de montar el ensayo
T0	1,32 (\pm 0,46) a	1,46 (\pm 0,13) ab	0,64 (\pm 0,21) a	0,65 (\pm 0,19) a
T1	1,44 (\pm 0,47) a	1,26 (\pm 0,28) b	0,87 (\pm 0,04) a	0,49 (\pm 0,62) a
T2	1,30 (\pm 0,43) a	1,95 (\pm 0,63) a	0,78 (\pm 0,19) a	0,98 (\pm 0,85) a
T3	1,17 (\pm 0,56) a	1,19 (\pm 0,15) b	0,95 (\pm 0,13) a	0,99 (\pm 0,45) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Debido al proceso de aumento y disminución de tamaño que tiene el producto, al absorber y liberar agua, este generaría un cierto grado de fracturación en el suelo, lo que debiese aumentar la conductividad hidráulica, siendo esta mayor en los tratamientos que recibieron mayores dosis de PAK. Sin embargo, se puede observar en el Cuadro 2 que no hay una relación directa entre los valores de conductividad hidráulica y la dosis de PAK, por ende no estaría existiendo un efecto del producto sobre esta propiedad del suelo. Más aún al observar los datos no se encuentran diferencias estadísticamente significativas, a excepción del segundo periodo de medición en la localidad de Corcolén, en que T2 obtiene la mayor media mientras que T3 es quien registra los menores valores.

Resistencia a la penetración. En la Figura 6 se observan los datos obtenidos de resistencia a la penetración para la localidad de Corcolén a los 2 (Figura 6A) y 6 (Figura 6B) meses luego de haber montado el ensayo.

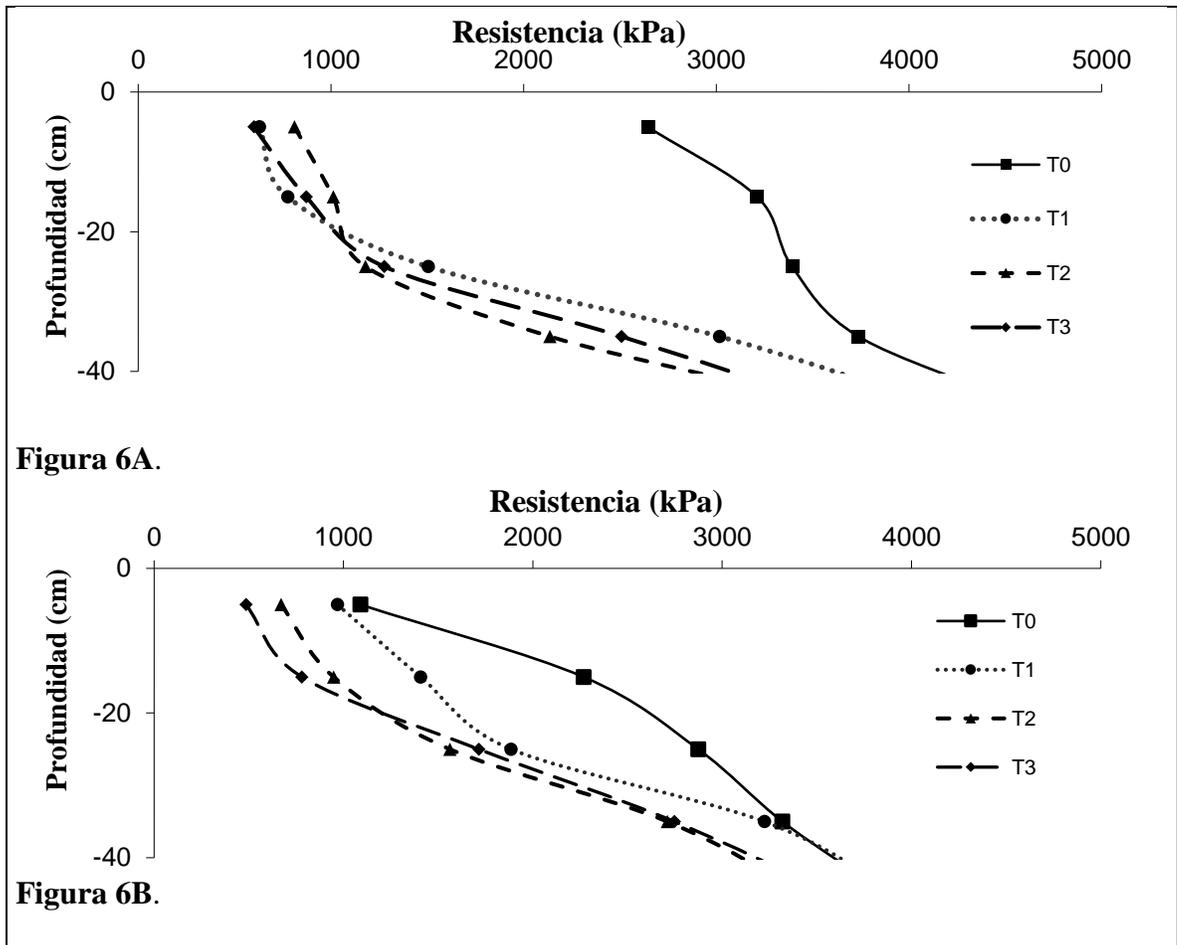


Figura 6. Curvas de resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la localidad de Corcolón a los 2 (Figura 6A) y 6 (Figura 6B) meses luego de haber montado el ensayo. Datos representan valores promedios de cada tratamiento.

En ambas figuras se puede apreciar que el tratamiento T0 posee los mayores valores de resistencia. En la Figura 6A los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron valores bastante similares en los diferentes rangos de profundidad, esto se refleja en el análisis estadístico (Apéndice V).

En la Figura 6B la diferencia entre tratamientos es más marcada, donde en los primeros 20 cm se observa una diferencia entre las distintas dosis y el testigo. Luego de los 20 cm el tratamiento T2 y T3 registran valores bastantes similares, siendo los que poseen una menor resistencia a la penetración, seguidos por T1 y T0.

A diferencia del primer periodo de medición, en donde no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en el segundo periodo destacó el tratamiento T3 con las menores medias y, como es de esperar, el tratamiento testigo es el que resultó con los mayores valores de resistencia a la penetración, ya que como se puede observar en el Apéndice V, de 0-10 cm y de 10-20 cm hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos,

mientras que de 0-30 cm no se detectan estas diferencias entre los tratamientos con dosis de PAK y finalmente de 30-40 no existen diferencias estadísticamente significativas entre ningún tratamiento. Según lo anteriormente mencionado el producto produce un efecto de disminución de la resistencia a la penetración, donde a mayor dosis de PAK mayor es el efecto.

Los valores obtenidos en ambos periodos de medición registran valores similares en los tratamientos con dosis de PAK, mientras que el testigo disminuye los valores en superficie de un periodo a otro. La disminución en el tratamientos testigo podría haber ocurrido por los efectos de la lluvia en el periodo de invierno, lo cual ayudó a que el suelo se asentara mejor, mientras que en los tratamientos con dosis de PAK esto no ocurrió ya que los valores registrados desde un comienzo eran mucho menores a los del testigo, siendo atribuibles estos resultados a los efectos del PAK. Los valores obtenidos por los tratamientos con PAK en los primeros 30 cm, se clasificarían como resistencias bajas (100 a < 1000 kPa) a moderadas (1000 a 2000 kPa), mientras que T0 llega a estos valores en los primeros 10 cm del segundo período de medición. Luego de los 30 cm aproximadamente, las mediciones para todos los tratamientos se encuentra en un rango clasificado como alto (2000 < 4000 kPa) (Schoeneberger *et al.*, 2012).

Obtener menores valores en los tratamientos con producto sería benéfico desde el punto de vista de las raíces, ya que en suelos de texturas más finas el tránsito de maquinaria y de personal tiene un efecto mayor sobre el grado de compactación del suelo, al ocurrir esto se produce una disminución del espacio poroso total y consecuentemente, un aumento de la densidad aparente (Veihmeyer y Hendrickson 1948), lo cual dificulta la infiltración de agua, crecimiento de raíces y absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces (Soza *et al.*, 2005).

Densidad aparente. En el Cuadro 3 se encuentran los resultados del análisis estadístico para ambas localidades en ambos periodos de medición.

Cuadro 3. Promedios (\pm Desviación Estándar) de densidad aparente para cada tratamiento en Corcolén y Naicura, a los 2 y 6 meses luego de haber montado el ensayo.

Tratamiento	Densidad aparente ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$)			
	Corcolén, 2 meses luego de haber montado el ensayo	Corcolén, 6 meses luego de haber montado el ensayo	Naicura, 2 meses luego de haber montado el ensayo	Naicura, 6 meses luego de haber montado el ensayo
T0	1,40 (\pm 0,068) a	1,34 (\pm 0,065) a	1,23 (\pm 0,142) b	1,23 (\pm 0,142) b
T1	1,43 (\pm 0,092) a	1,31 (\pm 0,060) a	1,21 (\pm 0,177) b	1,17 (\pm 0,067) b
T2	1,44 (\pm 0,076) a	1,36 (\pm 0,067) a	1,02 (\pm 0,052) a	1,12 (\pm 0,060)ab
T3	1,46 (\pm 0,113) a	1,27 (\pm 0,142) a	0,97 (\pm 0,136) a	1,01 (\pm 0,065) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Según el análisis estadístico, no hay diferencias significativas en Corcolén a los 2 y 6 meses luego de haber montado el ensayo, sin embargo, en Naicura sí se encuentran estas diferencias, donde a los 2 meses T1 y T0 son iguales y diferentes a T2 y T3, mientras que a los 6 meses destaca T3 por marcar las menores medias y tener letra diferente.

Se puede observar que los datos registrados en la localidad de Naicura son menores en los tratamientos que poseen dosis de PAK, inclusive se registran valores menores de densidad aparente en el suelo arenoso que en el arcilloso, lo cual debería ser al contrario, siendo para suelo franco arenoso valores promedio de $1,4 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $1,8 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ y para suelos franco arcillosos valores promedio de $1 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $1,4 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Warrick, 2002). Al observar los valores obtenidos en la localidad de Corcolén, estos se encuentran dentro del límite del rango esperado para esta textura, mientras que en la localidad de Naicura los valores obtenidos están muy por debajo del rango esperado (Casanova *et al*, 2008). Estas diferencias en la densidad aparente en la localidad de Naicura podrían haber ocurrido debido a la forma en que se comporta el producto y al método en que la densidad aparente es determinada. Al determinar la densidad aparente por el método del cilindro, tanto en Naicura como en Corcolén, el volumen de la muestra es el mismo, pero no así su masa, por lo tanto es probable que la presencia del PAK afecte en mayor medida el peso de una muestra de suelo de texturas gruesas que uno de texturas finas, ya que al absorber agua el PAK aumenta su peso y volumen, por lo tanto al aplicar altas temperaturas por un tiempo prolongado, la masa que poseía se ve reducida drásticamente. Por lo tanto sólo se vio efecto del PAK en la textura gruesa.

Los aumentos y disminuciones de los valores de densidad aparente de un periodo de medición a otro, para un mismo tratamiento, pueden deberse a lo variable que fue el muestreo de suelo, ya que la proporción de producto y suelo puede que no haya resultado tan homogénea como se intentó realizar en el establecimiento del ensayo.

Evaluaciones en macetas

Evaluaciones de planta

Potencial xilemático. En la Figura 7 se encuentra la evolución del potencial xilemático en las tres clases texturales utilizadas en el ensayo de macetas.

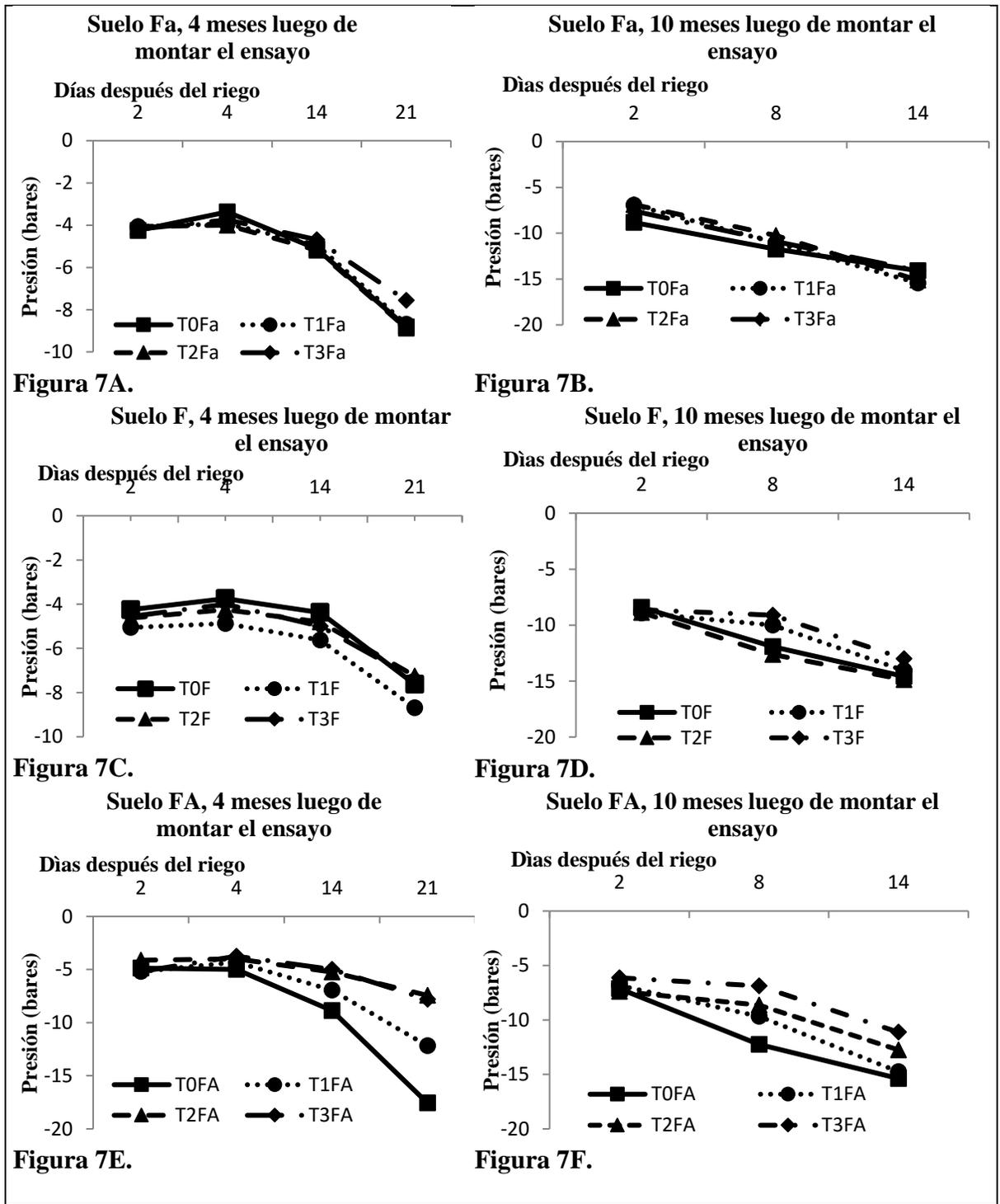


Figura 7. Evolución del potencial xilemático para el suelo franco arenoso a los 4 (Figura 7A) y 10 (Figura 7B) meses luego de haber montado el ensayo, suelo franco a los 4 (Figura 7C) y 10 (Figura 7D) meses luego de haber montado el ensayo y para el suelo franco arcilloso a los 4 (Figura 7E) y 10 (Figura 7F) meses luego de haber montado el ensayo en macetas. Datos representan valores promedio de cada tratamiento.

Como se puede observar en todos los gráficos de la Figura 7, los tratamientos poseen una caída del potencial en el tiempo, acontecimiento que era de esperar, sin embargo, no se encuentra una relación entre las tasas de caída vs la dosis de PAK aplicada.

Se observa que en las tres clases texturales y en ambos periodos de medición los tratamientos comienzan sin evidenciar algún estrés, ya que según Smart (1974), en vides Crimson Seedless se ha determinado un potencial de agua en la hoja o tensión crítica a la cual se cierran los estomas de -13 bares. Simultáneamente se ha determinado que la vid disminuye la fotosíntesis a medida que la tensión a la cual el agua se encuentra en la hoja se acerca a -5 bares (Hardie y Considine, 1976).

Al observar las Figuras 7E y 7F, pareciese ser que existe un efecto del producto sobre el potencial xilemático, ya que a los 4 meses luego de haber montado el ensayo se ve que las plantas con mayor dosis de PAK registran valores de potencial que indican un menor estrés, mientras que el tratamiento testigo es el que posee los menores valores de potencial, tendencia que se mantiene a los 10 meses luego de haber montado el ensayo. No se tiene una explicación concreta de por qué el producto manifestó un efecto en el suelo franco arcilloso y no en el suelo franco arenoso, que es donde se esperaba ver un mayor efecto, debido a la escasa retención de agua que poseen estos tipos de suelos. Es probable que el producto potenciara la retención de agua que posee el suelo franco arcilloso, además de mejorar la aireación de este.

En las Figuras 7A, 7C y 7E se observa un alza en el potencial al segundo día de medición, esto se debe a que se produjo un ingreso de agua al sistema, ya que por motivos de obstrucción de goteros se tuvo que volver a regar.

Pese a que se logra observar una cierta tendencia en la caída de potencial xilemático, el análisis estadístico no arrojó interacción entre los niveles de los factores suelo y los niveles del factor dosis PAK en ninguna de las fechas en que se realizaron las mediciones, a excepción de los 14 y 21 días luego de haber montado el ensayo, por lo que en esas fechas se procedió a evaluar los efectos de los niveles del factor suelo sobre los niveles del factor dosis PAK y viceversa, donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la dependencia del efecto dosis PAK sobre los niveles del factor suelo, ni dependencia del efecto del factor suelo sobre los niveles del factor dosis PAK, a excepción de los factores T0, T1 y FA, como es posible observar en el Apéndice VI y VII. A pesar que hubo algunas interacciones, no se logra encontrar una relación directa entre el efecto del PAK y el potencial xilemático de la planta, ya que no es posible decir que la interacción de estos dos factores determinó el potencial obtenido en las plantas, según el análisis estadístico.

Contenido de agua en el suelo. En la Figura 8 es posible observar el seguimiento del contenido de agua registrado para cada tratamiento durante ambos períodos de medición en macetas.

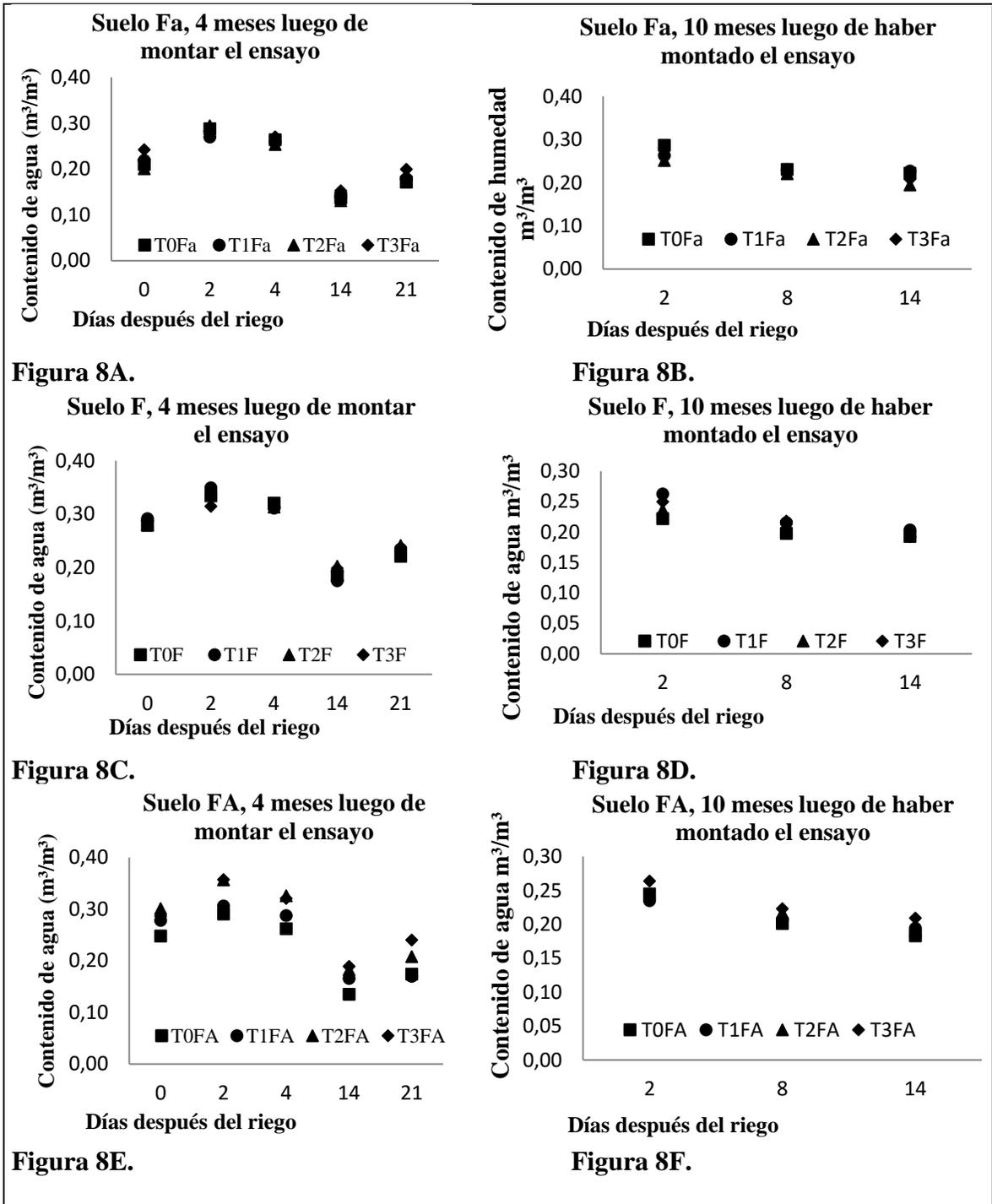


Figura 8. Evolución del contenido de agua para el suelo franco arenoso a los 4 (Figura 8A) y 10 (Figura 8B) meses luego de haber montado el ensayo, suelo franco a los 4 (Figura 8C) y 10 (Figura 8D) meses luego de haber montado el ensayo y para el suelo franco arcilloso a los 4 (Figura 8E) y 10 (Figura 8F) meses luego de haber montado el ensayo. Datos representan valores promedio de cada tratamiento.

En la Figura 8A y 8B no es posible observar un claro efecto de la dosis del producto sobre el contenido de agua en el suelo, ya que no se ve que los tratamientos con mayores dosis del producto registren los mayores valores de contenido de agua, lo mismo ocurre en la Figura 8C y 8D, lo cual es difícil de relacionar con lo obtenido en el potencial xilemático, ya que en esas mediciones tampoco se logra ver un claro efecto del producto sobre el nivel de estrés.

En la Figura 8E y en la Figura 8F se perciben diferencias entre los tratamientos, donde destaca el tratamiento T3, el cual posee los contenidos de agua más alto. A pesar de que en las texturas franco arenosa y franco no se detectó alguna influencia del PAK, en el suelo franco arcilloso se ve que esto no ocurre, ya que la tendencia se mantiene de un periodo de medición a otro. Se puede observar que todos los días registrados, en el suelo franco arcilloso, T3 se mantuvo con los mayores valores, sin embargo, no se encuentra una explicación al nulo efecto del PAK en texturas más gruesas, que es donde se esperaba tener un efecto más notorio, a causa de la baja capacidad de retención de agua de estos suelos.

En las Figuras 8A, 8C y 8E se nota un aumento del contenido de agua en el segundo día de medición debido a que con el riego del primer día los goteros se encontraban obstruidos, por esto se volvió a realizar un riego. Sorpresivamente en el último día de medición ocurre un aumento en el contenido de agua, lo cual no altera la caída de potencial xilemático en las vides, esto pudo deberse a un ingreso de agua al sistema debido a una falla en el riego.

Al realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos, a los 4 meses luego de haber montado el ensayo, durante el día 26 de marzo y 05 de abril (4 y 14 días luego de haber regado, respectivamente), y a los 10 meses luego de haber montado el ensayo, durante todos los días en que se realizó medición, no se registró interacción entre los niveles de los factores suelo y dosis de PAK, por ende se procedió a analizar los efectos de cada factor por separado, obteniendo como resultado que no existe efecto, tanto del factor suelo como del factor dosis de PAK, sobre el contenido de agua en el suelo en macetas.

En los Apéndices VIII, IX y X se encuentran los resultados del análisis estadístico de los días 19 y 24 de marzo (0 y 2 días después del riego, respectivamente) y del día 12 de abril (21 días después del riego) luego de 4 meses de haber montado el ensayo, en los tres tipos de textura, donde sí se registra interacción entre los niveles de los factores suelo y dosis PAK, por lo que se evaluó los efectos de los niveles del factor suelo sobre los niveles del factor dosis PAK y viceversa. El análisis estadístico indica que existen diferencias significativas entre tratamientos en los efectos de los niveles dosis PAK como dependientes del nivel franco arcilloso del factor suelo, donde T3 registra las mayores medias. Para las demás texturas no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Evaluaciones en suelo

Curva característica del suelo. En la Figura 9 se encuentran las curvas de retención de agua para cada textura y tratamiento a los 4 y 10 meses luego de haber montado el ensayo.

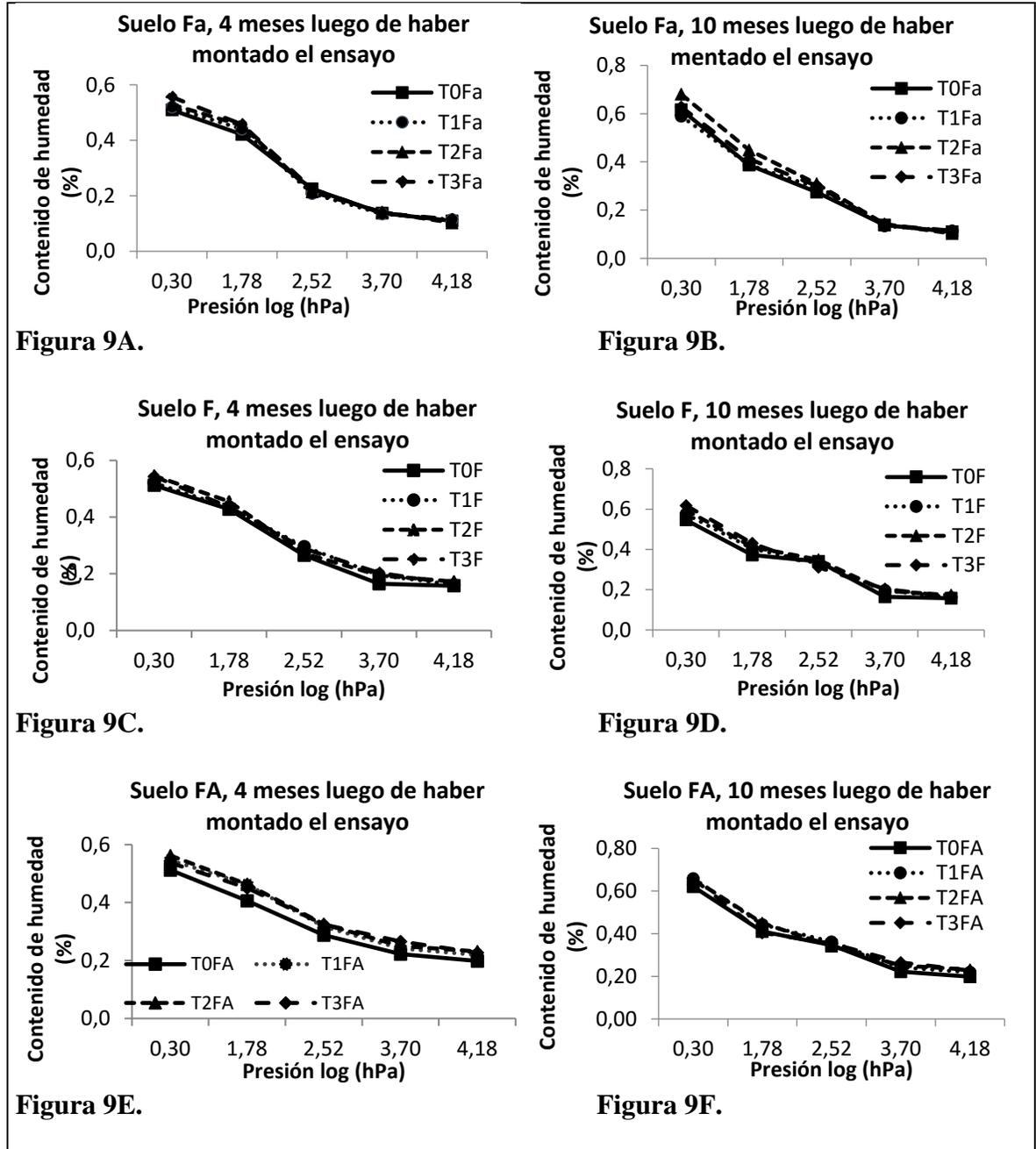


Figura 9. Curva de retención de agua a diferentes presiones y a diferentes dosis de PAK para el suelo franco arenoso a los 4 (Figura 9A) y 10 (Figura 9B) meses luego de haber montado el ensayo, suelo franco a los 4 (Figura 9C) y 10 (Figura 9D) meses luego de haber montado el ensayo y para el suelo franco arcilloso a los 4 (Figura 9E) y 10 (Figura 9F) meses luego de haber montado el ensayo. Datos representan valores promedio de cada tratamiento.

En el caso del ensayo en macetas, la mezcla de suelo con el producto fue mucho más homogénea que en el caso de los ensayos de terreno, por lo que el muestreo deja de lado la variabilidad de la cantidad de producto que podría ser tomado. Esto estaría indicando valores más representativos del efecto del PAK sobre las propiedades físicas del suelo.

En las Figura 9A, 9B, 9C, 9D, 9E y 9F es poco notorio, pero se observa que los tratamientos con dosis de PAK poseen un mayor contenido de agua retenida en las diferentes tensiones, existiendo pocas diferencias entre los efectos de las dosis. A pesar que se genera un leve aumento en la retención de agua, la tasa de caída en todos los tratamientos pareciese ser igual, por ende, la cantidad de agua que se está entregando al medio es la misma. En este ensayo se descarta la posibilidad de que una muestra pudo ser obtenida con más o menos concentraciones del producto, debido a que la forma en que este se aplicó fue lo suficientemente homogénea como para descartar esta variable. Por esto es más factible deducir que, si bien el producto realiza un aumento en la retención de agua, esta no está disponible para las plantas, debido a que el PAK la estaría reteniendo con mayor fuerza de la que puede generar la raíz de la vid para absorberla.

En la prueba t de Student no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, por ende las tasas de caída del contenido de agua fueron iguales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Pendientes e interceptos de las curvas características luego que se les aplicara una transformación log-log, para ambos periodos de medición y texturas.

Tratamiento	Pendiente	Intercepto con eje y	Pendiente	Intercepto con eje
	(%)		(%)	y
	4 meses luego de haber montado del ensayo		10 meses luego de haber montado el ensayo	
T0Fa	-0,18	1,83	-0,20	1,89
T1Fa	-0,18	1,83	-0,19	1,88
T2Fa	-0,19	1,85	-0,22	1,97
T3Fa	-0,19	1,87	-0,20	1,91
T0FA	-0,11	1,76	-0,13	1,84
T1FA	-0,11	1,80	-0,13	1,86
T2FA	-0,11	1,80	-0,12	1,85
T3FA	-0,10	1,78	-0,12	1,84
T0F	-0,15	1,80	-0,15	1,82
T1F	-0,14	1,81	-0,14	1,84
T2F	-0,14	1,82	-0,14	1,85
T3F	-0,14	1,82	-0,15	1,86

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba t de Student ($p < 0,05$).

Conductividad hidráulica saturada (Ksat). En el Cuadro 5 se observan los datos procesados en el análisis estadístico del primer y segundo periodo de medición en macetas.

Cuadro 5. Promedios (\pm Desviación Estandar) de Ksat para cada tratamiento y textura, 4 y 10 meses luego de haber montado el ensayo.

Dosis	Conductividad hidráulica saturada ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$), 4 meses luego de haber montado el ensayo	Conductividad hidráulica saturada ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$), 10 meses luego de haber montado el ensayo
Efecto niveles dosis PAK sobre la Ksat en macetas		
T0	1,00 (\pm 0,02) a	1,09 (\pm 0,02) a
T1	1,08 (\pm 0,03) a	1,06 (\pm 0,03) a
T2	0,96 (\pm 0,00) a	0,80 (\pm 0,00) a
T3	1,10 (\pm 0,02) a	0,96 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo sobre Ksat en macetas		
FA	1,33 (\pm 0,01) a	1,01 (\pm 0,01) a
F	0,99 (\pm 0,01) b	1,04 (\pm 0,01) a
Fa	0,78 (\pm 0,02) b	0,89 (\pm 0,02) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

El análisis estadístico arrojó que no había interacción entre los factores suelo y dosis PAK, por lo tanto se procedió a realizar la evaluación a cada factor por separado.

Al observar el Cuadro 5 no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en ambos periodos de medición en el efecto de los niveles dosis PAK sobre la Ksat en macetas. A pesar de que se encuentra efecto de los niveles del factor suelo sobre la Ksat, no hay diferencias estadísticamente significativas, excepto en el primer periodo.

Al realizar la evaluación de cada factor por separado se obtuvo que si había efecto del factor suelo sobre la conductividad hidráulica saturada (Ksat) en macetas, como se puede observar en el cuadro 5, lo cual era lo esperable ya que como es sabido la conductividad hidráulica del suelo depende de la forma y continuidad del sistema poroso (Ellies *et al.*, 1997), sin embargo, no se detectó efecto del PAK sobre esta propiedad.

Resistencia a la penetración. En la Figura 10 se encuentran los resultados de resistencia a la penetración en los tres tipos de textura durante los dos periodos de medición.

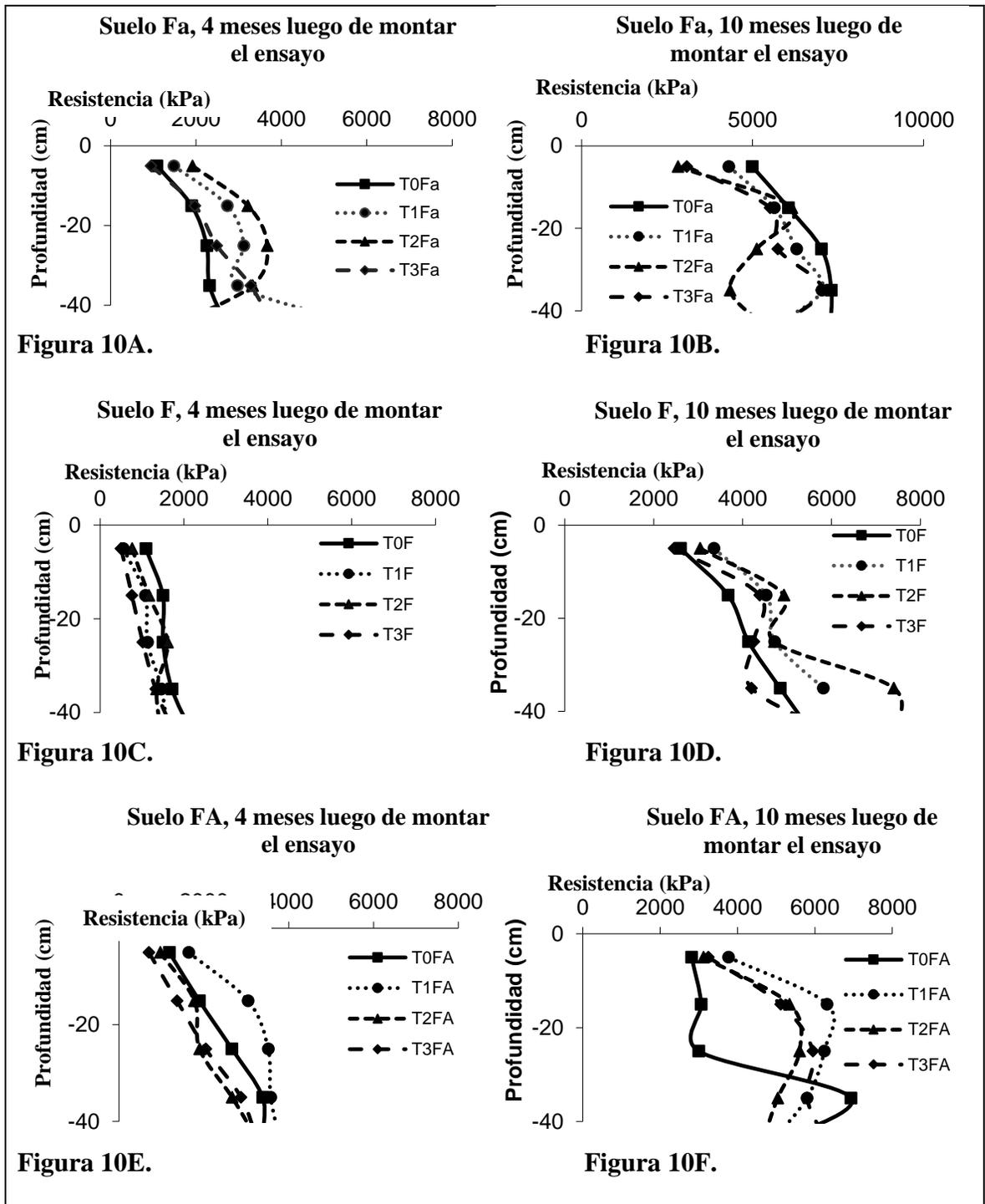


Figura 10. Curvas de resistencia a la penetración para el suelo franco arenoso a los 4 (Figura 10A) y 10 (Figura 10B) meses luego de montar el ensayo, suelo franco a los 4 (Figura 10C) y 10 (Figura 10D) meses luego de montar el ensayo y para el suelo franco arcilloso a los 4 (Figura 10E) y 10 (Figura 10F) meses luego de montar el ensayo. Datos representan valores promedio de cada tratamiento.

El suelo de macetas, a diferencia de los suelos ubicados en terreno, se vio más alterado en cuanto a su formación, ya que debemos recordar que antes de agregarlo este ingresó dentro de betoneras de manera de mezclar mejor el producto, por ende al vaciarlo en las macetas ingresó un suelo completamente desestructurado. Esto afectaría propiedades físicas del suelo y como solución a esta problemática, antes de ser trasplantadas las vides, se generó un cierto grado de pre-compactación en el suelo, de manera de generar condiciones que se asemejaran a las de un suelo normal, afectando ciertas propiedades físicas del suelo.

Al observar las Figuras 10A, 10B, 10C, 10D, 10E y 10F no se encuentra una clara relación entre el efecto de la dosis el producto y la resistencia a la penetración en las diferentes clases texturales, lo que indicaría que el producto no estaría ejerciendo efectos sobre esta propiedad del suelo, sin embargo, se observa un aumento de los valores en todas las clases texturales, de un periodo a otro, lo cual pudo deberse a un reordenamiento y acomodo de partículas, causado por los efectos de los riegos y el periodo de lluvia, generando un mayor grado de densificación en el suelo.

Los datos arrojados por el análisis estadístico, indicaron que en el primer periodo de medición no hubo interacción entre el factor dosis PAK y el factor suelo, por ende se procedió a analizar los factores de manera independiente. En ninguno de los rangos de profundidad hubo efecto del factor dosis PAK sobre la resistencia a la penetración en macetas, sin embargo sí hubo efecto del factor suelo sobre el punto evaluado.

Según el análisis a los 4 meses luego de haber montado el ensayo (Apéndice XI), solo el suelo franco genera una diferencia estadísticamente significativa bajo los 20 cm de profundidad, sin embargo la dosis de PAK, que era lo esperable que generara cambios, estadísticamente no lo hizo. Es probable que los cambios esperados no se hayan producido por la manera en que las macetas fueron rellenas, donde se produjo una elevada alteración del suelo modificando toda la estructura de este.

Para la segunda fecha de medición no existió efecto de los factores ni interacción de ellos.

Densidad aparente. En el Cuadro 6 se muestran los resultados arrojados por el análisis estadístico realizado en macetas en ambos periodos de medición.

Cuadro 6. Promedios de densidad aparente para cada textura en macetas, durante ambos periodos de medición.

Tratamiento	Densidad aparente (gr/cm ³)
	4 meses luego de montar el ensayo
FA	1,16 a
F	1,26 b
Fa	1,30 b
	10 meses luego de montar el ensayo
FA	1,25 a
F	1,33 b
Fa	1,37 b

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Se puede apreciar que hay un cambio en los valores de densidad aparente, registrando mayores medias en el segundo período de medición. Esto pudo deberse al reordenamiento que tuvieron las partículas de suelo luego de los periodos de lluvia, por ende los efectos de secamiento del suelo pueden haber inducido un mayor grado de asentamiento o estructuración del suelo, lo cual es apoyado por los datos obtenidos en resistencia a la penetración, siendo estos mayores en el segundo periodo de medición.

El ensayo que se llevó a cabo en macetas, al ser sometido al análisis estadístico correspondiente, dio como resultado que en ambas fechas de medición no existió interacción entre el factor suelo con el factor dosis PAK, por ende se tuvo que proceder a analizar los factores de manera independiente y corroborar el efecto que tenían sobre la densidad aparente. Como se puede observar en el Cuadro 6, al momento de evaluar los factores por separado sólo se encontró que había efecto del factor suelo sobre la densidad aparente en macetas, mientras que el factor dosis PAK no tenía efecto sobre los valores de densidad aparente.

Según Warrick (2002), los valores obtenidos en las texturas franco arcillosa y franca concuerdan con valores de rangos habituales, sin embargo, la textura franco arenosa posee valores menores al mínimo indicado ($1,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó el estudio se concluye que:

- A mayor concentración de PAK mayor es el contenido de agua retenido, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
- Las tasas de entrega de agua de los tratamientos con dosis de PAK son iguales a la del tratamiento testigo, en terreno. En macetas no se encontró relación alguna.
- No hubo relación entre las dosis de PAK aplicadas y la conductividad hidráulica saturada, tanto en terreno como en macetas.
- En cuanto a la resistencia a la penetración del suelo, no se encontró efecto del PAK sobre dicha propiedad evaluada en el ensayo de macetas. En el ensayo de terreno quedó demostrado que a mayor dosis de PAK disminuye la resistencia a la penetración del suelo.
- Para la densidad aparente no se encuentran efectos del producto en Corcolón y en macetas, sin embargo, en Naicura se obtienen valores muy por debajo de lo normal, atribuyendo esto al comportamiento del producto y la forma en que se determina la densidad aparente.

No se ve una relación entre la dosis del PAK aplicada y las caídas de potencial xilemático.

BIBLIOGRAFÍA

- ABERiego. Información técnica Aquaviva. [En línea]. Santiago, Chile. Recuperado en:
<http://www.aberiego.cl/descargas/2712022344_INFORMACION_TECNICA_AQUAVIVA.pdf> Consultado el: 9 de mayo de 2013.
- Adams, J. and B. Lockaby. 1987. Commercial produced superabsorbent material increases water-holding capacity of soil medium. pp 24-25. Louisiana Tech University, School of Forestry, Ruston, USA.
- Al-Harbi, A.; A. Al-Omran; A. Shalaby and M. Choudhary. 1999, abr. Efficacy of Hydrophilic Polymer declines with time in greenhouse experiments. *HortScience*, 34(2): 223-224.
- Araya, E. 1997. Evaluación de las propiedades físico-hídricas de dos poliacrilamidas. Tesis Agrónomo. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. 95h.
- Blake, G. and K. Hartge, 1986. Bulk Density. pp. 363-375. In: Klute, A (Ed). Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA and SSSA, Wisconsin, USA. 1188p.
- Camilia, Y. 2011. Water and fertilizer use efficiency by squash grown under stress on sandy soil treated with Acrylamide Hydrogels. *Journal of Applied Sciences Research*, 7(12):1828-1833.
- Casanova, M.; O. Salazar; O. Seguel y V. Noguer. 2009. Conductividad hidráulica en monolitos de suelo de Chile central. Pp. 210-221. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9 (3): 210-211.
- Casanova, M; O. Seguel, J. Haberland, C. Kremer. 2008. Propiedades físicas: Indicadores de calidad y salud de suelos. Antumapu 6(1-2): 32-34.
- Dane, J.H (Ed). and J.W. Hopmans. 2002. Water retention and Storage. pp. 671-720. In: Dane, J.H. and Topp (Ed). G.C. Method of soil analysis. SSSA book series. Madison, Wisconsin, USA. 1692p.

- Dorraji, S., A. Golchin, and S. Ahmadi. 2010, ene.-abr. The effects of Hydrophilic Polymer and soil salinity on corn growth in sandy and loamy soils. *Clean Journal*, 38 (7): 584-591.
- Ellies, A.; R. Grez y C. Ramírez. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro Sur*, 25 (1).
- Foster, W. J. and Keever, G.J. 1990, septiembre. Water Absorption of hydrophilic polymers (Hydrogels) reduced by media amendments. [revista electrónica]. *Journal of Environmental Horticulture*, 8(3): 113-114.
- Hardie, W. and Considine, J. 1976. Response of Grapes to Water- Deficit Stress in Particular Stages of Development. *American Journal of Enology and Viticulture*. 27 (2): 55-61.
- Hayat, R. and S. Ali. 2004. Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. *Intenational Journal of Agriculture and Biology*, 6(6):998-1002.
- INIA, Chile. 2011. Optimización de la relación agua-aire en el suelo y determinación de funciones de producción. Ensayo 2. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, La Platina, Santiago, Chile. 16p.
- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *In: Advances in Soil Science*. Volume I. Edited by B.A. Stewart. Springer-Verlag New York, pp 277-294.
- Lowery, B. and Morrison, J.E. and Hopmans, J.W. 2002. Soil penetrometers and penetrability. Pp.363-388. *In: Dane, J.H. and Topp (Ed). G.C. Method of soil analysis*. SSSA book series. Madison, Wisconsin, USA. 1692p.
- Malik, M and J. Letey. 1992, julio. Pore-size-dependent apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. *Soil Science Society of America Journal*, 56(4): 1032-1035.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2014. Región de O'Higgins: información regional 2014 [En línea]. Santiago, Chile: ODEPA. 13p. Recuperado en: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1395695479140323_minuta_ohiggins.pdf Consultado el: 22 de junio de 2014.

- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2013. Uva de mesa: Se Ratifica Liderazgo Exportador Mundial de Chile [En línea]. Santiago, Chile: ODEPA. 12p. Recuperado en: <
<http://www.odepa.cl/odepaweb/publicaciones/doc/11258.pdf>> Consultado el: 22 de junio de 2014.
- Orzolek, M.D. 1993, enero/marzo. Use of hydrophylic polymers in horticulture. HortTechnology. [boletín electrónico]. *HortTechnology*, 3(1): 41-44.
- Rojas, B.; M. Ramírez; R. Aguilera; J. Prin y C. Torres. 2006, ago. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3): 199-210.
- Rojas-Walker, C y A. Chacón. 2007. Caracterización de las especies y áreas de estudio. (cap. 2, pp. 13-30). En: *Rojas-Walker, C.; A. Chacón; S. Moyano; P. Estay; P. Sepúlveda; J. Ormeño y S. Gonzáles*. Manejo de agroquímicos en sistemas hortícolas. Santiago, Chile; INIA. 198p. (Series Actas INIA-N°167).
- Schoeneberger, P.; D. Wysocki; E. Benham; W. Broderson. 2011. Field book for describing and sampling soils. Lincoln, NE, United States: Natural Resources Conservation Service, 2012. 290p.
- Sellés, G. y R. Ahumada. 2000. Manejo de Suelos y Riego en Parronales. Informe interno. INIA. Santiago, Chile.
- Sellés, G. y R. Ferreyra. 2007. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. (cap. 2, pp.19-45). En: *Muñoz, I.; M. Gonzáles y G. Sellés*. Seminario internacional manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa. Santiago, Chile: INIA. 196p. (Series Actas INIA-N° 39).
- Smart, R.E. 1974. Aspects of Water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *American Journal of Enology and Viticulture*. 25 (2): 84-91.
- Soza, J.; D. Ljubetic y R. Soza. 2007. Estrategias para estimular el desarrollo radicular en vides de mesa. (cap. 3, pp. 47-60). En: *Muñoz, I.; M. Gonzáles y G. Sellés*. En: *Muñoz, I.; M. Gonzáles y G. Sellés*. Seminario internacional manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa. Santiago, Chile: INIA. 196p. (Series Actas INIA-N° 39).
- Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v (25), n.4, pp 859- 863, 1024 p.

- Turner N.C. 1981. Correction of flow resistances of plants measured from covered and exposed leaves. *Plant Physiology*. 68; 1090 - 1092.
- Uribe, J.; O. Cabrera; A. Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Santiago: Andros Impresores. 229p.
- Vargas, A.; J. Perez; J. Zoffoli y A. Perez. 2000, may.-ago. Evolución de la textura de bayas de uva del cv. Thompson Seedless. *Ciencia e investigación agrarian*, 27(2): 117-126.
- Veihmeyer F. and A. Hendrickson. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Science* 65: 487- 493.
- Or, D. and J. Wraith. 2002. Soil water content and water potential relationships (cap. 3, pp 49-82). *In: Warrick, A. Soil physics companion*. Boca Raton, Florida, United States: CRC Press LLC. 389p.
- Woodhouse, J.; M.S. Johnson. 1991. Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. *Agricultural Water Management*, 20: 63-70.
- Yanzdani, F.; I. Allahdabi; G. Akbari. 2007, diciembre. Impact of Superabsorbent Polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(23): 4190-4196.
- Zhang, R. 1997, julio. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 61(4): 124-130.

APÉNDICES

Apéndice I. Promedios (\pm DE) de potencial xilemático para cada tratamiento, 2 meses luego de montar el ensayo, Corcolén.

Tratamiento	Potencial Xilemático (Bar)
1 día después del riego	
T0	-12,13 (\pm 1,11) a
T1	-11,81 (\pm 3,40) a
T2	-12,06 (\pm 0,75) a
T3	-12,75 (\pm 1,59) a
3 días después del riego	
T0	-9,19 (\pm 1,74) a
T1	-9,69 (\pm 2,05) a
T2	-11,38 (\pm 0,83) a
T3	-11,63 (\pm 1,36) a
5 días después del riego	
T0	-12,00 (\pm 0,41) a
T1	-12,06 (\pm 1,55) a
T2	-12,88 (\pm 0,75) a
T3	-12,81 (\pm 0,66) a
11 días después del riego	
T0	-16,88 (\pm 3,29) a
T1	-14,56 (\pm 2,14) a
T2	-16,00 (\pm 0,75) a
T3	-16,63 (\pm 1,02) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice II. Promedios (\pm DE) de potencial xilemático para cada tratamiento, 2 meses luego de montar el ensayo, Naicura.

Tratamiento	Potencial xilemático (bar)
1 días después del riego	
T0	7,00 (\pm 0,79) a
T1	8,19 (\pm 1,68) a
T2	7,75 (\pm 1,37) a
T3	7,56 (\pm 1,01) a
3 días después del riego	
T0	9,63 (\pm 2,80) a
T1	8,75 (\pm 0,74) a
T2	8,94 (\pm 1,55) a
T3	6,13 (\pm 1,30) a
7 días después del riego	
T0	11,38 (\pm 2,31) a
T1	11,13 (\pm 1,23) a
T2	11,25 (\pm 1,85) a
T3	10,56 (\pm 1,91) a
13 días después del riego	
T0	13,56 (\pm 1,80) a
T1	14,00 (\pm 1,47) a
T2	13,38 (\pm 1,48) a
T3	13,31 (\pm 1,60) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice III. Promedios (\pm DE) de contenido de agua para cada tratamiento, 2 meses luego de montar el ensayo, Corcolén.

Tratamiento	Contenido de humedad (m^3/m^3)
1 día después del riego	
T0	0,39 (\pm 0,07) a
T1	0,41 (\pm 0,08) a
T2	0,40 (\pm 0,10) a
T3	0,39 (\pm 0,10) a
3 días después del riego	
T0	0,32 (\pm 0,06) a
T1	0,40 (\pm 0,02) a
T2	0,38 (\pm 0,06) a
T3	0,38 (\pm 0,06) a
5 días después del riego	
T0	0,27 (\pm 0,03) a
T1	0,34 (\pm 0,08) a
T2	0,33 (\pm 0,09) a
T3	0,33 (\pm 0,11) a
11 días después del riego	
T0	0,22 (\pm 0,05) a
T1	0,24 (\pm 0,03) ab
T2	0,34 (\pm 0,09) c
T3	0,32 (\pm 0,09) bc
04 febrero	
T0	0,23 (\pm 0,05) a
T1	0,32 (\pm 0,03) ab
T2	0,44 (\pm 0,08) b
T3	0,40 (\pm 0,12) b

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice IV. Promedios (\pm DE) de capacidad de retención de agua para cada tratamiento, 2 meses luego de montar el ensayo, Naicura.

Tratamiento	Contenido de agua (m^3/m^3)
1 día después del riego	
T0	0,28 (\pm 0,01) a
T1	0,31 (\pm 0,02) ab
T2	0,39 (\pm 0,06) ab
T3	0,41 (\pm 0,05) b
3 días después del riego	
T0	0,24 (\pm 0,03) a
T1	0,38 (\pm 0,05) ab
T2	0,35 (\pm 0,08) ab
T3	0,39 (\pm 0,14) b
7 días después del riego	
T0	0,18 (\pm 0,01) a
T1	0,18 (\pm 0,02) a
T2	0,23 (\pm 0,06) ab
T3	0,25 (\pm 0,05) b
13 días después del riego	
T0	0,19 (\pm 0,03) a
T1	0,22 (\pm 0,08) a
T2	0,24 (\pm 0,05) a
T3	0,42 (\pm 0,14) b

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice V. Promedios (\pm DE) de resistencia a la penetración para cada tratamiento, Corcolén.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (kPa)	
	2 meses luego de montar el ensayo	6 meses luego de montar el ensayo
Profundidad 0-10 cm		
T0	2644,06 (\pm 1108) a	1088,69 (\pm 43) c
T1	629,25 (\pm 121) a	967,56 (\pm 81) bc
T2	811,38 (\pm 215) a	670,69 (\pm 216) ab
T3	600,13 (\pm 237) a	484,63 (\pm 289) a
Profundidad 10-20 cm		
T0	3211,88 (\pm 797) a	2267,25 (\pm 625) c
T1	775,31 (\pm 291) a	1407,63 (\pm 399) b
T2	1011,69 (\pm 399) a	947,88 (\pm 291) ab
T3	871,25 (\pm 625) a	779,88 (\pm 797) a
Profundidad 20-30 cm		
T0	3393,00 (\pm 1115) a	2873,75 (\pm 849) b
T1	1504,00 (\pm 934) a	1885,19 (\pm 486) a
T2	1179,63 (\pm 486) a	1561,75 (\pm 1115) a
T3	1277,25 (\pm 849) a	1714,44 (\pm 934) a
Profundidad 30-40 cm		
T0	3737,81 (\pm 1335) a	3318,25 (\pm 885) a
T1	3016,63 (\pm 1554) a	3222,56 (\pm 490) a
T2	2136,63 (\pm 490) a	2710,19 (\pm 1335) a
T3	2507,25 (\pm 885) a	2746,94 (\pm 1554) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice VI. Promedios (\pm DE) de potencial xilemático para cada tratamiento y clase textural, 4 meses luego de montar el ensayo en macetas.

Tratamiento	Potencial xilemático (bar), 14 días después del riego
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0F	4,38 (\pm 0,32) a
T1F	5,63 (\pm 0,63) a
T2F	4,81 (\pm 1,01) a
T3F	5,00 (\pm 0,84) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arenoso (Fa) del factor suelo.	
T0Fa	5,13 (\pm 0,60) a
T1Fa	4,94 (\pm 0,90) a
T2Fa	5,19 (\pm 1,14) a
T3Fa	4,69 (\pm 0,38) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0FA	8,88 (\pm 2,67) b
T1FA	6,94 (\pm 3,02) ab
T2FA	5,25 (\pm 0,74) a
T3FA	5,00 (\pm 0,89) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T0 del factor dosis PAK	
FT0	4,38 (\pm 0,32) a
FAT0	8,88 (\pm 2,67) b
FaT0	5,13 (\pm 0,60) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T1 del factor dosis PAK	
FT1	5,63 (\pm 0,63) a
FAT1	6,94 (\pm 3,02) a
FaT1	4,94 (\pm 0,90) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T2 del factor dosis PAK	
FT2	4,81 (\pm 1,01) a
FAT2	5,25 (\pm 0,74) a
Fa2	5,19 (\pm 1,14) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T3 del factor dosis PAK	
FT3	5,00 (\pm 0,84) a
FAT3	5,00 (\pm 0,89) a
FaT3	4,69 (\pm 0,38) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice VII. Promedios (\pm DE) de potencial xilemático para cada tratamiento y clase textural, 4 meses luego de montar el ensayo en macetas.

Tratamiento	Potencial xilemático (bar), 21 días después del riego
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0FA	7,63 (\pm 0,83) a
T1FA	8,69 (\pm 2,49) a
T2FA	7,25 (\pm 0,65) a
T3FA	7,38 (\pm 1,05) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arenoso (Fa) del factor suelo.	
T0Fa	8,81 (\pm 2,02) a
T1Fa	8,69 (\pm 1,38) a
T2Fa	8,88 (\pm 2,56) a
T3Fa	7,56 (\pm 1,05) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arcilloso (FA) del factor suelo.	
T0F	17,56 (\pm 1,34) c
T1F	12,19 (\pm 3,80) b
T2F	7,44 (\pm 1,11) a
T3F	7,81 (\pm 0,55) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T0 del factor dosis PAK	
FT0	7,63 (\pm 0,83) a
FAT0	17,56 (\pm 1,34) b
FaT0	8,81 (\pm 2,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T1 del factor dosis PAK	
FT1	8,69 (\pm 2,49) a
FAT1	12,19 (\pm 3,80) b
FaT1	8,69 (\pm 1,38) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T2 del factor dosis PAK	
FT2	7,25 (\pm 0,65) a
FAT2	7,25 (\pm 0,65) a
FaT2	8,88 (\pm 2,56) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T3 del factor dosis PAK	
FT3	4,69 (\pm 1,05) a
FAT3	5,00 (\pm 0,55) a
FaT3	5,00 (\pm 1,05) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice VIII. Promedios (\pm DE) de contenido de agua para cada tratamiento y clase textural, 4 meses luego de montar el ensayo en macetas.

Tratamiento	Contenido de agua (m^3/m^3), 0 días antes del riego
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0F	0,28 (\pm 0,01) a
T1F	0,29 (\pm 0,03) a
T2F	0,28 (\pm 0,02) a
T3F	0,29 (\pm 0,01) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arenoso (Fa) del factor suelo.	
T0Fa	0,21 (\pm 0,01) a
T1Fa	0,22 (\pm 0,02) ab
T2Fa	0,20 (\pm 0,01) a
T3Fa	0,25 (\pm 0,02) b
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arcilloso (FA) del factor suelo.	
T0FA	0,25 (\pm 0,01) b
T1FA	0,28 (\pm 0,00) b
T2FA	0,30 (\pm 0,02) ab
T3FA	0,29 (\pm 0,04) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T0 del factor dosis PAK	
FT0	0,28 (\pm 0,01) b
FAT0	0,25 (\pm 0,01) b
FaT0	0,21 (\pm 0,01) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T1 del factor dosis PAK	
FT1	0,29 (\pm 0,03) b
FAT1	0,28 (\pm 0,00) b
FaT1	0,22 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T2 del factor dosis PAK	
FT2	0,28(\pm 0,02) b
FAT2	0,30 (\pm 0,02) b
FaT2	0,20 (\pm 0,01) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T3 del factor dosis PAK	
FT3	0,29 (\pm 0,84) b
FAT3	0,20 (\pm 0,89) b
FaT3	0,25 (\pm 0,38) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice IX. Promedios (\pm DE) de contenido de agua para cada tratamiento y clase textural, 4 meses luego de montar del ensayo en macetas.

Tratamiento	Contenido de agua (m^3/m^3), 2 días después del riego
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0F	0,33 (\pm 0,01) a
T1F	0,35 (\pm 0,00) a
T2F	0,35 (\pm 0,02) a
T3F	0,31 (\pm 0,03) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arenoso (Fa) del factor suelo.	
T0Fa	0,25 (\pm 0,05) a
T1Fa	0,20 (\pm 0,02) a
T2Fa	0,22 (\pm 0,02) a
T3Fa	0,21 (\pm 0,03) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arcilloso (FA) del factor suelo.	
T0FA	0,29 (\pm 0,01) a
T1FA	0,31 (\pm 0,00) ab
T2FA	0,36 (\pm 0,02) b
T3FA	0,36 (\pm 0,03) b
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T0 del factor dosis PAK	
FT0	0,33 (\pm 0,01) a
FAT0	0,29 (\pm 0,04) a
FaT0	0,29 (\pm 0,05) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T1 del factor dosis PAK	
FT1	0,35 (\pm 0,00) b
FAT1	0,31 (\pm 0,04) ab
FaT1	0,27 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T2 del factor dosis PAK	
FT2	0,35 (\pm 0,02) b
FAT2	0,36 (\pm 0,03) b
FaT2	0,29 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T3 del factor dosis PAK	
FT3	0,31 (\pm 0,03) ab
FAT3	0,36 (\pm 0,03) b
FaT3	0,28 (\pm 0,03) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice X. Promedios (\pm DE) de contenido de agua para cada tratamiento y clase textural, 4 meses luego de montar el ensayo en macetas en macetas.

Tratamiento	Contenido de agua (m^3/m^3), 21 días después del riego
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco (F) del factor suelo.	
T0F	0,22 (\pm 0,00) a
T1F	0,23 (\pm 0,02) a
T2F	0,24 (\pm 0,02) a
T3F	0,24 (\pm 0,03) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arenoso (Fa) del factor suelo.	
T0Fa	0,17 (\pm 0,02) a
T1Fa	0,18 (\pm 0,01) a
T2Fa	0,17 (\pm 0,02) a
T3Fa	0,20 (\pm 0,01) a
Efecto niveles dosis PAK dependen del nivel franco arcilloso (FA) del factor suelo.	
T0FA	0,17 (\pm 0,02) a
T1FA	0,17 (\pm 0,02) a
T2FA	0,21 (\pm 0,01) b
T3FA	0,24 (\pm 0,04) b
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T0 del factor dosis PAK	
FT0	0,22 (\pm 0,00) a
FAT0	0,17 (\pm 0,02) a
FaT0	0,17 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T1 del factor dosis PAK	
FAT1	0,17 (\pm 0,02) a
FT1	0,23 (\pm 0,02) a
FaT1	0,18 (\pm 0,01) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T2 del factor dosis PAK	
FT2	0,24 (\pm 0,02) a
FAT2	0,21 (\pm 0,01) a
FaT2	0,17 (\pm 0,02) a
Efecto niveles factor suelo dependen del nivel dosis T3 del factor dosis PAK	
FT3	0,24 (\pm 0,03) a
FAT3	0,24 (\pm 0,04) a
FaT3	0,20 (\pm 0,01) a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Apéndice XI. Promedios de resistencia a la penetración en macetas para cada tipo de suelo, 4 meses luego de montar el ensayo.

Tratamiento textura	Resistencia a la penetración (kPa)
	Profundidad 0-10 cm
F	2864,25 a
FA	3235,75 a
Fa	3797,50 a
	Profundidad 10-20 cm
F	1122,06 a
FA	2019,96 ab
Fa	2456,02 b
	Profundidad 20-30 cm
F	1312,13 a
FA	2530,92 b
Fa	2882,56 b
	Profundidad 30-40 cm
F	2710,19 a
FA	2746,94 b
Fa	3222,56 b

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.