

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EFECTO DE UN SURFACTANTE DE RIEGO EN COMBINACIÓN CON
ÁCIDOS FÚLVICOS SOBRE EL FLUJO DE AGUA EN UN SUELO DE
TEXTURAS GRUESAS REGADO POR GOTEO**

FERNANDO ENRIQUE GÓMEZ MUÑOZ

Santiago, CHILE

2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DE UN SURFACTANTE DE RIEGO EN COMBINACIÓN CON
ÁCIDOS FÚLVICOS SOBRE EL FLUJO DE AGUA EN UN SUELO DE
TEXTURAS GRUESAS REGADO POR GOTEO**

**EFFECT ON THE WATER MOVEMENT, OF AN IRRIGATION
SURFACTANT, APPLIED IN COMBINATION WITH DIFFERENT LEVELS
OF FULVIC ACIDS, WHEN APPLIED TO A DRIP IRRIGATED SANDY
LOAM SOIL**

FERNANDO ENRIQUE GÓMEZ MUÑOZ

Santiago, CHILE

2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EFECTO DE UN SURFACTANTE DE RIEGO EN COMBINACIÓN CON
ÁCIDOS FÚLVICOS SOBRE EL FLUJO DE AGUA EN UN SUELO DE
TEXTURAS GRUESAS REGADO POR GOTEO**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

FERNANDO ENRIQUE GÓMEZ MUÑOZ

Profesores Guía	Calificaciones
Sr. Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6.7
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6.8
Profesores Evaluadores	
Sr. Cristian Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6.7
Sr. Eduardo Loyola M. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6.1

Santiago, Chile
2008

ÍNDICE

RESUMEN	1
PALABRAS CLAVE	1
ABSTRACT	2
KEY WORDS	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Lugar de estudio	6
Materiales	6
Método	6
Efecto del surfactante sobre el movimiento del agua en columnas de arena	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Características Generales del Material Estudiado	13
Índice de Apertura utilizando el Ancho máximo y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (A/P)	16
Índice de Apertura utilizando el Área del frente de mojado y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (Ar/P)	18
Índice de Apertura utilizando el Área normalizada del frente de mojado (An)	20
CONCLUSIONES	27

BIBLIOGRAFÍA	28
APENDICE I	31
APENDICE II	33
APENDICE III	35
APENDICE IV	36
ANEXO I	37
ANEXO II	38

RESUMEN

Las dificultades que presenta el riego agrícola están ligadas a las propiedades intrínsecas del agua, tales como la cohesión y la adhesión. En el sistema agua-suelo puede ocurrir sorción de agua al suelo o repelencia del suelo al agua. Esta última se conoce como hidrofobia de los suelos y puede deberse a factores bióticos (materia orgánica) o abióticos (humedad). Los surfactantes son productos químicos que disminuyen la tensión superficial del agua y ayudan a su infiltración, disminuyendo la hidrofobia.

En esta investigación se evaluó el efecto de la aplicación de un coadyuvante de riego comercial, mezclado con distintas cantidades de ácidos fúlvicos, sobre el movimiento del agua en columnas rellenas con suelo regado por goteo.

Se utilizó un sustrato areno francoso, secado al aire y tamizado a 2 mm. Las concentraciones del surfactante y de ácidos fúlvicos fueron las que se utilizan en campo. Para medir el avance del agua se utilizaron contenedores que poseían un par de paredes de policarbonato monitoreadas por una cámara fotográfica. La densidad del material suelo fue de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$. Para comparar la apertura del frente de mojamiento se utilizaron tres indicadores A/P (ancho/profundidad), Ar/P (área/profundidad) y An (ancho normalizado) evaluando el efecto del surfactante. Cada columna fue regada dos veces mediante un gotero de $1,2 \text{ L h}^{-1}$.

Con el indicador A/P se encontró interacción entre la materia orgánica y el surfactante, mostrando un menor frente de mojamiento debido al efecto tensoactivo del producto. El indicador Ar/P mostró un menor frente de mojamiento debido al efecto hidrófobo de la materia orgánica. El indicador An permitió determinar que cuando el frente de mojamiento tiene una forma triangular, el agua avanza mayormente en profundidad más que hacia los lados. Finalmente, al aplicar materia orgánica más una concentración de 10 L ha^{-1} del surfactante, se producirá una apertura del frente de mojamiento con un efecto residual.

Palabras claves: coadyuvante de riego, hidrofobia, columnas de suelo.

ABSTRACT

This study assessed the effect on the water movement (WM) within columns filled with sandy loam soil watered by drip of a commercial irrigation surfactant mixed with different amounts of fulvic acids. The water movement, within the soil column was evaluated using three different indices, being these: W/D (width/depth), Ar/D (area/depth) and SW (standard width).

The W/D index, as well as the Ar/D index showed interaction between organic matter and surfactant. The tensioactive effect of the surfactant resulted in a limited lateral WM within the soil column..

The SW index allowed determining, that a reduction in the WM within columns resulted in an wetted area similar in shape to a triangle, or a cone-shaped bulb; meaning that the water was moving preferentially in depth rather than sideways. On the other hand, when an increased WM within columns was achieved, the final area was similar in shape to a quarter of a circumference, in other words, a half-sphere shaped bulb.

Finally, by applying organic matter to the highest tried concentration of surfactant, equivalent to 10 L ha^{-1} , an opening of the water bulb within columns, was achieved, even more a residual effect of the surfactant was visualized.

Key words: wetting agents, hydrorepellency, soil columns.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo trifásico que presenta componentes orgánicos e inorgánicos, constituyendo así un sistema dinámico en que ocurren flujos de agua y aire (Hillel, 1980). En suelos de clases texturales gruesas, el bulbo de mojamiento es limitado en su expansión lateral, y los esfuerzos realizados hasta ahora para que ocurra una apertura del bulbo han sido infructuosos en sistemas de riego localizado de alta frecuencia (RLAF). Uno de los problemas al usar RLAF es la dificultad para lograr un incremento en el volumen de suelo mojado por planta, de manera tal de ser igualmente eficaz en el uso del agua, sin aumentar los costos (Rojas, 2007).

Las dificultades que presenta el riego agrícola están ligadas a las propiedades intrínsecas del agua. Una de las características de esta molécula es la presencia de carga negativa y positiva, lo que se conoce como dipolo. Se puede considerar que el enlace en la molécula es covalente, generando puentes de hidrógeno. Esta característica le imprime al agua diferentes propiedades, entre las que se encuentra la cohesión. Esta propiedad permite que las moléculas de agua se atraigan entre sí, siendo los puentes de hidrógeno los que las mantienen unidas (Hillel, 1980).

Otra propiedad es la adhesión, la cual se produce por la gran polaridad que genera el agua, logrando mantenerse atraída a una superficie sólida (Kostka, 2000). Como parte de esta adhesión, se encuentra la adsorción de agua por parte del suelo, la cual es de naturaleza electrostática. Ésta es originada por la polaridad del agua, produciendo la adherencia a superficies de otros sólidos (Hillel, 1980). Según Doerr *et al.*, (2000) en este tipo de sistemas agua-suelo puede ocurrir sorción de agua al suelo o repelencia del suelo al agua. En el primer caso, las fuerzas de adhesión son superiores a las de cohesión. En cambio, en el segundo caso, las fuerzas de cohesión son superiores a las de adhesión.

La repelencia al agua que poseen algunos suelos es conocida en el mundo debido a los problemas que producen en la agricultura (Alterra, 2000). Este problema se conoce como hidrofobicidad de los suelos. La repelencia del suelo al agua o la hidrofobia, es la tendencia de las partículas a no hidratarse, ya que con la adsorción de sustancias hidrófobas por parte de partículas minerales, disminuye la adhesión (Ellies *et al.*, 2003).

Doerr *et al.*, (2000) indican que la hidrofobicidad de los suelos se puede deber a factores bióticos y abióticos. El primer factor incluye agentes como la vegetación, la fauna y el contenido de materia orgánica. El segundo factor comprende agentes como la textura, además de la temperatura y la humedad.

Cuando existe hidrofobia se presenta una relación de interacción entre la fracción orgánica del suelo y la mineral, ya que es posible generar repelencia al recubrir partículas del suelo con material orgánico. Esta repelencia del suelo al agua es función del tipo de materia orgánica (Alterra, 2000). Cuevas (2006) indica que con altos contenidos de materia orgánica se logra una repelencia, pero no toda la materia orgánica es repelente, sino que va a depender del tipo de compuestos orgánicos.

Los compuestos que son responsables de la hidrofobia se pueden clasificar en dos grupos según Doerr *et al.*, (2000): los hidrocarburos alifáticos y los compuestos de estructura anfifílica. El primero, corresponde a sustancias que están formadas por carbono e hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas y ramificadas; éstas son no polares, por tanto, son insolubles en agua. El segundo grupo lo conforman compuestos que presentan un extremo polar y el otro no polar; el extremo polar es hidrofílico y el no polar es hidrofóbico.

Kostka (2000) menciona que la hidrofobia depende en gran medida de los compuestos anfifílicos, y uno de los más comunes en el suelo son los ácidos orgánicos. Feng *et al.* (2000) plantean que una de las causas de la repelencia al agua se debe a la incorporación de materia orgánica en el suelo. Estas incorporaciones, aplicadas como ácidos fúlvicos, recubren las partículas de minerales y los poros, produciendo hidrofobia. Sin embargo, estos componentes hidrófobos permiten el desarrollo de la estructura del suelo, puesto que la presencia de ceras, grasas y resinas impiden la disgregación de los agregados, proporcionando estabilidad (Ellies *et al.*, 2003).

Ritsema *et al.* (2000) mencionan que es necesario considerar la humedad del suelo para la generación de hidrofobia por parte del material orgánico, siendo más severo en el suelo seco, ya que, con un contenido alto de agua, es menor el ángulo de contacto entre el líquido y el sólido. Según Dekker *et al.*, (2001) todos los suelos son hidrófobos en algún grado; esto se explica porque en muestras de suelos al momento de estar secas, se observa algún grado de repelencia al agua, a pesar de que en condiciones de humedad de campo no exista.

Por lo dicho anteriormente, estas características producen algunos inconvenientes en el proceso de infiltración y erosión (Feng *et al.*, 2000).

La infiltración se ve principalmente afectada cuando en la superficie de los suelos la materia orgánica, por procesos de secado, induce una repelencia de agua, al igual que los exudados de las plantas y los productos hidrofóbicos de los microorganismos que cubren las partículas de suelo (Dekker *et al.*, 2001). Leeds-Harrison *et al.* (1999) vieron que cuando un suelo mineral está seco, inicialmente puede experimentar repelencia al agua, causando una menor entrada de agua al suelo, debido a que las partículas minerales están asociadas a la actividad biológica.

La hidrofobia es posible medirla a través de distintas pruebas, entre las que se encuentran la determinación del ángulo de mojado entre el líquido y el sólido (Richardson y Hole, 1978) o una prueba de sortividad (Hallet y Young, 1999), siendo esta última la más sencilla de implementar.

La calidad y cantidad de agua es un factor limitante en el mantenimiento óptimo de los cultivos. En la actualidad existen compuestos que son capaces de modificar el comportamiento del agua de riego en el suelo. Éstos son conocidos como surfactantes, coadyuvantes de riego o agentes de mojado. Los coadyuvantes son polímeros orgánicos, los cuales se pueden inyectar en líneas de riego para optimizar el uso del agua. Éstos agentes disminuyen la tensión superficial del agua y ayudan a su

infiltración, de tal manera que pueden retener más agua en el perfil de suelo (Mitra, 2003).

Los surfactantes tienen afinidad con las partículas de suelo hidrofóbicas y moléculas de agua permitiendo una rápida infiltración, de manera tal que pueden usarse para disminuir los efectos de la repelencia al agua al facilitar el humedecimiento del suelo hidrofóbico (Feng *et al*, 2000), aumentando la capacidad de almacenamiento de agua. Con la utilización de estos polímeros por largos períodos de tiempo, es posible aumentar los tiempos entre ciclos de riego. Como consecuencia de aumentar el contenido de agua en los suelos, en lugares donde el agua es un recurso muy escaso, se ha observado un aumento en la producción (McCauley, 1993).

El efecto del coadyuvante de riego ocurre en la superficie de los suelos que presentan repelencia al agua. El mayor efecto de los agentes de mojamiento ocurre en superficie más que en profundidad (Alterra, 2000). McCauley (1993) señala que los agentes de mojamiento aumentan el contenido de agua del suelo hasta unos 45 cm de profundidad con un efecto residual.

Puede ocurrir que el movimiento del agua no sea uniforme en el suelo, penetrando irregularmente y moviéndose por donde sea más fácil el acceso. A éste fenómeno se conoce como flujos preferenciales. Alterra (2000) observó que los surfactantes no reducen los flujos preferenciales. Debido al fenómeno anterior, podría suceder que partes del suelo se mojen y otras no, viéndose afectada la distribución del agua (Leeds-Harrison *et al.*, 1999).

Por otra parte, Pelishek *et al.* (1962) demostraron que los agentes de mojamiento incrementan la infiltración en suelos hidrofóbicos, pero no existen efectos positivos en los suelos no hidrofóbicos.

Moran (2008) observó que surfactantes aplicados a suelos arenosos con un alto contenido de materia orgánica aumentaron el frente de mojamiento en la columna de suelo. En estos mismos suelos, al aplicar altas concentraciones de coadyuvantes, se obtuvo un efecto residual, encontrándose también la existencia de interacción entre materia orgánica (MO) y un surfactante comercial. Es por esto que la presente memoria tiene como objetivos evaluar el efecto conjunto de un surfactante y MO aplicadas en el agua de riego, con el objeto de mejorar la expansión lateral del frente de mojamiento en suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica.

Objetivo

Evaluar el efecto de la aplicación de un coadyuvante de riego comercial, mezclado con distintas cantidades de ácidos fúlvicos, sobre el movimiento del agua en columnas rellenas con suelo areno franco regado por goteo.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar del estudio

El estudio se realizó en los Laboratorios de Física de Suelos e Hidráulica pertenecientes al Departamento de Ingeniería y Suelo de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile en el período comprendido entre Abril y Diciembre del 2007.

Materiales

Los materiales utilizados para la realización del estudio fueron:

- Surfactante comercial IrrigAid Gold.
- Ácidos Fúlvicos bajo la forma del producto comercial Naturhumus-WSP.
- Suelo disturbado de clase textural areno francosa.
- Nueve columnas construidas en policarbonato de 20 cm de ancho, 60 cm de largo y 50 cm de alto.
- Goteros con caudal de $1,2 \text{ L h}^{-1}$, bomba y sistema de distribución de agua.

Además para el montaje del ensayo, se utilizó cera para autos con teflón, carretilla, harnero, pala, baldes, balanza, sacos, rollos de polietileno, bolsas plásticas, una pluma elevadora, cámara fotográfica, trípode y computador.

Método

Efecto del surfactante sobre el movimiento del agua en columnas de arena.

Se utilizó un sustrato areno francoso asociado a la Serie de Suelo Rinconada de Lo Vial (CIREN, 1996), extraído de un sector de la Estación Experimental German Greve Silva de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Comuna de Maipú. Este sustrato fue extraído entre los 30 y 80 cm de profundidad, siendo posteriormente trasladado a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

El material fue secado al aire. Dado el volumen de material con el cual se trabajó, fue necesario extenderlo en el suelo sobre un plástico, de tal manera que quedase una delgada lámina de material para que se secase al aire. Una vez seco, el material se tamizó a 2 mm, se ensacó y se trasladó a los Laboratorios de Física de Suelos e Hidráulica.

Se describió el color del material suelo con una tabla Munsell, con el fin de observar el contraste entre el suelo seco y el que está siendo mojado por el gotero para monitorearlo

en la columna. También se determinó la granulometría y distribución de tamaño de partículas (Gee y Or, 2002) con tres repeticiones, la curva característica de retención de agua (Dane y Hopmans, 2002), la materia orgánica total (Sadzawka *et al.*, 2004) y el grado de repelencia al agua, utilizando la metodología de Sortividad en agua y etanol (Hallet y Young, 1999). Estas mediciones se realizaron una sola vez, dado que el material se consideró homogéneo para todos los ensayos.

Para determinar el grado de repelencia al agua fue necesario, en primer lugar, calcular la sortividad de acuerdo a la Fórmula 1:

$$S = \left(\frac{Q \cdot f}{4 \cdot b \cdot r} \right)^{1/2} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde:

S: sortividad ($\text{cm s}^{-1/2}$).

Q: pendiente de la ecuación de infiltración acumulada ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$).

f: poros de conducción (valor igual a 1).

b: constante de valor medio 0,55 que depende de la función de difusividad agua-suelo.

r: radio del capilar en contacto con el agregado (0,15 cm).

Con la Fórmula 1 se calculó la sortividad del agua (S_w) y la sortividad del etanol (S_e). Con estos datos se calculó el índice R (índice de hidrofobia).

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

Según plantean Tillman *et al.* (1989), si la Fórmula 2 entrega un valor de $R < 1,95$ correspondería a un suelo no repelente al agua.

Con la distribución del tamaño de partículas realizada con tamices de diferente tamaño, es posible calcular el coeficiente de heterogeneidad, como se muestra en la Fórmula 3. Este coeficiente es el cociente entre el diámetro de partícula a un 90% del porcentaje acumulado y un diámetro de partículas de 40% de dicho porcentaje. Es relevante usar siempre una diferencia del 50% entre los factores de la división.

$$U = \frac{d_{90}}{d_{40}} \quad (\text{Fórmula 3})$$

En caso que el coeficiente de heterogeneidad fuese menor a 14 se considera un material muy homogéneo y si es mayor a 20 se considera heterogéneo (Kézdi, 1980).

Se realizaron pruebas en frascos que contuvieron el surfactante y la materia orgánica mezcladas en agua, con la finalidad de observar posibles interacciones que generen un precipitado, limitando su utilización en el riego por goteo. Las concentraciones

empleadas se detallan en los Cuadros 1 y 2, las cuales a su vez, fueron utilizadas para el desarrollo de esta investigación. Estas concentraciones fueron calculadas según parámetros de cultivo presentados en el Apéndice I.

Cuadro 1. Equivalente de concentración de materia orgánica en porcentaje.

Ácidos Fúlvicos (kg ha ⁻¹)	Concentración según datos de cultivo (%)
10	0,016
20	0,032
40	0,064

Cuadro 2. Equivalente de concentración de surfactante en porcentaje.

Surfactante (L ha ⁻¹)	Concentración según datos de cultivo (%)
2,5	0,01
5	0,02
10	0,04

Con el fin de determinar el avance de agua fue necesario utilizar contenedores, los cuales fueron denominados columnas. Las columnas fueron construidas con dos paredes de planchas de zinc y dos paredes de policarbonato transparente. En la pared frontal (construida en policarbonato) se instaló una malla cuadrada de 5x5 cm para cuantificar el movimiento de agua (Figura 1).



Figura 1. Frente de la columna con malla cuadrada.

Antes de ser llenadas las columnas, las paredes internas fueron cubiertas con cera con teflón para evitar el flujo preferencial de agua. La cantidad de material contenida en cada columna fue de 62140 cm³ para una densidad aparente (Db) aproximada de 1,4 Mg m⁻³, valor esperable de Db que tendría un suelo areno franco.

Las columnas se rellenaron utilizando la metodología descrita por Glass *et al.* (1989), cargándolas con tres capas sucesivas del mismo material, hasta lograr una masa aproximada de 87000 g. La cantidad de suelo requerido en cada una de las capas se determinó por medio del volumen que representa la capa dentro de la columna de suelo, según la densidad aparente deseada.

Para que la caída del suelo en las columnas fuese uniforme, se utilizó un Homogeneizador de caída (Figura 2). Éste es un recipiente de igual ancho y largo de la columna, con forma de prisma triangular, el cual se inserta en la parte superior de la columna. Uno de los vértices de este prisma triangular está en el interior de la columna con una pequeña abertura, haciendo que la caída del suelo al interior sea homogénea.



Figura 2. Homogeneizador de caída.

En la abertura del homogeneizador se utilizó un reorganizador de partículas en forma libre y azarosa, el cual se muestra en la Figura 3. Este reorganizador corresponde a una malla de 10x10 mm formada por dos capas separadas al centro por 8 cm, unidas en los extremos, con el objetivo de frenar y reorganizar azarosamente las partículas.



Figura 3. Reorganizador de partículas en forma libre y azarosa.

Glass *et al.* (1989) señalan que para el relleno de las columnas de suelo es necesaria la agitación por medio de un martillo de goma, favoreciendo la redistribución de partículas y el asentamiento de éstas. En este estudio, debido al alto volumen de suelo a utilizar, se empleó una pluma elevadora, que genera movimientos horizontales y verticales, lo que contribuye a agitar las partículas del material. La primera capa se agitó durante 5 s, la

segunda durante 10 s y la tercera durante 15 s. Además, la pluma elevadora sirvió para poder desplazar las columnas del lugar de relleno con material disturbado hacia la zona de muestreo con la cámara fotográfica.

Cada columna fue regada dos veces mediante un gotero de $1,2 \text{ L h}^{-1}$, constituyendo el primer riego un ensayo, y el segundo riego otro ensayo. En el primer ensayo se observó la apertura del frente de mojamiento, dada las distintas concentraciones de Surfactante y Materia Orgánica que se detallan en el Cuadro 3. En el segundo ensayo se regó sólo con agua para verificar la existencia de residualidad del Surfactante en el suelo.

Cuadro 3. Tratamientos con las mezclas de surfactante y ácidos fúlvicos.

Primer riego	Tratamiento
Agua sin surfactante	T0.0
Surfactante al $2,5 \text{ L ha}^{-1}$	T1.0
Surfactante al 5 L ha^{-1}	T2.0
Surfactante al 10 L ha^{-1}	T3.0
Agua más ácidos fúlvicos al 0,016%	T0.1
Surfactante al $2,5 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos fúlvicos al 0,016%	T1.1
Surfactante al 5 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,016%	T2.1
Surfactante al 10 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,016%	T3.1
Agua más ácidos fúlvicos al 0,032 %	T0.2
Surfactante al $2,5 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos fúlvicos al 0,032 %	T1.2
Surfactante al 5 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,032 %	T2.2
Surfactante al 10 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,032 %	T3.2
Agua más ácidos fúlvicos al 0,064 %	T0.3
Surfactante al $2,5 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos fúlvicos al 0,064 %	T1.3
Surfactante al 5 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,064 %	T2.3
Surfactante al 10 L ha^{-1} + ácidos fúlvicos al 0,064 %	T3.3

El primer riego fue de 1,5 h y se le registró 2,5 h de redistribución de agua en la columna. Al pasar 20 horas se dio un segundo riego de 1,5 h, sólo con agua, con 2,5 h de redistribución, dando un total de 3 horas de riego por columna y 8 horas de registro del frente de mojamiento.

Se instalaron microtubos para garantizar la aplicación de agua en un mismo punto. Al inicio de cada riego, con un manómetro se midió la presión manométrica de operación del sistema (P_o), y se aforaron los goteros antes de comenzar cada uno de los riegos. El surfactante, al igual que los ácidos fúlvicos, fueron aplicados a través del riego.

El surfactante corresponde al producto comercial denominado IrriGaid Gold. En el Cuadro 3 se presentan las concentraciones a las que éste fue aplicado en cantidades crecientes, partiendo de una dosis baja ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$) recomendada por el fabricante, otra dosis aplicando la máxima sugerida por él mismo (5 L ha^{-1}) y una concentración al doble de la máxima recomendada (10 L ha^{-1}).

Para determinar las concentraciones a las cuales fueron aplicados los ácidos fúlvicos, se utilizaron los mismos criterios empleados para establecer la concentración del surfactante (Apéndice I).

Para el monitoreo del frente de mojamiento se utilizó una cámara fotográfica digital que registró en determinados períodos de tiempo el avance del frente de mojamiento. Al término de la medición se analizaron los datos con Auto CAD para cuantificar el índice de apertura. Este índice cuantifica la magnitud de expansión del frente de mojamiento en dirección horizontal. Para su estimación se consideraron tres formas de calcularlo, con el fin de visualizar distintas respuesta a los tratamientos planteados.

La primera forma de obtener el Índice de Apertura es utilizando la razón entre el Ancho máximo y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (A/P)

Este indicador se calculó de la siguiente forma:

$$A/P = \frac{\text{Ancho máximo (A)}}{\text{Profundidad máxima (P)}} \quad (\text{Fórmula 4})$$

A/P: Índice de apertura que utiliza el ancho máximo del frente de mojamiento y la profundidad máxima, siendo este indicador adimensional.

A: ancho máximo del frente de mojamiento medido en el tercio superior de la columna en cm.

P: profundidad máxima del frente de mojamiento medida en cm.

La segunda forma de obtener el Índice de Apertura es utilizando el Área del frente de mojamiento y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (Ar/P).

Este indicador se calculó de la siguiente forma:

$$Ar/P = \frac{\text{Área (Ar)}}{\text{Profundidad máxima (P)}} \quad (\text{Fórmula 5})$$

Ar/P: Índice de apertura que utiliza el Área del frente de mojamiento y profundidad máxima del avance del agua en la columna, obteniéndose los resultados en cm.

Ar: área del frente de mojamiento medido en cm².

P: profundidad máxima del frente de mojamiento en la columna medida en cm.

Finalmente, la tercera forma de obtener el Índice de Apertura es utilizando el Área normalizada del frente de mojamiento (An).

Este indicador se calculó de la siguiente forma:

$$An = \left(1 - \frac{\text{Ancho máximo} - \text{Ancho mínimo}}{\text{Ancho máximo}} \right) \quad (\text{Fórmula 6})$$

An: Índice de apertura que utiliza el ancho normalizado del frente de mojamiento (adimensional).

Ancho máximo: ancho medido en cm en el tercio superior del frente de mojamiento.

Ancho mínimo: ancho medido en los últimos 5 cm de profundidad del frente de mojamiento.

Los tres índices se interpretan de igual forma, a mayor valor implica una mayor apertura del frente de mojamiento. El área normalizada (An) además permite comparar distribuciones espaciales distintas.

Se tomaron fotografías cada un minuto durante el riego de 1,5 horas y hasta las 2,5 horas de finalizado el riego. Los distintos índices se calcularon para las fotografías tomadas a los 90 minutos desde que comenzó el riego, para determinar el grado de apertura del frente de mojamiento, y para la fotografía tomada a los 240 minutos, para conocer si en la redistribución del agua en el suelo seguía actuando el agente de mojamiento de manera residual.

El diseño experimental para ambos ensayos fueron completamente al azar, con estructura factorial $4 \times 4 \times 2$ (4 concentraciones de surfactante; 4 concentraciones de materia orgánica; 2 tiempos) con tres repeticiones por tratamiento. Las concentraciones de surfactante fueron 0,01%, 0,02% y 0,04%. Las concentraciones de materia orgánica fueron 0,016%, 0,032% y 0,064%. Finalmente, los tiempos de medición fueron al final del riego, es decir, a los 90 minutos y al final del tiempo de redistribución, correspondiente a los 240 minutos desde el comienzo del riego. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) y en caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó el test de rango múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características Generales del Material Estudiado

En este estudio, determinar el color del suelo en seco y húmedo es importante porque permite identificar el frente de mojado, ya que la diferencia en el contenido de agua produce un oscurecimiento del suelo al estar húmedo. El suelo tiene un color 2.5YR 7/1 en seco y 10YR 4/2 en húmedo. En el suelo húmedo disminuye el Valor, tornándose cada vez más oscuro, y aumenta el Cromo, originando un color más puro. Estas características permiten diferenciar fácilmente este suelo, ya que visualmente es posible distinguir la zona del frente de mojado en la columna.

Respecto a la textura y clase textural, más de un 70% de los separados se encuentra en el tamaño arena, como muestra el Cuadro 4. El contenido de limo llega alrededor de 15% y la arcilla no supera el 10%. Con estos porcentajes se confirma que el material usado presenta una clase textural areno francosa.

Cuadro 4. Porcentajes de tamaños texturales y clase textural.

Repetición	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural
1	76,9	8,7	14,4	aF
2	78,7	7,8	13,5	aF
3	74,3	10,5	15,2	aF

El resultado del tamizaje a distintos diámetros se muestra en la Figura 4. En el eje de las abscisas está el tamaño de partículas en mm y en el eje de las ordenadas se encuentra el porcentaje acumulado de los tamaños de partículas. Se realizaron tres repeticiones y todas presentaron la misma distribución de los tamaños de arena. Se buscó si existía diferencia significativa entre las distintas repeticiones, sin embargo, ella no se encontró, por lo tanto se considera que todas las repeticiones son iguales.

En la Figura 4, es posible observar que más de un 70% de todas las partículas son arena, existiendo mayor presencia de arena fina (0,1-0,25 mm), la cual representa un 50% del total del tamaño de partículas. Esto es esperable, ya que este tipo de tamaño de partícula predomina en el suelo disturbado (CIREN, 1996). Para mayor información ver el Apéndice II.

También se calculó el coeficiente de heterogeneidad, que se muestra en el Cuadro 5. Las tres repeticiones dieron valores cercanos a 14, considerándose un suelo homogéneo en relación a tamaño de partículas (Kézdi, 1980). En caso que el coeficiente de heterogeneidad hubiese sido claramente mayor a 20, sería un material heterogéneo. Dado los antecedentes entregados, es posible asegurar que el material usado para los ensayos fue homogéneo con respecto al tamaño de partículas, dominado por arenas finas.

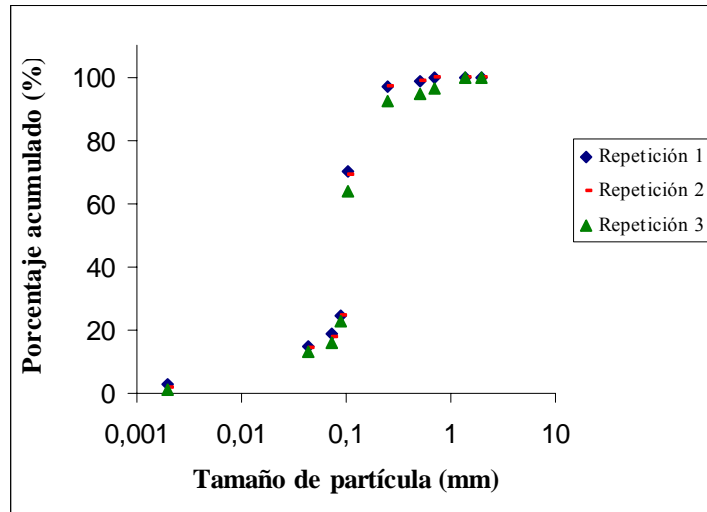


Figura 4. Porcentaje acumulado del tamaño de partículas.

Cuadro 5. Coeficiente de heterogeneidad (U).

Repetición	d_{90} (mm)	d_{40} (mm)	U
1	0,75	0,05	16,02
2	0,76	0,05	15,52
3	0,86	0,05	15,74

Por otra parte, se realizó una curva característica de retención de agua, la que se muestra en la Figura 5. En el eje de las abscisas está la tensión, representada como el logaritmo de los hectoPascales (hPa) y en el eje de las ordenadas está el contenido de agua en base a volumen (bv). Los datos de tensión son presentados en escala logarítmica, puesto que se busca hacer lineal la curva para la mejor interpretación de los distintos tamaños de poros. Es así como se aprecia que aproximadamente un 30% de la porosidad se encuentra en tamaños mayores a 10 μm (poros de drenaje), de los cuales aproximadamente un 20 % corresponden a poros de drenaje rápido (mayor a 50 μm , pF 1,72) de acuerdo a Pagliai y Vignozzi (2002).

Esta información permite saber que el movimiento del agua en el suelo contenido en la columna, va a ser preferentemente vertical más que horizontal, produciéndose frentes de mojamientos más alargados que anchos. Un suelo de texturas gruesas, que posee poros mayoritariamente gruesos, va a liberar rápidamente el agua a bajas tensiones, mientras que un suelo arcilloso, a la misma tensión, va a retener más agua.

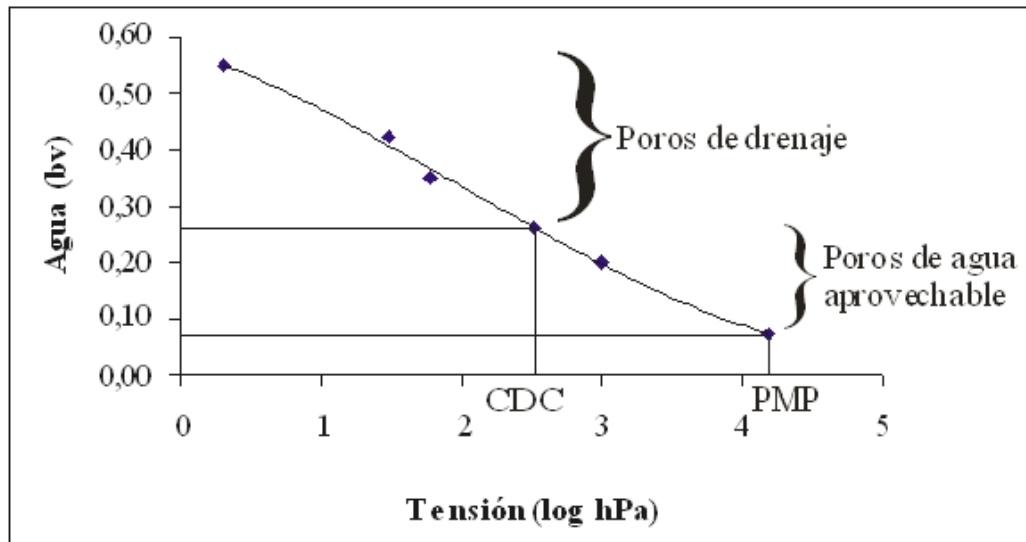


Figura 5. Curva característica de retención de agua ($bv = \text{cm}^3$ de agua cm^{-3} suelo).

Respecto a la Materia Orgánica, se determinó que el contenido de materia orgánica total es de 0,9%. Este valor es bajo para un suelo mineral de origen aluvial, por lo que se trata de un material pobre en materia orgánica, y se espera que sea no hidrófobo (Cuevas, 2006). Para ver el detalle del análisis realizado ir al Apéndice III.

Para determinar el grado de repelencia al agua del material, se realizó una prueba de sortividad. En esta prueba se tomaron muestras al azar de suelo en cilindros de metal, siguiendo la metodología de Hallet y Young (1999). Se realizaron tres muestras con dos repeticiones en cada una, obteniéndose un índice de repelencia (R) promedio de 1,13 ($\pm 0,2$), lo que corresponde a un material no hidrófobo. Más detalle sobre este último aspecto se puede encontrar en el Apéndice IV.

Con el fin de determinar si existía alguna interacción entre Materia Orgánica y el Surfactante, se probaron los distintos tratamientos en frascos con agua para observar la existencia de algún precipitado en los recipientes. En todos los casos no se observó ningún precipitado, por tanto, ambos productos son fáciles de aportar al suelo a través de un sistema de riego por goteo.

Es necesario mencionar algunos supuestos empleados en el desarrollo de este estudio. Entre ellos se encuentra que el volumen del suelo mojado por el riego está definido por el área del frente de mojado y el ancho de la columna, siendo este último valor constante (cerca de los 20 cm); la profundidad a la cual llega el agua en la columna siempre es similar, considerando el mismo tiempo de medición e independiente del tratamiento. Finalmente, se asume que el agua, a lo ancho de la columna, sigue el patrón de mojado similar a la forma del área del frente de mojado.

Índice de Apertura utilizando el Ancho máximo y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (A/P)

Analizando este índice, se obtiene un valor mayor a 1, cuando el ancho es superior a la profundidad. En este caso, la apertura del frente de mojamiento en los primeros centímetros es superior a la que existe en profundidad. Ésta es la situación buscada dada por alguna concentración de IrriGaid G. con alguna aplicación de materia orgánica.

Existe una diferencia significativa para las distintas dosis de IrriGaid G. con dosis crecientes de materia orgánica, mostrando que existe una interacción entre estos dos factores para ambos riegos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de la interacción del índice A/P en función de dosis crecientes de Materia Orgánica, para distintos niveles de IrriGaid G.

Concentraciones de Materia Orgánica e IrriGaid G.	A/P	A/P
	1 ^{er} Riego	2 ^o Riego
Sin MO y Sin IrriGaid G.	0,9360 b	0,9360 b
Sin MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,9692 b	0,8715 b
Sin MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,9669 b	0,9390 b
Sin MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,8308 a	0,7354 a
Concentración 1 de MO y Sin IrriGaid G.	0,8358 a	0,7654 a
Concentración 1 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,9205 ab	0,8393 ab
Concentración 1 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	1,0036 b	0,9067 bc
Concentración 1 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,9934 b	0,9457 c
Concentración 2 de MO y Sin IrriGaid G.	0,9284 a	0,8977 a
Concentración 2 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,9132 a	0,8993 a
Concentración 2 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,9072 a	0,8711 a
Concentración 2 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,9111 a	0,8654 a
Concentración 3 de MO y Sin IrriGaid G.	0,9174 a	0,8496 a
Concentración 3 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,9101 a	0,8740 ab
Concentración 3 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,9363 a	0,9233 ab
Concentración 3 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,9896 a	0,9637 b

* MO es materia orgánica aplicada como Ácido Fúlvicos. Letras distintas denotan diferencias significativas entre dosis de IrriGaid G. para una misma concentración de MO.

Analizando ambos riegos, cuando no se aplica MO sólo es posible observar un efecto sobre las columnas con la mayor dosis de surfactante aplicado, disminuyendo el índice con la dosis de IrriGaid G. máxima. Es decir, en aplicaciones de baja concentración del surfactante no existen diferencias significativas en el índice, no obstante, si se aumenta, se verifica una aparente contracción en el frente de mojamiento con un alargamiento del bulbo en profundidad, dado por un suelo no hidrofóbico y con un nivel bajo de materia orgánica en el material. Esto sucede, porque el surfactante tiene un efecto tensoactivo y

los poros gruesos del material permiten un avance rápido en profundidad, observándose una contracción del frente de mojamiento. Dado que se observa lo mismo en ambos riegos, es posible verificar un efecto residual en la columna al aplicar la mayor concentración de IrriGaid G, siendo ésta de 10 L ha^{-1} .

En el primer riego, al aplicar la primera concentración de MO, con las dos mayores concentraciones de IrriGaid G., se obtienen los mayores resultados en el índice. Es decir, dada la primera concentración de materia orgánica y las distintas aplicaciones del surfactante, se logra aumentar consecutivamente el ancho del frente de mojamiento. En el segundo riego, ocurre algo similar, mostrando que existe un efecto residual del producto, ya que, a medida que se aumenta la concentración del surfactante, aumenta la apertura del frente de mojamiento.

Se encontró que al aplicar la 2ª y 3ª concentración de MO con las distintas concentraciones de IrriGaid G., no se percibe ningún efecto en el primer riego. En el segundo riego hay diferencias con la 3ª concentración de MO, donde al ir aumentando la concentración del surfactante aumenta el valor del índice.

Se analizaron los datos considerando el índice en función de las distintas concentraciones de materia orgánica, encontrándose diferencias solamente en la mayor concentración de surfactante (Cuadro 7). Se verifica que sin MO hay una contracción del frente de mojamiento, debido al efecto tensoactivo del surfactante. Al aplicar las diferentes concentraciones de MO, ocurre una apertura del frente de mojamiento, siendo significativamente iguales, pero superiores a la situación sin MO. En el primer riego se observa que con la aplicación de MO aumenta el valor del índice, mostrando una apertura del frente de mojamiento. Además, esta apertura se mantiene en el tiempo, ya que, con el segundo riego se observa un efecto residual. Por tanto, se puede afirmar que al aplicar materia orgánica mas una concentración de 10 L ha^{-1} de IrriGaid G., se produce una apertura del frente de mojamiento con un efecto residual. También se verifica que el valor del índice en el segundo riego es menor que en el primer riego, pero la diferencia es menor a medida que aumenta la concentración de MO.

Cuadro 7. Análisis de la interacción del índice A/P en función del 3º nivel de IrriGaid G., para distintos niveles de Materia Orgánica.

Concentraciones de Materia Orgánica e IrriGaid G.	A/P	A/P
	1º Riego	2º Riego
Concentración 3 de IrriGaid G. y Sin MO	0,8308 a	0,7350 a
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 1 de MO	0,9934 b	0,9460 b
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 2 de MO	0,9111 ab	0,8650 b
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 3 de MO	0,9896 b	0,9640 b

Similar resultado encontró Rojas (2007) al trabajar con el mismo coadyuvante IrriGaid Gold al observar un efecto tensoactivo del surfactante, disminuyendo la tensión superficial del agua, provocando que ésta se moviera en profundidad. Además Morán (2008) encontró una interacción entre el ácido fúlvico e IrriGaid Gold, modificando la condición hidráulica del suelo, de manera tal de aumentar la apertura del frente de mojamiento con un efecto residual. Esta apertura con efecto residual se observó con

aplicaciones de 10 L ha^{-1} , al igual que en esta investigación. Esta concentración de coadyuvante de riego muestra que existe una condición crítica de interacción con la materia orgánica.

Finalmente, existe una diferencia significativa ($\alpha \leq 0,05$) en el índice A/P al medir el frente de mojamamiento en relación a distintos tiempos. Esta diferencia se presentó en ambos riegos, tal como lo muestra el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación del índice A/P para diferentes tiempos utilizando valores promedios de todos los tratamientos.

Tiempo (min)	Índice A/P 1 ^{er} Riego	Índice A/P 2 ^o Riego
90	0,9552 a	0,9059 a
240	0,9035 b	0,8545 b

Esta diferencia muestra que a los 90 minutos, el valor del Índice A/P es superior, porque se está suministrando agua y el avance ocurre tanto en profundidad como en forma lateral, es decir, actúa el potencial mátrico y el potencial de gravedad. En cambio, a los 240 minutos el avance es preferentemente en profundidad, debido a que como ya no se está añadiendo agua, el movimiento ocurre preferentemente por gravedad, o sea, actúa principalmente el potencial de gravedad.

Además, se observa que el valor del índice en el segundo riego es menor que en el primer riego, mostrando que a pesar que existe un efecto residual, hay un efecto menor en la apertura del frente de mojamamiento en el segundo riego. Esto se debe a que el diferencial de potencial es menor respecto al primer riego.

Índice de Apertura utilizando el Área del frente de mojamamiento y la Profundidad máxima del avance del agua en la columna (Ar/P)

En contraste con el índice anterior, no existieron diferencias significativas ($\alpha \leq 0,05$) para la interacción entre IrriGaid G. y la materia orgánica en prácticamente todos los casos, mostrando que este indicador no es sensible para medir dicha interacción. Sólo se encontraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0,05$) en el segundo riego para la interacción entre materia orgánica (Concentración 1) e IrriGaid G. Ésta se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de la interacción del índice Ar/P en función del 1^{er} nivel de Materia Orgánica, para distintos niveles de IrriGaid G.

Materia Orgánica e IrriGaid G.	Índice Ar/P 1 ^{er} Riego (cm)	Índice Ar/P 2 ^o Riego (cm)
Concentración 1 de MO y Sin IrriGaid G.	17,07 a	20,14 a
Concentración 1 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	18,12 a	20,94 ab
Concentración 1 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	17,81 a	21,51 ab
Concentración 1 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	18,76 a	22,18 b

* MO es materia orgánica aplicada como Ácido Fúlvicos comparada entre dosis de IrriGaid G. Letras distintas denotan diferencias significativas entre dosis de IrriGaid G. para una misma concentración de MO.

Se observa que el surfactante, dada una concentración de 10 kg ha⁻¹ de MO, no tiene efecto en la apertura del frente al momento de la infiltración del agua durante el primer riego, pero sí tiene efecto una vez que está en el material suelo, verificándose un valor mayor a medida que incrementa la dosis de IrriGaid G. Esto demuestra que se debe aplicar una dosis alta del surfactante para generar un efecto residual en la apertura del frente de mojamiento, dada una baja concentración de MO.

Otro resultado proporcionado por el Índice Ar/P indica que existen diferencias significativas entre las distintas concentraciones de materia orgánica ($\alpha \leq 0,05$), éstas se muestran en el Cuadro 10. La mayor concentración de materia orgánica disminuye el índice Ar/P, lo que demuestra que el frente de mojamiento disminuyó, produciéndose una contracción de éste, como efecto del aumento de la hidrofobia provocada por el incremento de MO.

Cuadro 10. Comparación del índice Ar/P para diferentes niveles de Materia Orgánica utilizando valores promedios de todos los tratamientos.

Concentraciones de materia orgánica	Índice Ar/P 1 ^{er} Riego (cm)	Índice Ar/P 2 ^o Riego (cm)
Sin MO	18,23 b	21,40 b
Concentración de materia orgánica 1	17,94 b	21,19 b
Concentración de materia orgánica 2	17,57 b	21,34 b
Concentración de materia orgánica 3	16,58 a	19,94 a

Letras distintas denotan diferencias estadísticas en la columna.

También existe una diferencia significativa ($\alpha \leq 0,05$) en el índice Ar/P al medir el frente de mojamiento en relación a distintos tiempos. Esta diferencia se presentó en ambos riegos, tal como lo muestra el Cuadro 11. Esta diferencia muestra que a los 90 minutos de iniciado el riego, el valor de Ar/P es menor, dado que existe un avance en forma vertical y horizontal con respecto a la columna. En cambio, después del tiempo de redistribución (2,5 horas), es decir, en el minuto 240, el avance del agua es mayor en profundidad que lateralmente, por lo tanto, se obtiene un área mayor, generando un índice mayor.

Cuadro 11. Comparación del índice Ar/P para diferentes tiempos utilizando valores promedios de todos los tratamientos.

Tiempo (min)	Índice Ar/P 1 ^{er} Riego	Índice Ar/P 2 ^o Riego
90	15,09 a	10,07 a
240	20,07 b	21,86 b

Como esquematiza la Figura 6, con un frente de mojamamiento de forma cuadrada, el avance a los 90 minutos al comenzar el riego será vertical y horizontal, debido al continuo aporte de agua por parte del gotero. Durante el tiempo de redistribución del agua, el avance será preferentemente en dirección vertical (en profundidad) debido a la fuerza de gravedad y a la no aplicación de agua. No obstante, hay un incremento en el área del frente de mojamamiento en el minuto 240, lográndose un índice de apertura superior a pesar que el largo haya aumentado.

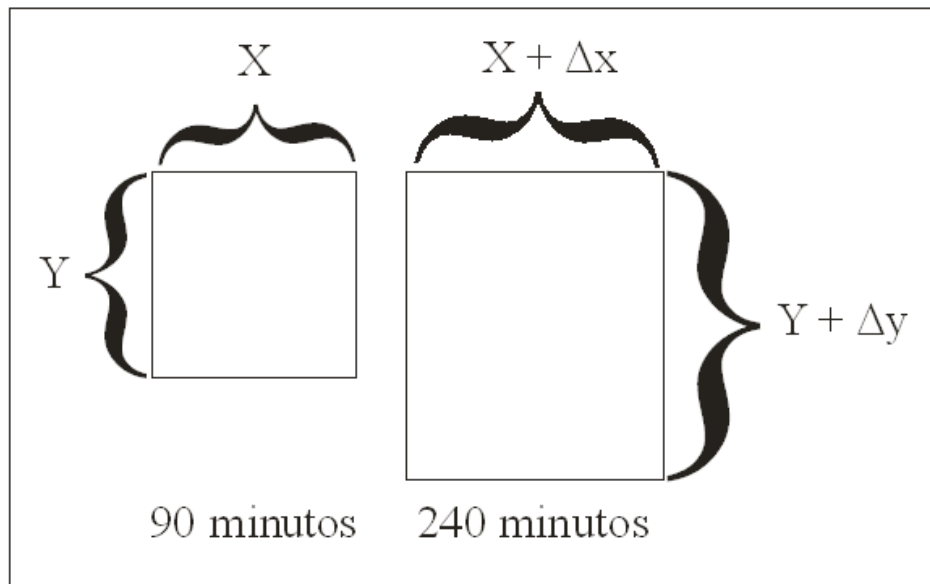


Figura 6. Esquema del crecimiento del frente de mojamamiento a los 90 y 240 minutos. X es el ancho del frente de mojamamiento e Y es la profundidad del frente de mojamamiento, ambos medidos en cm.

Índice de Apertura utilizando el Área normalizada del frente de mojamamiento (A_n)

Analizando este índice, se obtiene un valor bajo cuando existe mayor diferencia numérica entre el ancho mínimo y el ancho máximo. En este caso se logra una menor área del frente de mojamamiento, dado que el área obtenida se asemeja a un triángulo. Cuando el área adopta la forma de un cuarto de circunferencia el valor se incrementa, dado que el área es mayor (Figura 7).

Un valor superior a 0,65 en el índice significa que el área del frente de mojado es de forma de un cuarto de circunferencia, dado por una apreciación visual de las fotografías tomadas. Si el valor de A_n es inferior, significa que es de forma triangular. Es importante destacar que este índice muestra la variabilidad espacial de la distribución del agua sobre el material suelo en la columna.

Con una forma triangular, el volumen de material de suelo mojado por el riego es menor que con un cuarto de circunferencia usando iguales volúmenes de agua para los distintos tratamientos. De este modo, al observar un frente de mojado con forma triangular, se puede plantear que está presente un efecto de hidrofobia por parte de la materia orgánica o un efecto tensoactivo del surfactante. Estas diferencias se esquematizan en la Figura 7.

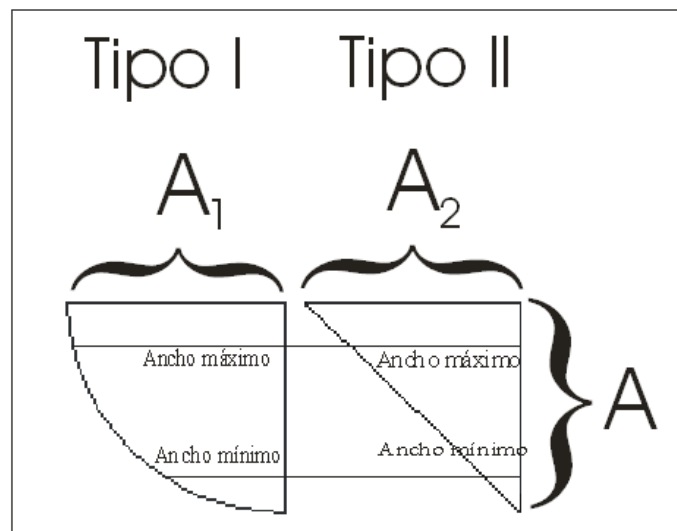


Figura 7. Formas posibles del frente de mojado obteniéndose distintos A_n . A la izquierda un A_n alto (Tipo I) y a la derecha un A_n bajo (Tipo II).

Es importante destacar que este índice resalta las diferencias que se encontraron en los distintos tratamientos a partir de la forma de los frentes de mojado. Dado que siempre se aplicó el mismo volumen de agua para todos los tratamientos, es interesante encontrar distintas formas de distribución del agua.

No se encontraron diferencias entre tratamientos a diferentes tiempos (90 y 240 minutos). No obstante, se encontraron diferencias entre dosis de IrriGaid G. para dos de las concentraciones de MO durante el primer riego (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de la interacción del índice An en función de dosis crecientes de Materia Orgánica, para distintos niveles de IrriGaid G.

Concentraciones de Materia Orgánica e IrriGaid G.	Índice An 1 ^{er} Riego	Índice An 2 ^o Riego
Sin MO y Sin IrriGaid G.	0,7015 a	0,6499 a
Sin MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,6933 a	0,6648 a
Sin MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,6735 a	0,6367 a
Sin MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,6927 a	0,6318 a
Concentración 1 de MO y Sin IrriGaid G.	0,7371 b	0,6434 a
Concentración 1 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,6282 a	0,5893 a
Concentración 1 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,6375 a	0,5983 a
Concentración 1 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,6243 a	0,5898 a
Concentración 2 de MO y Sin IrriGaid G.	0,6353 a	0,5689 a
Concentración 2 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,6376 a	0,6044 a
Concentración 2 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,5918 a	0,5613 a
Concentración 2 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,5893 a	0,6183 a
Concentración 3 de MO y Sin IrriGaid G.	0,5884 ab	0,5697 a
Concentración 3 de MO y Concentración 1 de IrriGaid G.	0,6616 b	0,5975 a
Concentración 3 de MO y Concentración 2 de IrriGaid G.	0,5637 a	0,5770 a
Concentración 3 de MO y Concentración 3 de IrriGaid G.	0,5679 a	0,6268 a

* MO es materia orgánica aplicada como Ácidos Fúlvicos comparada entre dosis de IrriGaid G. Letras distintas denotan diferencias significativas entre dosis de IrriGaid G. para una misma concentración de MO.

Con este índice, no se encontraron diferencias significativas para el segundo riego, por tanto no existió interacción. Al aplicar distintas dosis de IrriGaid G. sin MO en el primer riego tampoco existió interacción, mostrando una forma del frente de mojamamiento similar a un cuarto de circunferencia. Al analizar estas mismas concentraciones de materia orgánica y surfactante con el indicador A/P se obtiene un efecto tensoactivo. Esto quiere decir que An no es sensible al efecto tensoactivo del surfactante cuando se analiza la interacción entre MO y surfactante. Para que manifieste el efecto tensoactivo, sería necesario aumentar las concentraciones del surfactante y realizar nuevas pruebas de laboratorio en una siguiente investigación.

Al aplicar la primera concentración de materia orgánica, se verifica que sin el surfactante, la forma del frente de mojamamiento es Tipo I, mientras que, al aumentar las concentraciones de IrriGaid G. toma la forma Tipo II. Esto muestra que sin la aplicación del surfactante el valor del índice es alto, pero el efecto esperado era el contrario, dado que al aplicar materia orgánica se genera un efecto hidrófobo. Esto sucede porque el agua tiende a concentrarse en el punto de aplicación, obteniéndose un área de forma Tipo I, con un radio pequeño, pero con un valor alto en el índice. Al aplicar las distintas concentraciones del surfactante se obtiene una distribución del agua Tipo II dado el efecto tensoactivo del surfactante. Cabe destacar que las distintas concentraciones de IrriGaid G. tienen el mismo efecto, por tanto es mejor aplicar la primera concentración,

pues no tendría sentido aplicar más cantidad de producto al no obtener resultados positivos en términos espaciales de distribución de agua.

Al aplicar la segunda concentración de materia orgánica, no existen diferencias en términos espaciales, generando una distribución del Tipo II en todos los casos. Se ve que a medida que se va aplicando surfactante el valor del índice disminuye, pero sin significancia estadística.

La última y mayor concentración de materia orgánica, genera un valor bajo en el índice, mostrando un área de forma triangular. Esto se debe principalmente al efecto hidrofóbico de la materia orgánica. Al aplicar la primera concentración de surfactante, el índice se incrementa considerablemente, obteniéndose un área del Tipo I, dado que el efecto del surfactante a esa concentración mejora la distribución del agua dentro de la columna. Sin embargo, esto no sucede con las siguientes concentraciones de IrriGaid G., dado que el efecto tensoactivo es superior al efecto hidrófobo de la materia orgánica, permitiendo que el agua infiltre rápidamente, generando una distribución Tipo II.

Existen diferencias significativas en las distintas concentraciones de IrriGaid G., tal como lo muestra el Cuadro 13.

Cuadro 13. Comparación del índice An para diferentes niveles de IrriGaid G. utilizando valores promedios de todos los tratamientos.

IrriGaid G.	Índice An 1 ^{er} Riego	Índice An 2 ^o Riego
Sin IrriGaid G.	0,6656 c	0,6080 a
Concentración 1 de IrriGaid G.	0,6552 bc	0,6065 a
Concentración 2 de IrriGaid G.	0,6166 a	0,6033 a
Concentración 3 de IrriGaid G.	0,6185 ab	0,6167 a

Letras distintas denotan diferencias estadísticas en la columna.

En el primer riego, cuando no se aplica el coadyuvante de riego, el valor del índice es alto, lo que indica que la forma de distribución es parecida a un cuarto de circunferencia. Al ir aplicando las distintas concentraciones de IrriGaid G., existe un efecto sobre el frente de mojado, tanto que adquieren las concentraciones 2 y 3 una forma más triangular. Esto se debe al efecto tensoactivo del surfactante, donde el agua infiltra con mayor facilidad en el material suelo y avanza en profundidad más que lateralmente, efecto encontrado anteriormente en campo por Rojas (2007). En el segundo riego no se observa diferencias significativas.

Entre los resultados entregados por el Índice An, se tiene que es posible distinguir una diferencia significativa para los distintos niveles de concentración de materia orgánica. En el Cuadro 14 se observa que, al aumentar la concentración de materia orgánica, en ambos riegos el índice disminuye, de tal manera que en las concentraciones mayores se obtiene un valor significativamente menor. Esto representa que el frente de mojado se asemeja a una forma triangular, es decir, ocupa un volumen de material suelo menor, por tanto, refleja un efecto de hidrofobia.

Cuadro 14. Comparación del índice An para diferentes niveles de Materia Orgánica utilizando valores promedios de todos los tratamientos.

Materia Orgánica	Índice An 1 ^{er} Riego	Índice An 2 ^o Riego
Sin MO	0,6902 b	0,6483 b
Concentración de materia orgánica 1	0,6568 b	0,6052 a
Concentración de materia orgánica 2	0,6135 a	0,5882 a
Concentración de materia orgánica 3	0,5954 a	0,5927 a

Letras distintas denotan diferencias estadísticas en la columna.

Un ejemplo de las formas a encontrar con las distintas concentraciones de Materia Orgánica son las que muestran las Figuras 8 y 9. En la Figura 8 se presenta un frente de mojamamiento de forma de un cuarto de circunferencia con un valor de ancho normalizado alto. En la Figura 9 se muestra un frente de mojamamiento de forma triangular con un valor de ancho normalizado bajo.

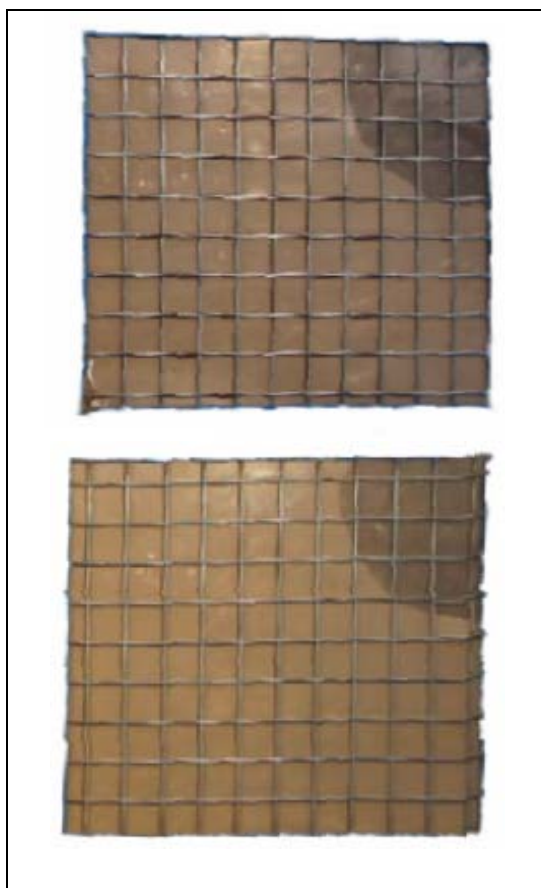


Figura 8. En ambas fotos se muestra un frente de mojamamiento de forma de un cuarto de circunferencia. La foto de arriba es el tratamiento con la 3^a concentración de MO y con la 3^a concentración del Surfactante. La foto de abajo es sin MO y sin IrriGaid G.

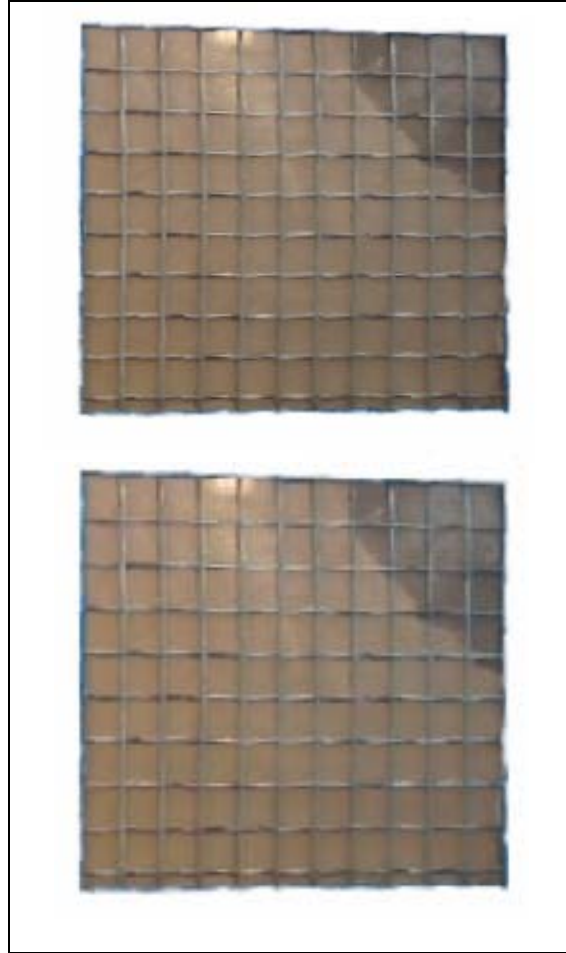


Figura 9. En ambas fotos se muestra un frente de mojamiento de forma triangular. La foto de arriba corresponde al tratamiento con la 3^a concentración de materia orgánica. La foto de abajo es el tratamiento con la 3^a concentración del Surfactante.

Además fue necesario analizar la profundidad como un parámetro para comprender el ancho normalizado. Se encontró interacción entre el contenido de IrriGaid G. y materia orgánica al analizar el surfactante en función de los ácidos fúlvicos. Esta diferencia se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Análisis de la interacción de la profundidad a la cual llega el agua en la columna, para la concentración máxima de IrriGaid G., con distintos niveles de Materia Orgánica.

Concentraciones de Materia Orgánica e IrriGaid G.	Profundidad	Profundidad
	(cm)	(cm)
	1 ^{er} Riego	2 ^o Riego
Concentración 3 de IrriGaid G. y Sin MO	24,68 b	34,21 c
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 1 de MO	22,72 ab	30,82 b
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 2 de MO	22,80 ab	30,56 b
Concentración 3 de IrriGaid G. y Concentración 3 de MO	20,49 a	27,11 a

* MO es materia orgánica aplicada como Ácido Fúlvico comparada entre dosis de IrriGaid G. Letras distintas denotan diferencias estadísticas en la columna.

Solamente se encontró diferencias significativas con la 3^a concentración del Surfactante. Se verifica que al aplicar solamente IrriGaid G. sin MO el agua llega a mayor profundidad. A medida que se va adicionando materia orgánica, el agua llega a una menor profundidad, tanto en el primer como en el segundo riego. Es por esto que se puede aseverar que el efecto tensoactivo tiene un avance en profundidad con efecto residual. En términos prácticos, esto puede significar un proceso de percolación en los suelos.

Finalmente, se puede concluir que el surfactante aumenta el frente de mojamiento, siempre y cuando esté acompañado de materia orgánica, aunque dosis excesivamente altas podrían generar una interacción con el surfactante que contrae el frente de mojamiento. Para conocer las concentraciones exactas a aplicar, es necesario realizar pruebas de campo y verificar cómo funcionan los productos en las condiciones reales de aplicación.

CONCLUSIONES

A partir de la presente investigación se puede concluir:

- Con el indicador A/P al aplicar el coadyuvante de riego en concentraciones de 10 L ha^{-1} sin materia orgánica, muestra un menor frente de mojado debido al efecto tensoactivo del producto.
- El indicador Ar/P presenta un efecto residual del coadyuvante, evaluado en el segundo riego, presentando un aumento del frente de mojado al aplicarse con dosis bajas de materia orgánica. Los incrementos de materia orgánica provocan una disminución del frente de mojado por efecto hidrófobo de la materia orgánica.
- Con el indicador An se presenta una disminución del frente de mojado, al existir un área similar a un triángulo o sea, de un bulbo de forma cónica. Esto se produce debido a un efecto de hidrofobia de la materia orgánica o por un efecto tensoactivo del surfactante.
- Los índices de apertura del frente de mojado son superiores en el momento en que el riego está siendo aplicado, no así cuando el agua se distribuye en la columna, posterior al riego.

BIBLIOGRAFÍA

- Alterra. 2000. Effect of surfactant treatments on the wettability and wetting rate of a water repellent dune sand topsoil. Alterra Progress Report CT98-4027. European Commission DG VI Agricultura. Office, Bruselas, Bélgica. 149p.
- CIREN - CHILE, 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación N° 115. Santiago, Chile. 463 p.
- Cuevas, J. 2006. Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de los suelos volcánicos. R.C. Suelo Nutr. Veg. 6(2): 13-27.
- Dane, J., y J.W. Hopmans. 2002. Pressure plate extractor. pp: 688-689. *In*: Dane, J. y G. Topp, (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. A.S.A. y S.S.S.A., Madison, WI, EEUU. 1692 p.
- Dekker, L.W., K. Oostindie y C.J. Ritsema. 2001. The impact of water repellency on soil moisture variability and preferential flow. *Int. Turfgrass Soc. Res. L. 9*: 498-505.
- Doerr, S.H., R.A. Shakesby y R.P.D Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science 51*: 33-65.
- Ellies, A., C. Ramírez y R. Mac Donald. 2003. Wetting capacity distribution in aggregates from soils with a different management. *Journal of Food, Agriculture and Environment 1(2)*: 229-233.
- Feng, G., J. Letey y L. Wu. 2000. The influence of two surfactants on infiltration into a water-repellent soil. *Soil Sci. Soc. Am. J. 63*: 361-367.
- Gee, G y D. Or. 2002. Particicle-size analysis. pp: 225-293. *In*: Dane, J. y G. Topp, (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. A.S.A. y S.S.S.A., Madison, WI, EEUU. 1692 p.
- Glass, R.J., T.S. Steenhuis y J.Y. Parlange. 1989. Wetting front instability: 2. Experimental determination of relationships between system parameters and two-dimensional unstable flow field behavior in initially dry porous media. *Water Resour. Res. 25*: 1195-1207.
- Hallett, P. y I.M. Young. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science 50*: 35-40.
- Hillel, D. 1980. Fundamental of soil physics. Academic Press. New York, U.S.A. 413p.

- Kézdi, A. 1980. Handbook of Soil Mechanics. Vol 2 Soil Testing. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 258 p.
- Kostka, S.J. 2000. Amelioration of water repellency in highly managed soils and the enhancement of turfgrass performance through the systematic application of surfactants. *Journal of Hydrology* 231-232: 359-368.
- Leeds-Harrison, P., A. Vickers y P. Young. 1999. IrrigAid infiltration trials. Cranfield University research report. 5p.
- McCauley, G. 1993. Nonionic surfactant in soil columns following application and leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 85: 17-22.
- Mitra, S. 2003. Using surfactants in optimizing water usage on turfgrasses. Dept. Horticulture/Plant and Soil Science. California State Polytechnic University Research Report. 2:231-240.
- Morán, S. 2008. Efecto de la dosis de aplicación de dos coadyuvantes de riego sobre la apertura del frente de mojamiento generado por goteros en columnas de material suelo con dos contenidos de materia orgánica. Memoria de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 59 p.
- Pagliai, M. y N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. pp. 71-82. *In: Pagliai, M. y R. Jones. 2002. Sustainable Land Management – Environmental Protection. International Union of Soil Science. Reiskirchen, Alemania. 588 p.*
- Pelishkek, R. E., J. Osborn y J. Letey. 1962. The effect of wetting agents on infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 26:595-598.
- Richardson, J.L. y F.D Hole. 1978. Influence of vegetation on water repellency in selected western Wisconsin soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 465-467.
- Ritsema, C.J., Van Dam, F.C., Dekker, L.W. y Oostindie, K. 2000. Principles and modeling of flow and transport in water repellent surface layers, and consequences for management. Alterra Progress Report CT98-4027. European Commission DG VI Agricultura. Office, Bruselas, Bélgica. 149p.
- Rojas, I. 2007. Efecto de la aplicación de dos coadyuvantes de riego sobre la apertura del bulbo de mojamiento generado por goteros en un suelo franco arenoso. Memoria de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 42 p.
- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez y M. Mora. 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 113p.

Tillman, R., D.R. Scotter, M.G. Wallis y B.E. Clothier. 1989. Water-repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Australian Journal of Soil Research*, 27: 637-644.

APÉNDICE I

Parámetros de cultivo para el cálculo de Materia Orgánica e IrriGaid Gold

Antecedentes Generales

Recomendación comercial IrriGaid Gold (IG) 1,8-3,2 L ha⁻¹.
 Recomendación comercial NaturHumus (ácidos fúlvicos) 10-20 kg ha⁻¹ año⁻¹ (80%)
 NaturHumus no especifica las dosis a aplicar en cada riego, sólo propone hacer ensayos.

Datos recopilados de Moran (2008) y empleados en esta memoria

IrriGaid Gold (L ha ⁻¹)	Concentración de IG a aplicar en el riego según datos de cultivo (%)
2,5	0,01
5,0	0,02
10,0	0,04

Supuestos

La evapotranspiración potencial de la vid conducido en Parrón Español en la zona central=5,6 mm d⁻¹.

Eficiencia de riego de un 90%.

30 L en el bidón para regar los tratamientos (contenido mínimo de agua para poder regar tres columnas por goteo).

Goteros distanciados a 1 metro sobre hilera, distancia entre hilera de 3,5 m y con doble línea (información supuesta para obtener la concentración de IrriGaid Gold).

Densidad del agua = 1 g cm⁻³.

La dosis de ácidos fúlvicos con la que se comenzará la medición será de 10 kg ha⁻¹ año⁻¹ dado que es la mínima cantidad recomendada comercialmente. Considerando dos aplicaciones anuales utilizando dicha concentración.

Desarrollo

Obtención de parámetros:

- Lámina Bruta (LB)= Lámina Neta(LN)/ Eficiencia = 5,6/0,9=6,22 (mm d⁻¹)
- Caudal a aplicar = LB* 10000 (m³ d⁻¹)
 Caudal a aplicar= 6,22*10⁻³ (m d⁻¹) * 10000 m²= 62,22 (m³ d⁻¹)
- 62,22 (m³ d⁻¹) = 62222,22 (L d⁻¹)

- $62222,22 \text{ (L d}^{-1}\text{)} \rightarrow X \text{ L IrriGaid G. ha}^{-1}$
 $30 \text{ (lt en el bidón)} \rightarrow 3 \cdot 10^{-3} \text{ L IrriGaid G. ha}^{-1} \text{ (0,01\%)}$
 $X = 6,22 \text{ L IrriGaid G. ha}^{-1} \text{ al } 0,01\%$

Entonces:

- $62222,22 \text{ L/riego} \approx 62222,22 \text{ kg/riego}$

$62222,22 \text{ kg agua} \rightarrow \text{Aplican } 10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de NaturHumus}$

$30 \text{ L} \rightarrow X$

$X = 4,82 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 4,82 \text{ gramos de NaturHumus}$

APÉNDICE II

Contenido de arena

Repetición 1

Tamiz (mm)	Masa tamiz (gr)	Masa tamiz + suelo (gr)	Masa suelo (gr)	Porcentajes (%)	Escala matemática	Escala log geométrica	Escala logarítmica	Porcentaje acumulado
2	447,3	447,3	0,0	0,00				100,00
1,4	422,2	422,6	0,4	0,08	muy gruesa	gruesa		100,00
0,71	410,8	417,0	6,1	1,24	Gruesa		arena gruesa	99,92
0,5	500,7	510,0	9,2	1,86		media		98,68
0,25	391,9	526,6	132,5	26,96	Media			96,82
0,106	508,6	734,2	222,0	45,15	Fina			69,86
0,09	332,7	362,8	29,6	6,02		fina		24,71
0,074	426,0	444,5	18,2	3,70	muy fina		arena fina	18,69
0,043	403,2	462,8	58,6	11,93				14,99
0,002	299,0	314,3	15,1	3,06	limo - arcilla	limo - arcilla	limo - arcilla	3,06

Repetición 2

Tamiz (mm)	Masa tamiz (gr)	Masa tamiz + suelo (gr)	Masa suelo (gr)	Porcentajes (%)	Escala matemática	Escala log geométrica	Escala logarítmica	Porcentaje acumulado
2	447,3	447,3	0,0	0,00				100,00
1,4	422,2	422,7	0,5	0,10	muy gruesa	gruesa		100,00
0,71	410,8	417,2	6,3	1,28	Gruesa		arena gruesa	99,90
0,5	500,7	510,3	9,4	1,92		media		98,62
0,25	392,2	530,0	135,6	27,57	Media			96,70
0,106	508,7	732,3	220,0	44,73	Fina			69,13
0,09	333,0	366,4	32,9	6,68		fina		24,40
0,074	426,0	444,5	18,2	3,70	muy fina		arena fina	17,72
0,043	403,3	463,9	59,6	12,12				14,02
0,002	299,0	308,5	9,3	1,90	limo - arcilla	limo - arcilla	limo - arcilla	1,90

Repetición 3

Tamiz (mm)	Masa tamiz (gr)	Masa tamiz + suelo (gr)	Masa suelo (gr)	Porcentajes (%)	Escala matemática	Escala log geométrica	Escala logarítmica	Porcentaje acumulado
2	447,3	447,3	0,0	0,00				100,00
1,4	422,2	442,6	20,1	3,93	muy gruesa	gruesa		100,00
0,71	410,8	418,2	7,3	1,42	Gruesa		arena gruesa	96,07
0,5	500,7	511,3	10,4	2,04		media		94,65
0,25	392,5	540,7	145,8	28,52	Media			92,61
0,106	508,8	722,2	210,0	41,06	Fina			64,09
0,09	333,0	368,6	35,0	6,85		fina		23,03
0,074	426,0	443,0	16,7	3,27	muy fina		arena fina	16,18
0,043	403,3	463,5	59,2	11,58				12,91
0,002	299,0	305,9	6,8	1,33	limo - arcilla	limo - arcilla	limo - arcilla	1,33

APÉNDICE III

Contenido de materia orgánica total

MATERIA ORGÁNICA TOTAL

Repetición	Masa de suelo (g)	Masa de capsula (g)	Mss + Mc (g)	Masa despues de la mufla (g)	Pérdida por calcinación (%)	Contenido mineral (%)	MO (%)
1	5	10,65	15,59	15,53	1,214574899	98,78543	0,9717
2	5	10,31	15,23	15,17	1,219512195	98,78049	0,9756
3	5	10,75	15,69	15,64	1,012145749	98,98785	0,8097
4	5	11,07	16	15,95	1,014198783	98,9858	0,8114
						Promedio	0,8921

APÉNDICE IV

Valores de infiltración acumulada (mg) para el etanol y el agua

Cilindro	Repetición	Líquido	Tiempo (s)					
			10	20	30	40	50	60
1	1	Etanol	230	550	740	870	940	1140
		Agua	900	1900	2980	3870	4700	5550
	2	Etanol	220	380	570	650	800	950
		Agua	1400	3300	4200	4930	5290	6470
2	1	Etanol	290	470	610	870	1000	1170
		Agua	950	1930	2880	3550	4440	5340
	2	Etanol	300	580	760	920	1030	1220
		Agua	690	1380	2030	2740	3290	3910
3	1	Etanol	230	530	720	830	940	960
		Agua	590	1090	1540	1840	2160	2610
	2	Etanol	150	360	550	770	890	1020
		Agua	340	870	1130	1590	2090	2640

Valores de caudal, sortividad e índice R

Cilindro	Repetición	Líquido	Caudal (mm^3s^{-1})	Sortividad	R
1	1	Etanol	21,18	2,53	0,95
		Agua	92,97	5,31	
	2	Etanol	18,07	2,34	0,89
		Agua	91,57	5,27	
2	1	Etanol	22,63	2,62	1,01
		Agua	88,14	5,17	
	2	Etanol	22,13	2,59	1,17
		Agua	64,4	4,42	
3	1	Etanol	18,07	2,34	1,36
		Agua	38,89	3,43	
	2	Etanol	22,31	2,6	1,41
		Agua	44,63	3,68	
				Promedio	1,13

ANEXO I**IrriGaid GOLD¹**

Material Safety Data Sheet Date Prepared: March 1, 2005 Supersedes Date: September 10, 2004.

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY DESCRIPTION

AQUATROLS CORPORATION OF AMERICA
1273 IMPERIAL WAY
PAULSBORO, NJ 08066

Emergency Phone Numbers:

For emergencies involving a spill, leak, fire, exposure or accident, contact CHEMTREC (800-424-9300 within the United States or 703-527-3887 for international collect calls).

For Product Information: 800-257-7797 or www.aquatrols.com

Chemical Name or Synonym: Non-ionic surfactant blend

C.A.S. Number: Proprietary

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Component	CAS Reg Number	Weight (%)
Alkoxylated polyols	Proprietary	10,0
Glucoethers	Proprietary	7,0
Water	7732-18-5	83,0
Trade secret as allowed by 29 CFR 1910,1200-48		

¹ Antecedentes obtenidos a partir de la información existente en el sitio web de la empresa Aquatrols Corporation of America. Mayor detalle en www.aquatrols.com

ANEXO II**Naturhumus-wsp²**

ENMIENDA ORGÁNICA	
Extracto húmico Soluble	
Riquezas garantizadas	
Materia Orgánica Total	80 % s.p.t.
Extracto Húmico Total	80 % s.p.t.
Ácidos Fúlvicos	80 % s.p.t.
Humedad Máxima	5%
pH (1,25)	4,5

² Información proporcionada por BRAMELL Ltda., importador y distribuidor en Chile de DAYMSA.
Para mayor información en mail@daymsa.com