



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**MÉTODO DE EXTRACCIÓN BIDIMENSIONAL DE SOLUCIÓN
SUELO POR SET DE EXTRACTÓMETROS DE VACÍO PARA
CARACTERIZAR LA DISTRIBUCIÓN DE NEMATOCIDA DiTera EN
EL SUELO**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO
Y GRADO DE MAGISTER EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

DIEGO ANDRÉS MÁRQUEZ ANTIVILO

DIRECTOR DE TESIS

JULIO HABERLAND ARELLANO

PROFESORES CONSEJEROS

CRISTIAN KREMER FARIÑA
OSCAR SEGUEL SEGUEL

SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2013

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO**

Título

Método de extracción bidimensional de solución suelo por set de extractómetros de vacío para caracterizar la distribución de nematicida DiTera en el suelo

Tesis presentada para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y
Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

Diego Andrés Márquez Antivilo

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTOR DE TESIS		
Julio Haberland Arellano Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	7,0	Aprobado
PROFESORES CONSEJEROS		
Cristian Kremer Fariña Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,7	Aprobado
Oscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5	Aprobado

Santiago, Chile
2013

ÍNDICE

ÍNDICE	2
RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
Hipótesis y Objetivos	10
Hipótesis	10
Objetivos Generales.....	10
Objetivos específicos	10
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Materiales	11
Descripción del sistema de extracción.....	11
Materiales para análisis de muestras.....	13
Nematicida.....	13
Métodos	14
Analítica previa.....	14
Análisis de suelo	15
Método de extracción de solución suelo.....	15
Caracterización del movimiento de nematicida en el suelo.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
Método de extracción bidimensional de solución suelo.....	18
Homogeneidad de extracción.....	18
Colmatación de placas porosas	19
Incidencia de la espera post riego y los tiempos de vacío en el volumen de extracción	20
Caracterización del movimiento de nematicida en el suelo	22
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34

APÉNDICES.....	38
Apéndice I: Método de inyección en HPLC para detección de DiTera.	39
Apéndice II: Regresión Absorbancia vs Concentración de nematicida.	40
Apéndice III: ANDEVA Interacción de la placa porosa.	41
Apéndice IV: ANDEVA Isoterma de adsorción.	42
Apéndice V: Análisis fisicoquímico de suelo.	43
Apéndice VI: ANDEVA de distribución porcentual de nematicida en el suelo.	44
Apéndice VII: Grilla de distribución porcentual de nematicida en el suelo.....	45
Apéndice VIII: Gráficos de distribución porcentual de nematicida a diferentes profundidades y distancia del emisor.	46
Apéndice IX: Regresiones de las variables del modelo.	49

RESUMEN

Se evaluó el funcionamiento de un método de extracción de solución suelo, mediante el uso de cápsulas de cerámica, caracterizando y modelando la movilidad en el suelo de un nematicida aplicado mediante goteo en condiciones de laboratorio. En un contenedor de 1m^3 de relleno con suelo de clase textural franco arenosa, se instaló un sistema para la dosificación de nematicida y posterior extracción de solución suelo por succión con extractómetros de cerámica en diferentes puntos del perfil.

Se puso a prueba el funcionamiento del sistema aplicando nematicida DiTera® WG, posteriormente se extrajo solución suelo y se cuantificó la concentración de químico por medio de la absorbancia generada por las muestras en un equipo HPLC. Utilizando interpolación por Kriging se caracterizó el movimiento de diferentes concentraciones aplicadas dentro del estanque, obteniendo curvas de concentración bidimensional del perfil.

Al evaluar el sistema de extractómetros se observó que su funcionamiento es adecuado para obtener muestras de solución suelo a diferentes profundidades y distancias del emisor, además de poder obtener muestras en diferentes condiciones de humedad de suelo, controlando el volumen extraído a través de la variación de la intensidad y tiempo de vacío dentro del sistema. Paralelamente se comprobó que las placas porosas de cerámica van generando resistencia al paso de solución suelo con el tiempo de uso, posiblemente por colmatación con partículas de suelo, por lo que se debe tener en cuenta la vida útil de estos instrumentos a la hora de realizar extracciones. Con estos parámetros se logró generar curvas de volumen de extracción, dependientes del tiempo de vacío y de la espera post riego antes de las extracciones.

Se detectó un comportamiento uniforme en la distribución de las concentraciones en el perfil, independiente de la dosis aplicada. Esto permitió generar un modelo matemático que considera parámetros de concentración aplicada y posición relativa (x, y) del punto para predecir la concentración en el suelo. Esta ecuación representa de buena forma las aplicaciones dentro de los rangos recomendados por el fabricante del producto, siendo necesario evaluarla en otras condiciones de suelo, ya que la ecuación no considera variables fisicoquímicas de éste.

Palabras clave: Movimiento de pesticidas, cápsulas de cerámica, HPLC, caracterización.

ABSTRACT

In this research we evaluated the functioning of a soil solution extracting method, characterizing and modeling a nematicide mobility in a confined sandy loam soil, under laboratory controlled conditions. It was built and installed a nematicide dispensing structure and a extraction system to allows sampling at multiple depth points of the studied soil.

The whole method was tested evaluating DiTera WG nematicide behavior in the soil, extracting water solute samples directly from the soil, and quantifying chemically the concentration using HPLC absorbance curves. The obtained records was graphically showed using bidimensional kriging interpolation process.

The extraction system was evaluated and validated obtaining water solution samples at different deeps and distances among the studied soil grid. Alongside, it was found that porous ceramic plates where subject to increasing water flow resistance, possibly by clogging the porous plates with soil particles, this effect was taken in count for the subsequent analysis in the form of time versus volume extraction curves.

A dose-independent, uniform behavior was detected in the spatial concentration of the nematicide movement among the soil profile, allowing the generation of a mathematical model considering amounts and concentration and its predicted spatial distribution in the soil. The equation obtained moves between the manufacturer recommended ranges of nematicide application. Although this model can be descriptive for similar soils, since it lacks of physiochemical variables.

Keywords: Movement of pesticides, ceramic capsules, HPLC, characterization.

INTRODUCCIÓN

Según Wang *et al.* (2005), por razones agronómicas, económicas y ambientales se requiere obtener la mayor cantidad posible de información sobre el metabolismo y movilidad de plaguicidas y herbicidas en el suelo. Esto, ya que al aplicar sustancias químicas en el suelo, a menudo solo conocemos las entradas y salidas del sistema debido a la gran cantidad de factores que intervienen en el comportamiento de los químicos y la gran complejidad del sistema mismo (Hillel, 1998). En consecuencia, la predicción es compleja, aun cuando se infiere el comportamiento teórico que presentarán los productos químicos en la solución suelo y su interacción con la fase mineral y orgánica.

McBride (1994) señala que el comportamiento de los solutos en la solución suelo se puede representar, a grandes rasgos, por los procesos de desorción, disolución, difusión, convección, adsorción y precipitación, absorción por organismos y traslocación del componente dentro del organismo; el mismo autor agrega que todos estos procesos son mediados por el contenido y movilidad del agua en el suelo, por lo que destaca la importancia de predecir su movimiento para comprender el comportamiento de los solutos.

Existe un gran número de modelos matemáticos que permiten representar el movimiento del agua en el suelo, dependiendo de diferentes factores como la estructura, textura, conductividad hidráulica, entre muchos otros. Actualmente los más aceptados para estimar el flujo de agua en medios no saturados son la Ley de Darcy y la ecuación de Richards (Hillel, 1998). Para representar el movimiento de solutos en el suelo se utiliza principalmente la ecuación de advección-dispersión propuesta originalmente por Šimůnek y Suárez (1993), quienes la utilizaron para modelar el flujo del dióxido de carbono en el suelo.

Las ecuaciones anteriormente señaladas son una aproximación al movimiento de solutos en el suelo, pues no consideran muchos de los factores que intervienen afectando el comportamiento de los constituyentes orgánicos e inorgánicos (Orrego y Arumí, 2005). En la ecuación propuesta por Orrego y Arumí (2005) se plantea como supuesto que la composición química del soluto no altera las propiedades físicas de la fase líquida del suelo, de lo contrario la infiltración y redistribución de estas mezclas no podrían simularse sin considerar el carácter no pasivo de estos solutos durante el transporte (Silva y Grifoll, 2003). Así mismo, autores como Smith y Gillham (1999) centran su atención en los cambios que genera el soluto sobre las propiedades de la fase líquida y cómo esta afecta al flujo. Henry *et al.* (1999) estudiaron también el efecto de la solubilidad del soluto y concluyeron que los compuestos orgánicos que reducen la tensión superficial del agua afectan significativamente al flujo en medios porosos no saturados. Los estudios anteriores han permitido adaptar estos factores adicionales a la ecuación diferencial original (Arrarás, 2003) y aunque los modelos varían en complejidad, partiendo por representaciones unidimensionales de los flujos en el suelo, hasta los tridimensionales que integran múltiples variables, que han sido posible gracias al desarrollo de potentes programas de modelamiento tridimensional como el HYDROFEM (Arrarás, 2003), siguen siendo poco aplicables en terreno por su complejidad de implementación y manejo, por lo que

caracterizar *in-situ* la distribución de los productos químicos en suelos, sigue siendo esencial para comprender el comportamiento de cada producto químico en cada suelo.

En condiciones de campo se debe considerar que el comportamiento de las sustancias químicas en el suelo es complejo y muy variable, dependiendo de factores como el contenido de arcilla, pH del suelo, conductividad hidráulica, estructura, entre muchos otros (Hillel, 1998). Por lo tanto, resulta de gran utilidad conocer y comprender los factores y procesos del sistema suelo que participan en la dinámica de los compuestos químicos, generando modelos que consideren las variables de la matriz donde ocurre el flujo (Youssef *et al.*, 2005).

La importancia de conocer el movimiento y permanencia de estos compuestos químicos en el suelo radica en la necesidad de realizar aplicaciones oportunas y predecir el comportamiento y dinámica de las sustancias químicas en las zonas de interés, optimizando el uso de productos y reduciendo el riesgo de contaminación por percolación profunda (Ortiz *et al.*, 1999). Para ello es necesario conocer las concentraciones reales del producto químico a diferentes profundidades una vez aplicado.

Dentro de los productos químicos más comúnmente vertidos a los suelos, se encuentran los fertilizantes y plaguicidas (Lamberti *et al.*, 1988). Particularmente en Chile se gasta una gran suma de dinero en aplicaciones para el control de nematodos (Lamberti *et al.*, 1988), principalmente con fumigantes y nematicidas órgano-sintéticos, los que son potencialmente contaminantes para el medio ambiente y de alto costo (Aballay *et al.*, 2001). Valenzuela y Aballay (1996) señalan que generalmente ocurren aplicaciones de nematicidas excesivas o deficientes, con resultados impredecibles, en especial para el control de *Xiphinema index*, lo que se traduce en pérdidas de dinero y liberación de potenciales agentes contaminantes al medio ambiente. En este último aspecto, el nematicida DiTera WG es de gran interés, ya que no presenta efectos adversos a otros organismos presentes en el suelo (Aballay, 2005).

El nematicida biológico DiTera WG es un producto obtenido de la fermentación del hongo ascomycete *Myrothecium verrucaria* inactivado; aislado del nematodo quiste *Heterodera glycines* en plantas de soya, este extracto presenta acción nematicida y nemostático (Aballay, 2005). Zou *et al.* (2011) señalan que las micotoxinas denominadas verrucarina y roridina son las responsables de la acción antimicrobiana y nematicida del fermentado. Aballay (2005) muestra en sus resultados que la forma y periodo de las aplicaciones afecta drásticamente la eficacia del producto. Valenzuela y Aballay (1996) señalan que generalmente cuando existe una falta de respuesta a la aplicación de nematicidas, es debido a que la toxicidad alcanzada en el suelo no es suficiente. Esto puede ocurrir por una aplicación insuficiente o una mala distribución del producto químico en el perfil, lo que queda en evidencia al comprobar que las aplicaciones de nematicida con riego tecnificado en zonas puntuales, con menores concentraciones y en más oportunidades durante la temporada, han presentado buenos resultados en la disminución de la población de nematodos fitoparásitos (McKenry, 1985). Valenzuela y Aballay (1996) mencionan, además, la importancia de llegar con una concentración efectiva a la zona radical donde se agrupa la mayor cantidad de los nematodos fitoparásitos.

La concentración a aplicar de un nematocida, químico u orgánico, depende de su ingrediente activo y de la efectividad de este. Al respecto, Noling (2002) señala que no solo la concentración en el suelo es importante, sino que también el tiempo de permanencia de dicha concentración, por lo que es relevante considerar la distribución y permanencia del nematocida en la zona de raíces, ya que esto determinará su eficacia (Sáinz, 1999).

Para la determinación de cualquier producto químico en el suelo se requieren procedimientos de extracción adaptados a la naturaleza del compuesto químico y las condiciones edáficas existentes (Ramezani *et al.*, 2009), siendo fundamental las técnicas de detección y cuantificación, siendo la cromatografía líquida la más utilizada para la detección de plaguicidas y compuestos orgánicos (Hernández, 1994). Utilizando varias técnicas instrumentales de análisis, como espectroscopias y cromatografías, Orellana (2005) demostro que el nematocida DiTera en la solución suelo es detectado claramente por una cromatografía líquida alrededor de los 7 minutos de paso por la columna.

Para los componentes de baja estabilidad térmica, se utiliza la cromatografía líquida de alta resolución, precisión o rendimiento (HPLC, por sus siglas en inglés), ya que trabaja a temperatura ambiente y no presenta problemas de degradación térmica de los compuestos; además tiene la ventaja de detectar compuestos no volátiles (Hernández, 1994). Por estas características, el HPLC se ha convertido en una de las técnicas más poderosas en el campo de la separación e identificación de compuestos (Silva-Cajas, 2004), aunque su alto costo sigue siendo una limitante importante.

Existen muchos tipos de HPLC y técnicas de uso, dependiendo de los compuestos a analizar y los objetivos del análisis. Para el caso de los plaguicidas, la técnica de HPLC más utilizada es la de fase inversa, en la cual se utiliza una fase móvil compuesta de agua y un solvente orgánico (Ng, 1994).

Hernández (1994) señala que el mayor problema para el análisis en HPLC es la dificultad para obtener muestras representativas de la solución suelo. Optimizar las técnicas de extracción es primordial para lograr una determinación fehaciente (D'Ascenzo *et al.*, 1998), por lo tanto el procedimiento de extracción de las sustancias químicas del suelo es el paso que requiere más atención en el análisis (Ramezani *et al.*, 2009).

Los diferentes métodos de extracción, ya sean pasivos, extractores de solución o centrifugación, tienen limitaciones para ser relacionados con las condiciones de campo, principalmente por la disturbación del suelo circundante una vez extraída la muestra (Regalado *et al.*, 2005) o el bajo volumen extraído en zonas de cuasi-saturación (Ball y Hunter, 1988), por lo que estos métodos son útiles para muestras puntuales de análisis de suelos o de flujos en el perfil. Los bajos volúmenes de extracción dificultan el análisis de muestras y por otra parte la disturbación del suelo impide generar un sitio de muestreo que acepte repeticiones o más tratamientos una vez extraídas las muestras, obligando a cambiar el sitio de muestreo con cada tratamiento.

Se han propuesto diferentes formas de tomar muestras de solución suelo, cada una con diferentes limitantes en la alteración que producen a la muestras o en la zona muestreada.

Las principales limitantes se encuentran en términos de la exploración de la extracción y la alteración del suelo circundante a la extracción, por lo que dependiendo del tipo de sustrato, del compuesto químico a analizar y la metodología de análisis, se deben tomar medidas correctivas en cada situación (Regalado *et al.*, 2005). Una de estas metodologías es la extracción de solución suelo por succión a través de placas porosas, siendo las placas de cerámica las más utilizadas por su bajo costo y dado que permiten la extracción de solución retenida hasta tensiones de agua de 70 a 85 kPa (Corwin, 2002); sin embargo presentan algunos inconvenientes, como la interacción de los compuestos químicos polares con las arcillas presentes en placas porosas. La utilización de cápsulas de succión presenta problemas en el análisis de algunos compuestos polares, dependiendo del tipo de arcilla que se utilice para la elaboración de la cerámica, pero en general retienen iones sodio, potasio y fosfatos, además de liberar iones magnesio y bicarbonato (Sanchez-Perez y Morrel, 1994), por lo que se recomienda evitar su uso para el análisis de estos compuestos químicos o el pH de la solución suelo.

Por otro lado, los lisímetros muestran un comportamiento aceptable en compuestos químicos polares como el nitrógeno, pero debe analizarse caso a caso (Zotarelli *et al.*, 2007). Finalmente, se dificulta mantener una succión constante durante la extracción, con el tiempo las placas comienzan a colmatarse con pequeñas partículas del suelo (Hart y Lowery, 1997) y existe el impedimento físico de extracciones de agua retenida a más de 100 kPa. A pesar de esto, es una buena alternativa para compuestos químicos no polares si se controla el área de influencia de la succión, permitiendo no disturbar el suelo al momento de la extracción (Regalado *et al.*, 2005).

Las cápsulas de succión activa de cerámica, aluminio u otro material, no alteran el suelo circundante para la extracción de muestras de solución suelo y los volúmenes de extracción son dependientes de la textura, propiedades hidráulicas y contenido de agua del suelo (Rhoades y Oster, 1986). Hasta cierto punto, el volumen extraído se puede controlar con el tiempo e intensidad de succión (Sanchez-Perez, 1994), por lo que este método permite llevar un monitoreo de varias muestras o tratamientos en un mismo punto, sin alterar fuertemente la zona circundante al muestreo y permitiendo extracciones en suelos con contenidos de agua inferiores a los métodos pasivos.

Es por este impacto en la eficiencia y en la economía, junto con la complejidad en la predicción de su comportamiento, que se vuelve necesario realizar una caracterización de la distribución de las sustancias químicas aplicadas en los suelos, siendo el principal objetivo la obtención de muestras representativas que permitan determinar la concentración y evitar la alteración del compuesto químico al momento de obtener la muestra (Ramezani *et al.*, 2009).

En esta tesis se propone evaluar en un suelo homogéneo un método de extracción activa, con un sistema de extractómetros de placa porosa a diferentes profundidades y distancias de un emisor, generando una grilla bidimensional de puntos muestreados que permita caracterizar el movimiento del compuesto químico en un perfil de suelo. Esta metodología se puso a prueba caracterizando y modelando el movimiento del nematicida DiTera WG, utilizando un equipo HPLC para cuantificar la concentración de cada punto muestreado.

Hipótesis y Objetivos

Hipótesis

Es factible cuantificar, modelar el contenido y distribución de DiTera WG en un suelo a partir de muestras de solución suelo colectadas mediante extractómetros de vacío.

Objetivos Generales

- Probar el funcionamiento del set de extractómetros de vacío.
- Caracterizar el movimiento bidimensional del nematicida DiTera en un suelo franco arenoso.
- Modelar el comportamiento del nematicida DiTera en un suelo franco arenoso.

Objetivos específicos

- Probar una metodología de extracción de solución suelo por un set de extractómetros de vacío.
- Evaluar los efectos del método de extracción de solución suelo en el análisis de muestras por HPLC.
- Caracterizar la distribución de tres concentraciones de inyección de nematicida 24 horas después del riego.
- Establecer qué tipo de modelo se adapta mejor a los resultados obtenidos en laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Campus Antumapu, Comuna de La Pintana, Ciudad de Santiago, Chile. Constó de dos partes; la experimental, que fue montada en el laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería y Suelos, y otra parte analítica, que se desarrolló en el laboratorio de HPLC del Departamento de Agroindustria y Enología.

Descripción del sistema de extracción

Utilizando un sistema de tuberías y válvulas unidas a una bomba de vacío, se diseñó un sistema de extractómetros que permite la extracción de solución suelo y su posterior traslado a la superficie sin necesidad de disturbar el suelo circundante. Cada extractómetro está conectado a un sistema de tuberías, micro-tubos y válvulas que permite utilizar la succión generada por la bomba para extraer solución suelo o para impulsar el líquido extraído hasta un recipiente en la superficie. El sistema de tuberías cuenta con dos zonas, aisladas por una goma atravesada por un microtubo que conecta el fondo de placa porosa con un recipiente en la superficie (Figura 1). La red cuenta con un set de tres válvulas de bola que cumplen la función de cortar el vacío hacia el extractómetro (válvula a), dar paso preferencial de succión por el microtubo (válvula b) y generar una conexión con la atmósfera (válvula c).

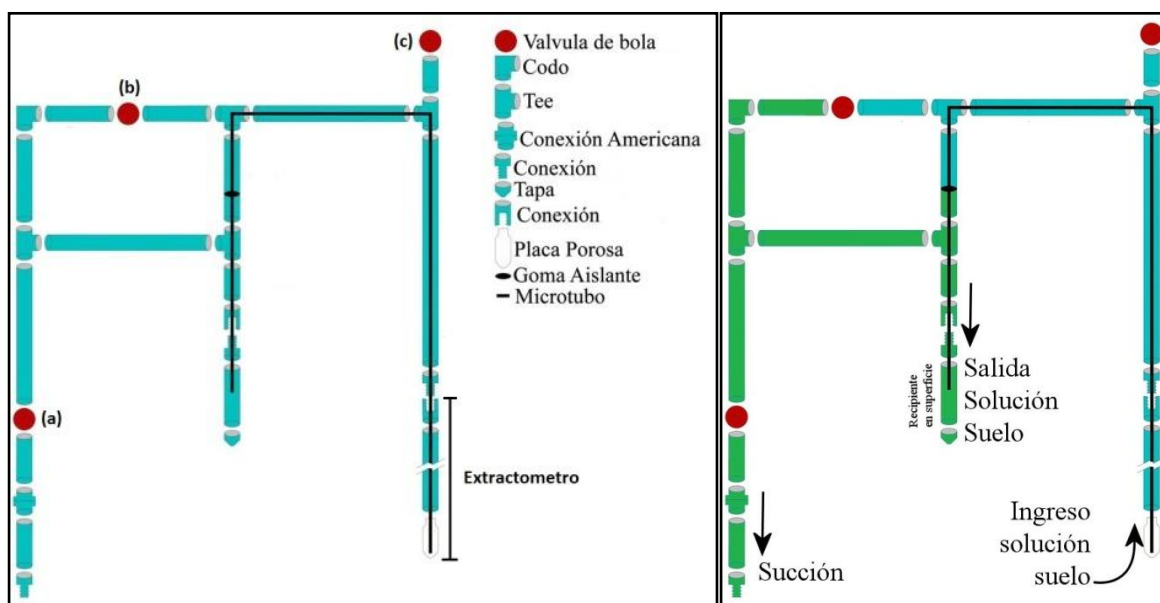


Figura 1. Esquema del extractómetro con su red de tuberías, válvulas y microtubos (izquierda) y detalle de funcionamiento, con dos zonas aisladas por una goma (derecha).

De esta forma, al mantener abiertas solo las válvulas **a** y **b**, la bomba de succión genera un vacío dentro de la tubería y la consecuente succión a través de la cápsula porosa, provocando el ingreso de la solución suelo hacia el interior de la cápsula. Luego, para llevar el líquido extraído hasta el recipiente en la superficie, se cierra la válvula **b**, dejando que la succión solo tenga paso por el microtubo y posteriormente, abriendo la válvula **c**, se permite la entrada de aire al sistema, impulsando por diferencia de presión el líquido desde la placa porosa hacia recipiente al otro extremo del microtubo.

Una vez probado el funcionamiento de los extractómetros, para su instalación se dispuso de cuatro estanques llenos de suelo franco arenoso extraído de la Serie Rinconada de Lo Vial (CIREN, 1996); los estanques eran de dimensiones 1 m x 1 m x 1 m con agujeros de drenaje en el fondo. En la superficie de los estanques se instaló un sistema de líneas de riego conectadas a un estanque de 1000 L de agua por una válvula de control de flujo; a cada estanque se le instaló un gotero de 4 L h⁻¹ en el centro.

Posteriormente a cada estanque se le instalaron 16 extractómetros a 4 diferentes profundidades y 4 diferentes distancias horizontales desde el gotero. Así quedaron dispuestos a 20, 30, 40 y 50 cm de profundidad y a 10, 20, 30 y 40 cm de distancia al emisor (Figura 2).

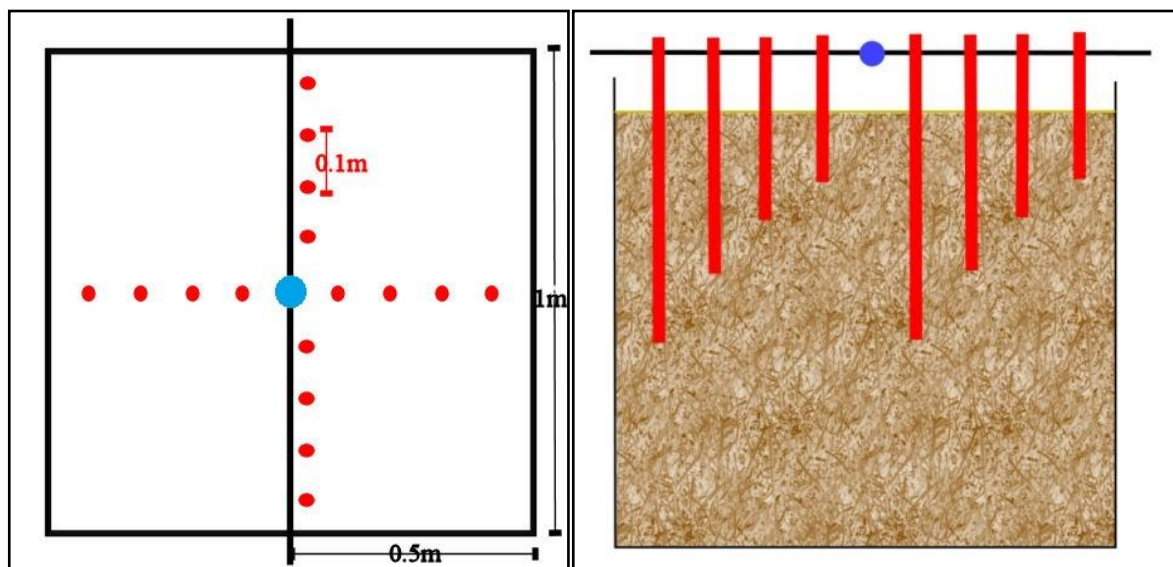


Figura 2. Vista de planta (izquierda) y sección longitudinal (derecha) de la disposición de los extractómetros (rojos) y el emisor (azul).

Los extractómetros fueron puestos de manera aleatoria en cada estanque, pero respetando que en cada uno debía existir solo una combinación de profundidad y distancia desde el emisor.

Una vez instalados los extractómetros, durante 6 meses los estanques fueron regados, estabilizados y rellenados, hasta su asentamiento a altura constante de 1 m de suelo dentro del estanque.

Finalmente, los puntos de extracción quedaron dispuestos de manera que al combinarlos generaron una grilla bidimensional de extracciones (Figura 3), bajo el supuesto de simetría del bulbo húmedo, tal como menciona en su trabajo Gil *et. al.* (2011).

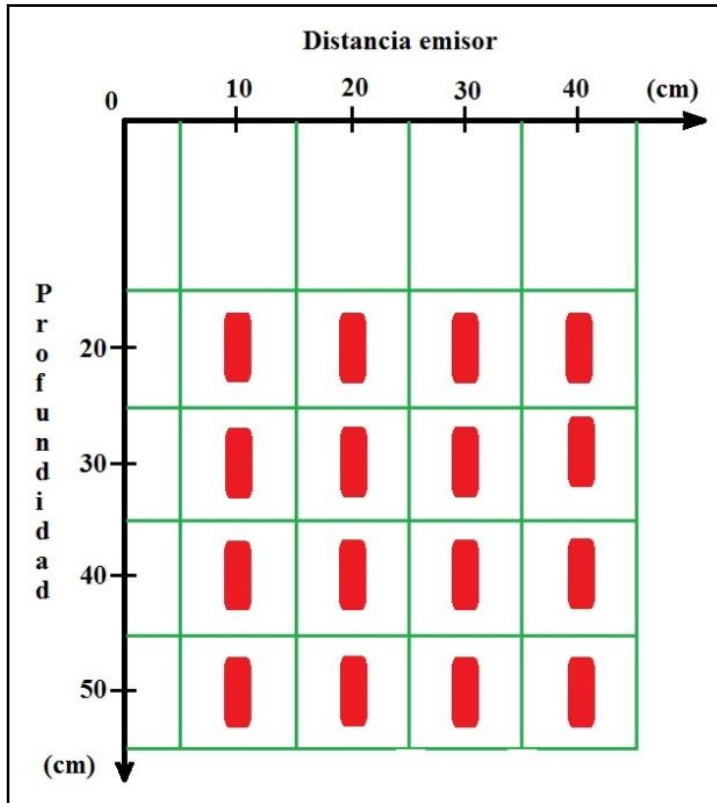


Figura 3. Grilla bidimensional en el suelo, con el emisor ubicado en las coordenadas (0,0).

Materiales para análisis de muestras

Para la preparación de muestras se utilizaron recipientes de vidrio de 100 mL y filtros de 0,22 μm .

Para el análisis, se utilizó un HPLC marca Agilent-1200 con columna Nova-PaK (Waters) C18, 4 μm , 3,9 x 300 mm, con horno a 20° C de temperatura, unido a un Detector de Arreglo de Diodos (DAD). Para la fase móvil se utilizaron soluciones de ácido acético al 2% y una mezcla de acetonitrilo, ácido acético y agua (20/2/78).

Nematicida

Para este estudio se utilizó el nematicida biológico de presentación comercial DiTera® WG, cuyo ingrediente activo es el fermentado del hongo *Myrothecium verrucaria* a una concentración del 90,0% (p/v), que actúa principalmente por contacto.

Métodos

Analítica previa

Calibración del método de detección. Previo a la extracción de muestras, se realizaron pruebas en el HPLC para establecer el método de inyección que permitió identificar claramente la presencia del nematicida en la solución.

Considerando que la mayoría de los compuestos orgánicos son detectados en los HPLC en las longitudes de onda entre 250 a 300 nm (Loro, 2001), y utilizando como base lo mencionado por Orellana (2005) sobre la detección del nematicida con el método para "fenoles de bajo peso molecular" implementado en el laboratorio de HPLC del Departamento de Enología de la Universidad de Chile, que utiliza solventes orgánicos y una longitud de onda de 280 nm para la detección, se llegó a un método específico para la cuantificación del nematicida (Apéndice I).

Curva de calibración. Se generó la curva inyectando muestras de concentración conocida de nematicida de 80, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 mg L⁻¹, con el fin de relacionar el área generada por el pick de absorbancia obtenida de las inyecciones en el HPLC con una concentración de nematicida en solución. De esto se obtuvo la siguiente ecuación (Apéndice II):

$$C = 17,7 + 2,64 \cdot X$$

Donde:

C: Concentración en la solución (mg L⁻¹).

X: Area bajo el pick (mAU·s)

Interacción de la placa porosa en la detección. Se evaluó la posible alteración de la muestra por las placas porosas de cerámica, forzando el paso de una solución de concentración conocida por la placa y luego analizando si existía diferencia en la detección en el HPLC.

Se evaluaron 3 concentraciones (400, 700 y 1000 mg L⁻¹) y no se encontraron diferencias significativas entre las soluciones madres y las obtenidas de la placa porosa (Apéndice III).

Isoterma de adsorción. Adaptando el procedimiento descrito por Cartón *et al.* (1997), se prepararon muestras con 2 g de suelo seco y 40 mL de solución a concentración conocida, se agitó durante 21 horas y luego se extrajo una alícuota del sobrenadante para su análisis.

Se analizó la adsorción en 3 concentraciones de nematicida (200, 700 y 1000 mg L⁻¹), no encontrándose diferencias significativas entre la solución madre y los sobrenadantes (Apéndice IV).

Por lo tanto, se asume que no existe adsorción del nematicida por el suelo utilizado en este experimento, para el periodo de aplicación y extracción de muestras (24 horas).

Análisis de suelo

Los análisis físicos y químicos de suelo para su caracterización inicial se realizaron en el laboratorio privado AGROLAB Ltda. (Apéndice V).

Análisis físico de suelo. Se realizaron en total nueve análisis físicos de suelo para determinar la densidad aparente seca con cilindro (Dewis y Freitas, 1970), densidad real con picnómetro (Dewis y Freitas, 1970), textura mediante el método de la pipeta de Robinson (Gee y Bauder, 1986), porosidad total, macroporosidad y retención de agua a 33 y 1500 kPa con plato y olla a presión.

Análisis químico de suelo. Se realizaron los análisis de capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de Percolación en Acetato de Sodio 1 Na pH 7,0 (Sadzawka *et al.*, 2007), determinación de pH en agua (relación 1:2,5) medido electrónicamente (Dewis y Freitas, 1970), conductividad eléctrica, NPK disponible, cationes (Ca, Mg, K y Na) intercambiables, Micronutrientes (Sadzawka *et al.*, 2007) y cuantificación del contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934).

Método de extracción de solución suelo

Las extracciones se realizaron con una bomba de vacío capaz de generar una succión constante de -90 cb dentro del sistema.

Se realizaron pruebas para optimizar el sistema y validar el método de extracción, para ello se regó uniformemente todo el perfil antes de cada prueba. Las pruebas constaron de: Homogeneidad de extracción, pruebas de colmatación de extractómetros, extracción a diferentes tiempos después del riego y diferentes tiempos de vacío.

Homogeneidad de extracción. Se realizaron extracciones de solución suelo generando succión durante 20 minutos en cada uno de los extractómetros de manera independiente, posteriormente se cuantificó el volumen extraído.

Prueba de colmatación de extractómetros. Se seleccionaron 2 extractómetros y se realizaron 30 extracciones consecutivas de solución suelo, regando y esperando 24 horas en cada extracción, generando vacío durante 20 minutos, posteriormente se cuantificó el volumen extraído.

Incidencia de la espera post riego y los tiempos de vacío en el volumen de extracción. Se realizaron extracciones con tiempo de succión variables de 5, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos, pasado 24 y 48 horas y 7 días después del riego, posteriormente se cuantificó el volumen extraído.

Caracterización del movimiento de nematicida en el suelo

Obtención y análisis de muestras de nematicida. Se caracterizó el movimiento del nematicida DiTera WG en un suelo franco arenoso, para ello se aplicaron vía riego 3 tratamientos de diferentes concentraciones de nematicida (400, 700 y 1000 mg L⁻¹). Para que el factor de tiempo de riego e inyección no generaran distorsión entre los tratamientos, en todos ellos se regó el equivalente al 50% de la humedad aprovechable calculada de los análisis físicos de laboratorio, inyectando el producto durante todo el riego. De acuerdo al análisis de incidencia del tiempo de vacío en el volumen de extracción, para obtener entre 50 a 60 mL de solución suelo por extractómetro, luego de esperar 24 horas después del riego, se debe generar vacío durante 15 minutos dentro del sistema.

Para asegurar que no existieran trazas de nematicida de los tratamientos anteriores, se realizaron muestreos post-lavados del perfil, donde se observó que luego del segundo o tercer lavado el HPLC no detectaba presencia del nematicida en las extracciones, por lo que una vez obtenidas las muestras, el suelo fue regado 4 veces sin nematicida hasta saturación y se dejó drenar. Con el objetivo de que el suelo se encontrara en condiciones similares para cada tratamiento, se esperó 3 días después del último lavado antes de la siguiente aplicación y extracción.

De cada uno de los 4 estanques con extractómetros se obtuvo una sub-muestra de solución suelo de cada combinación de profundidad/distancia al emisor, las que fueron mezcladas equitativamente con sus iguales de otro estanque para obtener 2 repeticiones de 100 mL por punto de muestreo.

De cada muestra compuesta se extrajo una alícuota de 2 mL, la que fue filtrada a 0,22 µm y posteriormente inyectada en el HPLC para la determinación de la concentración de nematicida.

Análisis de datos. Una vez obtenido todos los datos de concentración de nematicida en el suelo, se realizó un análisis de varianza a cada tratamiento para determinar diferencias significativas entre los puntos de muestreo. Se utilizó el promedio de las muestras conjuntas de los tratamientos para individualizar cada punto.

Luego se realizó una limpieza de datos, eliminando aquellos datos que se comportaron de manera anómala o escaparon claramente al comportamiento de los demás datos. La mayor parte de la limpieza de datos fue por inspección visual del comportamiento de las primeras caracterizaciones de los tratamientos.

Para la interpolación se utilizó el programa Surfer 10, aplicando el modelo estadístico de Kriging para obtener imágenes de la distribución. Asumiendo simetría del bulbo de mojamiento, se consideró una imagen especular para los puntos a la izquierda y derecha del emisor, para así representar el movimiento bidimensional del nematicida.

Posteriormente, de cada tratamientos se extrajo datos interpolados de una de las imágenes especulares de la caracterización, generando una grilla con 315 puntos extraídos por

tratamiento. La distribución de estos puntos fue cada 5 cm horizontalmente hasta los 70 cm de distancia del emisor y cada 5 cm verticalmente hasta los 100 cm de profundidad.

Estos datos fueron separados por tratamiento y transformados a porcentajes, donde se consideró que el 100% fue la concentración aplicada en cada tratamiento. Así, se obtuvo 3 grillas de porcentajes, las que fueron transformados por el método angular o de Bliss, y sometidos a un ANDEVA para comprobar si, independiente de la concentración aplicada, existió similitud en la forma en que se distribuyó el nematicida en el perfil.

Se generó una grilla única de porcentajes utilizando los valores promedio de los tres tratamientos para cada punto. Posteriormente esta grilla fue dividida en profundidades cada 5 cm, generando 21 set de datos cada uno de 15 datos de distancia del emisor (de 0 a 70 cm, cada 5 cm). Estos set de datos fueron utilizados para generar regresiones que permitieron predecir la concentración a cada profundidad y distancia del emisor.

Finalmente se buscaron ecuaciones que tuviera como variable la profundidad y que fueran capaces de entregar como resultado las constantes de las regresiones de los set de datos, para así generar un modelo matemático que tuviera como variables las coordenadas x e y del suelo y la concentración de nematicida aplicada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Método de extracción bidimensional de solución suelo

La estructura armada para extraer solución suelo es capaz de mantener una succión relativamente constante de -65 a -80 cb con los 64 canales de succión abiertos, esta variabilidad disminuye en la medida que existen menos canales abiertos. La velocidad a la que se alcanza esta estabilidad de succión varía dependiendo de la cantidad de extractómetros funcionando.

En relación a esto, se encontró que la mejor manera de asegurar una succión estable y al mismo tiempo optimizar la velocidad de obtención de las muestras, fue mantener activo 32 extractómetros como máximo. Mantener una succión estable es primordial para intentar tener un nivel de flujo y potencial de extracción uniforme (Regalado *et al.*, 2005).

Homogeneidad de extracción

Se comprobó que en similares condiciones hídricas alrededor de la zona de succión, los volúmenes extraídos son iguales (Cuadro 1), por lo tanto para una toma de muestras en condiciones hídricas similares, el volumen de suelo explorado por la extracción es equivalente en cada caso y por lo tanto comparables, permitiendo deducir que las diferencias que pudieran encontrarse al momento de utilizar métodos de riego que no aseguren la uniformidad de mojado del perfil pueden considerarse dentro de las características propias del método de riego o debido a propiedades intrínsecas del suelo, con el consecuente efecto en la distribución del agua y las sustancias químicas. Regalado *et al.* (2005) destaca la importancia de la exploración en la extracción de muestras de solución suelo y la representatividad que tenga esta, asociando las condiciones de muestreo al volumen extraído del suelo, sobretodo en estudios de transporte de sustancias químicas. Cabe señalar que aunque el método parece asegurar la representatividad de la zona cercana a la placa porosa, difícilmente permite identificar flujos preferenciales en los macroporos (Shaffer *et al.*, 1979), por lo que esta homogeneidad podría verse afectada en suelos de características irregulares o en condiciones de campo.

Cuadro 1. Promedio de volúmenes de extracción a diferentes profundidades y distancias del emisor, con tiempo de succión de 20 minutos.

Dist. Emisor	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
Profundidad	-----mL-----			
-20 cm	82,020	80,160	81,845	76,140
-30 cm	81,480	78,770	78,325	80,835
-40 cm	78,290	81,240	81,290	79,460
-50 cm	82,565	79,275	80,980	84,835

* No se registraron diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

Es importante destacar que a la hora de realizar pruebas con un emisor ubicado en el centro del sistema de extractómetros, difícilmente se logra homogenizar la condición hídrica del suelo dentro del estanque, pero considerando lo mencionado por McBride (1994), de que gran parte del transporte de los compuestos químicos en el suelo está mediado por el agua, la distribución de esta también es un factor a tener en cuenta para la caracterización de la distribución de cualquier compuesto químico en el suelo. Así, estas diferencias de humedad dentro del suelo son un indicador del movimiento de los solutos presentes en el agua aplicada vía riego.

Colmatación de placas porosas

Se observó una disminución en el volumen de solución suelo extraído con cada uso del sistema (Figura 4). La merma en volumen extraído se asocia con el tiempo de funcionamiento del sistema, generando una pérdida de aproximadamente 2 mL menos de solución obtenida por hora de funcionamiento.

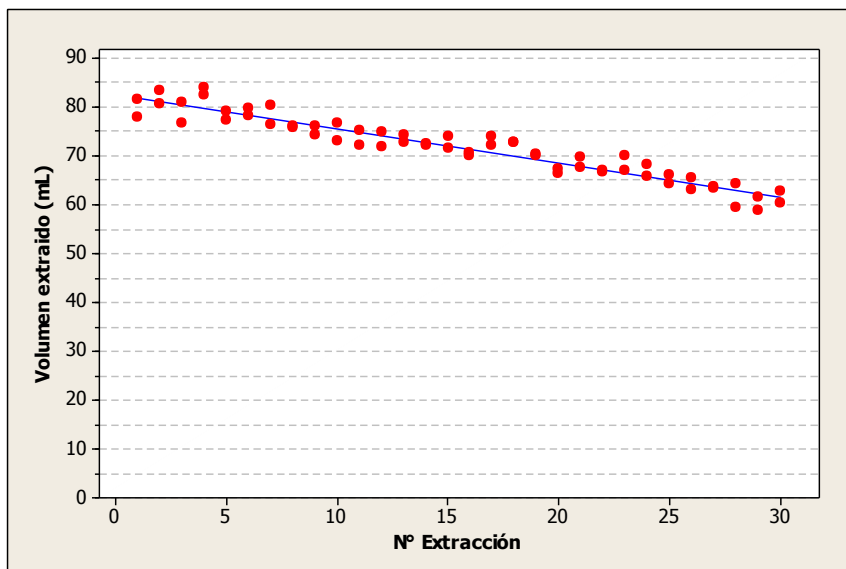


Figura 4. Gráfico de volumen extraído por cada extracción realizada con un mismo extractómetro (extracciones de 20 minutos de succión).

Esta pérdida en la capacidad de extracción del sistema posiblemente se deba al taponamiento de los poros de la cerámica con partículas de suelo, como menciona Hart y Lowery (1997), en que paulatinamente la placa va capturando partículas en sus poros, colmatándose con el uso. Las partículas de suelo no solo tapan los poros, también angostan las zonas de flujo, obligando a gastar más energía para la extracción de una muestra de igual volumen. Para remediar esta situación, se debe aumentar el tiempo de succión cuando se detecte una merma considerable en la extracción; cuando la necesidad de aumento de tiempo de succión sea excesivo se debe cambiar la placa porosa. Durante todo el proceso de este estudio se realizó una modificación paulatina del tiempo de succión desde 15 minutos a 20 minutos de succión y no fue necesario cambiar las placas porosas.

Incidencia de la espera post riego y los tiempos de vacío en el volumen de extracción

Tanto los tiempos de succión como la espera post riego, mostraron tener una influencia directa sobre el volumen extraído en los muestreos (Cuadro 2). Por una parte, al aumentar el tiempo de succión aumentó el volumen extraído; contrariamente, al aumentar el tiempo de espera post riego disminuyó el volumen extraído para un mismo tiempo de succión. Esto se condice con lo expuesto por Sanchez-Perez (1994) con respecto a que los tiempos de vacío pueden controlar en cierta medida el volumen de solución extraída, y con lo mencionado por Rhoades y Oster (1986) en cuanto a que el contenido de agua del suelo juega un rol fundamental en la capacidad de extracción de solución suelo de cualquier sistema.

Cuadro 2. Volúmenes de extracción a diferentes tiempos de vacío y diferentes tiempos después del riego.

Espera post riego	24 horas	72 horas	7 días
Tiempo de succión	-----mL-----		
5 min	10,0 ±1,0 a	10,1 ±1,0 a	5,4 ±0,2 a
10 min	46,4 ±2,5 b	34,2 ±3,6 b	11,4 ±0,7 b
20 min	83,1 ±4,7 c	54,3 ±2,3 c	15,8 ±0,4 bc
30 min	101,7 ±4,8 cd	66,5 ±2,6 d	19,8 ±1,2 c
45 min	116,2 ±8,1 de	76,0 ±3,1 d	19,5 ±1,2 c
60 min	128,4 ±1,1 e	77,5 ±3,2 d	20,1 ±2,4 c

* Promedios unidos por letras iguales en la misma columna indican diferencias estadísticamente no significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

La disminución en el volumen obtenido al distanciar más la extracción después del riego, se puede explicar por la pérdida en el contenido de agua del perfil debido a la evaporación y drenaje del suelo, tal como explica Ingelmo *et al.* (1980) en sus estudios sobre la evaporación en suelos de diferentes texturas, donde expone que las clases texturales más gruesas tienden a desecarse rápidamente debido a su baja retención de agua y mayor cantidad de macroporos. Así, al disminuir el contenido de agua en el suelo, la cantidad de solución extraíble es menor, debido a la limitante que impone la succión para el agua que se encuentre a menos de -80 kPa de retención en el suelo (Corwin, 2002). Por ello, en los tres tiempos de espera después del riego se encontró un punto donde el tiempo de succión no tiene efecto significativo sobre el volumen extraído, este máximo volumen posible de extraer va disminuyendo y se encuentra más rápido en la medida que aumenta la espera post-riego.

Para los tiempos de 24 y 72 horas de espera, se encontró un volumen máximo de extracción a los 45 y 30 minutos de succión respectivamente, en la espera de 7 días este punto se alcanza tempranamente a los 20 minutos de succión. Para cada tiempo de espera después del riego se encontró que existe una relación entre el volumen extraído y el tiempo de succión que se adapta a regresiones logarítmicas (Figura 5).

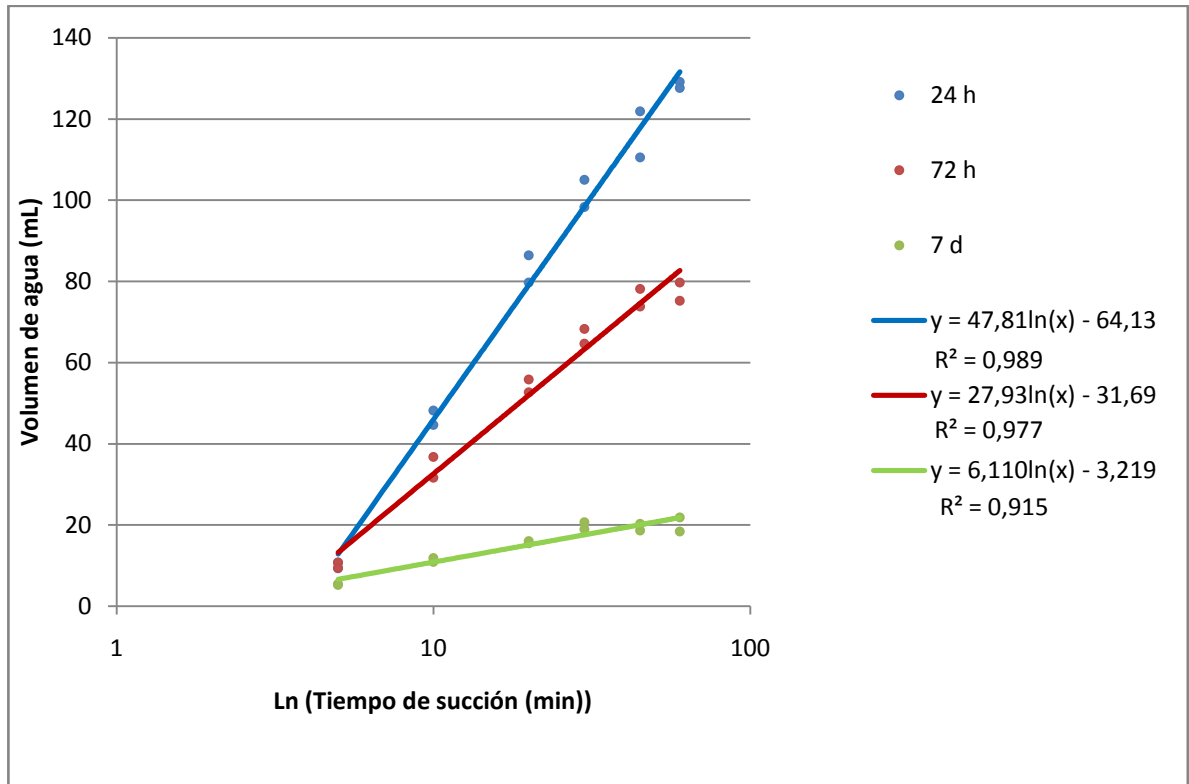


Figura 5. Volumen extraído de acuerdo al tiempo de succión aplicado (minutos) para distintos tiempos después del riego. Regresiones significativas con alfa de 5%.

Para el estudio del comportamiento de DiTera WG se utilizó un tiempo de espera de 24 horas post-riego, dando así tiempo para que se distribuya el agua en el perfil y para evitar la degradación de los compuestos químicos del nematicida orgánico. Para la obtención de una muestra conjunta de 100 mL de solución suelo, luego de 24 horas de haber aplicado el nematicida, se necesitaron 2 submuestras de al menos 50 mL, las que fueron obtenidas con 15 minutos de vacío.

Caracterización del movimiento de nematicida en el suelo

Se realizó una caracterización de las concentraciones compuestas de dos repeticiones, obteniendo un promedio de la muestra y contra-muestra por punto de extracción (Figura 6, 7 y 8). Sin embargo, algunas contra-muestras presentaron un error en las lecturas del HPLC, posiblemente por contaminación de la muestra al momento de su preparación, entregando cromatogramas con alteraciones graves que impedían su correcta interpretación, por lo que se utilizó la muestra no alterada para caracterizar el punto de muestreo.

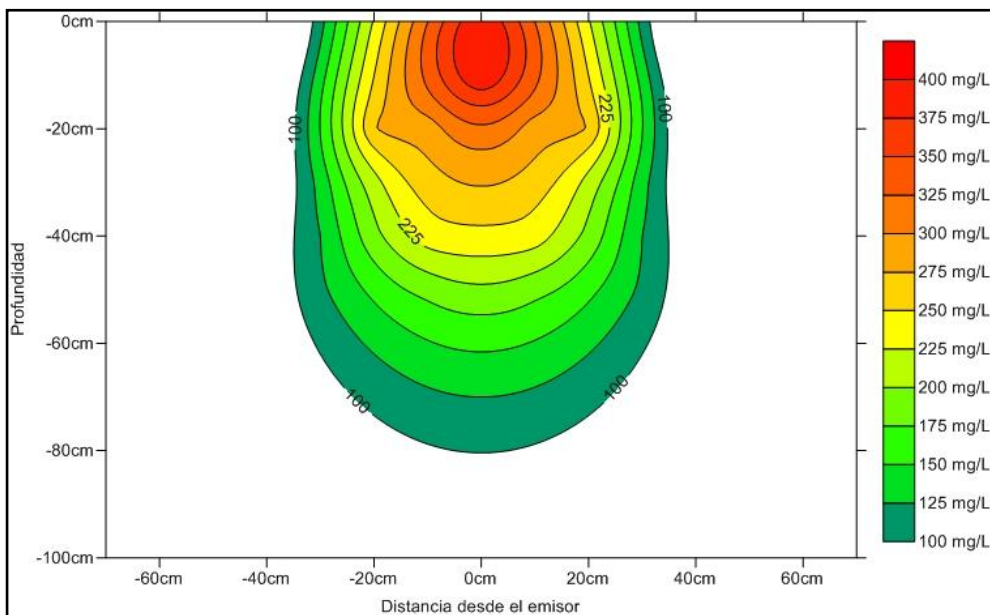


Figura 6. Distribución de DiTera en el perfil inyectando una concentración de 400 mg L⁻¹.

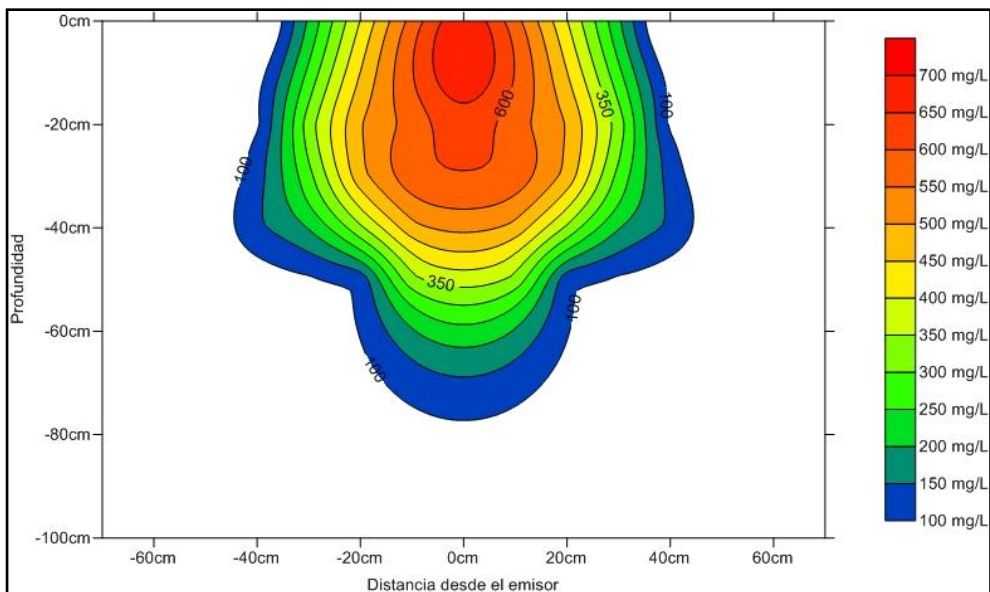


Figura 7. Distribución de DiTera en el perfil inyectando una concentración de 700 mg L⁻¹.

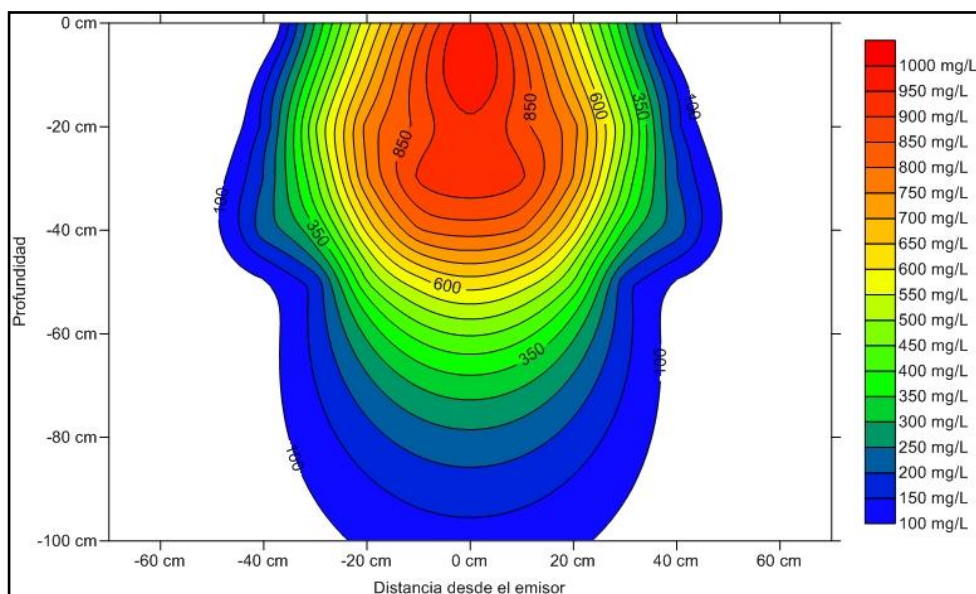


Figura 8. Distribución de DiTera en el perfil inyectando una concentración de 1000 mg L^{-1} .

De estas caracterizaciones se observa una deformación ocurrida en los tratamientos de 700 y 1000 mg L^{-1} . Al analizar los datos que dan origen a este comportamiento, se observó que existían datos anómalos en 2 de las muestras conjuntas obtenidas en los puntos de extracción $30/-50$ y $40/-50$ (Cuadro 3), estos datos presentaban valores muy inferiores a lo esperado. Se desconoce el origen de este error, pero se infiere que podría deberse a dos extractómetros que no se encuentran en contacto directo con el suelo o a la ruptura de las placas de cerámica, provocando la entrada de agua al momento de realizar los lavados de suelo y diluyendo la solución suelo extraída posteriormente. Para estos casos se utilizó la muestra no alterada para caracterizar el punto de muestreo, eliminando la sub-muestra anómala.

Cuadro 3. Concentraciones de las muestras conjuntas en distintos puntos de muestreo que presentaron errores o datos anómalos, en cada tratamiento de inyección.

Conc. Inyectada	400 mg L^{-1}		700 mg L^{-1}		1000 mg L^{-1}	
	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 1	Ext. 2
Punto de extracción	-----mg L ⁻¹ -----					
---cm/cm---	-----					
10/-20	243,2	325,2	560,5	---	861,6	851,6
40/-40	75,5	80,3	142,6	---	231,0	224,6
10/-50	214,9	150,7	334,8	---	572,2	584,9
20/-50	151,4	161,7	250,0	---	376,7	522,1
30/-50	119,0	120,9	169,5	14,4**	263,3	67,3**
40/-50	75,8	77,5	110,9	30,3**	142,3	46,1**

* Muestras con error en el análisis en el HPLC, y utilización de una sola muestra conjunta para representar el punto.

** Resultados anómalos y utilización de una sola sub-muestra para representar el punto.

Una vez realizada estas correcciones, se caracterizó nuevamente el comportamiento de estos dos tratamientos de inyección (Figuras 9 y 10); el resultado fue un comportamiento similar al esperado para el bulbo de mojamiento y siguiendo un patrón acorde a lo visto en el tratamiento de 400 mg L⁻¹.

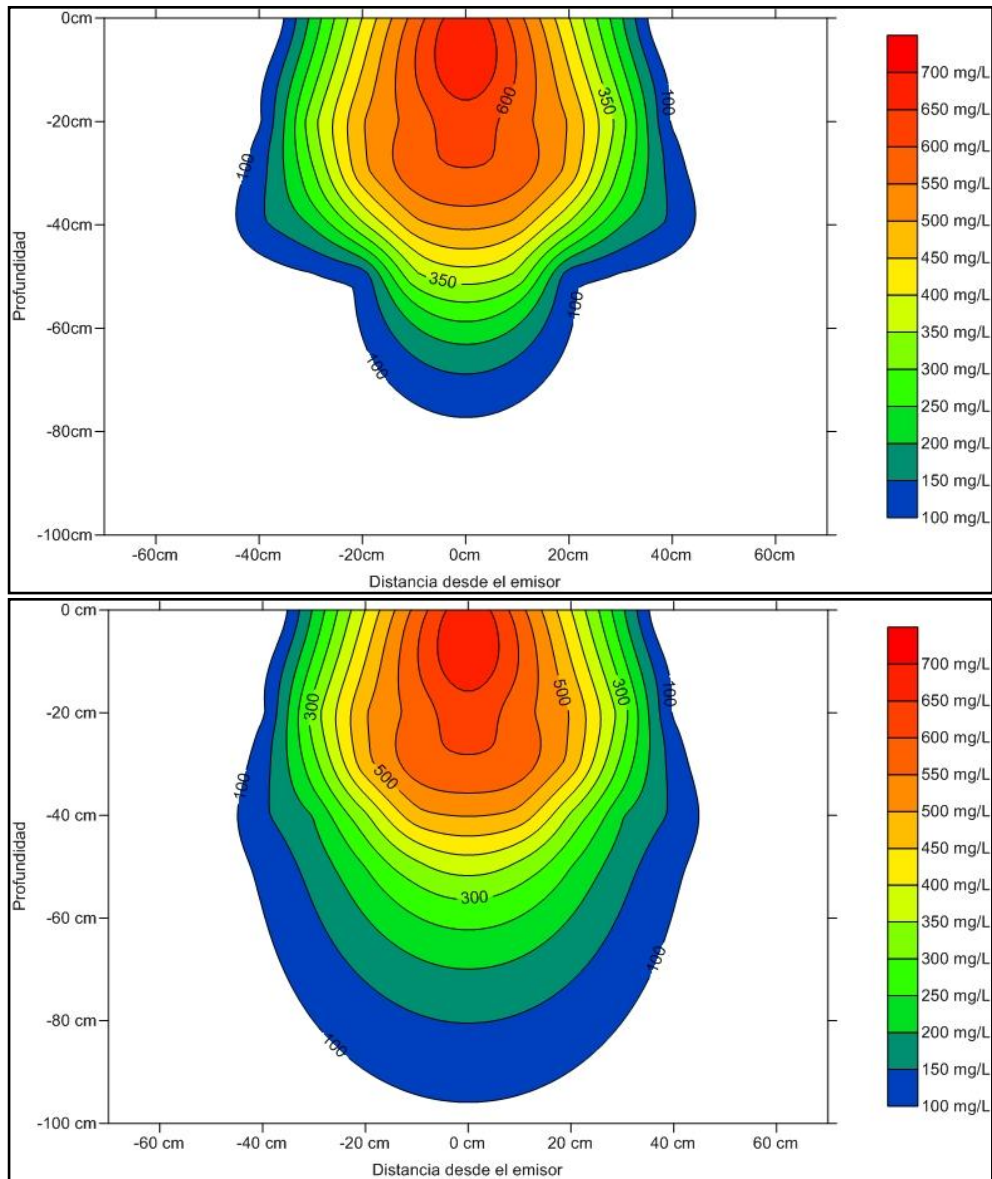


Figura 9. Caracterización inicial (arriba) y corregida (abajo) del tratamientos de 700 mg L⁻¹ de inyección de nematocida.

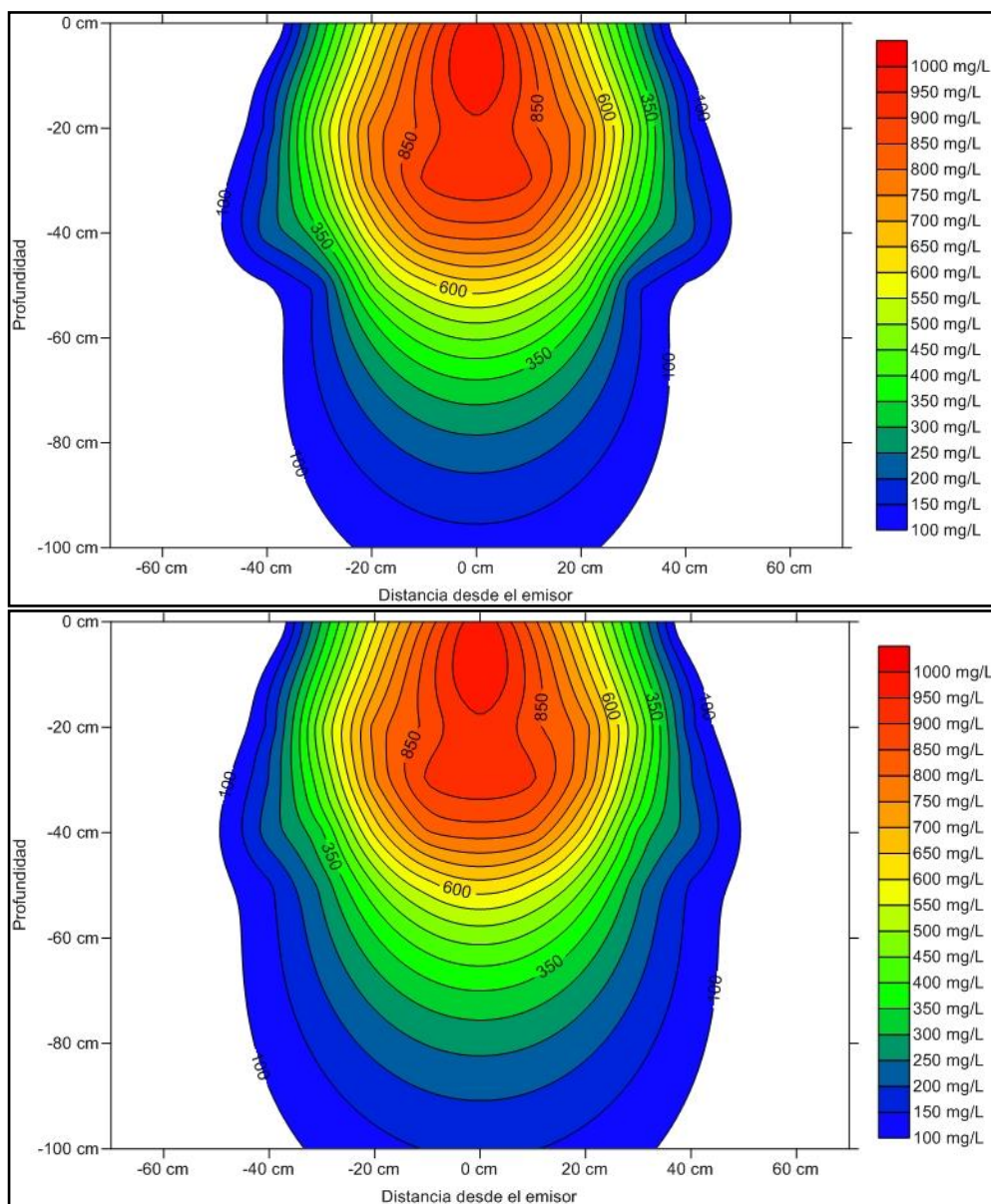


Figura 10. Caracterización inicial (arriba) y corregida (abajo) del tratamientos de 1000 mg L^{-1} de inyección de nematocida.

En las caracterizaciones (Figuras 6, 9 y 10) se observó que en todos los tratamientos existe una tendencia a aumentar la concentración horizontalmente alrededor de los 20 a 30 cm de profundidad y entre 10 a 20 cm de distancia del emisor, infiriéndose que este suceso tiene relación con el tiempo de espera antes de realizar los tratamientos (al menos 3 días) y la consecuente pérdida de humedad superficial, provocando una elevada velocidad de infiltración inicial y con una diferencia de humedad en profundidad que genera cambios en la conductividad hidráulica dentro del perfil (Reynolds *et al.*, 1985). Como consecuencia, existe un flujo rápido de infiltración en un comienzo y posteriormente una distribución horizontal paulatina del caudal infiltrado, creando esta zona de acumulación. Todos los

tratamientos presentaron este comportamiento, no encontrándose diferencias entre las muestras conjuntas a esta profundidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentraciones de las muestras conjuntas en la zona de acumulación horizontal, en cada tratamiento de inyección.

Conc. Inyectada	400 mg/L		700 mg/L		1000 mg/L	
	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 1	Ext. 2
Punto de extracción	-----mg/L-----					
---cm/cm---						
10/-20	243,2	325,2	560,5	---*	861,6	851,6
20/-20	228,6	321,8	504,9	488,4	779,7	757,1
10/-30	270,2	255,9	590,2	573,0	893,3	921,6
20/-30	220,1	209,9	490,6	476,1	748,4	749,6

* Muestras con error en el análisis en el HPLC, y utilización de una sola muestra conjunta.

Al analizar el comportamiento de las concentraciones de nematicida en el suelo, se observa que en general, independiente de la concentración aplicada, la mayor concentración se encuentra en la zona más cercana al emisor y gradualmente van disminuyendo al aumentar la profundidad y distancia horizontal (Figura 11), tal como menciona Garvey *et al.* (1979). Así mismo lo observó parcialmente Orellana (2005), donde las aplicaciones son detectadas cerca de los puntos de inyección y en zonas de flujo preferencial.

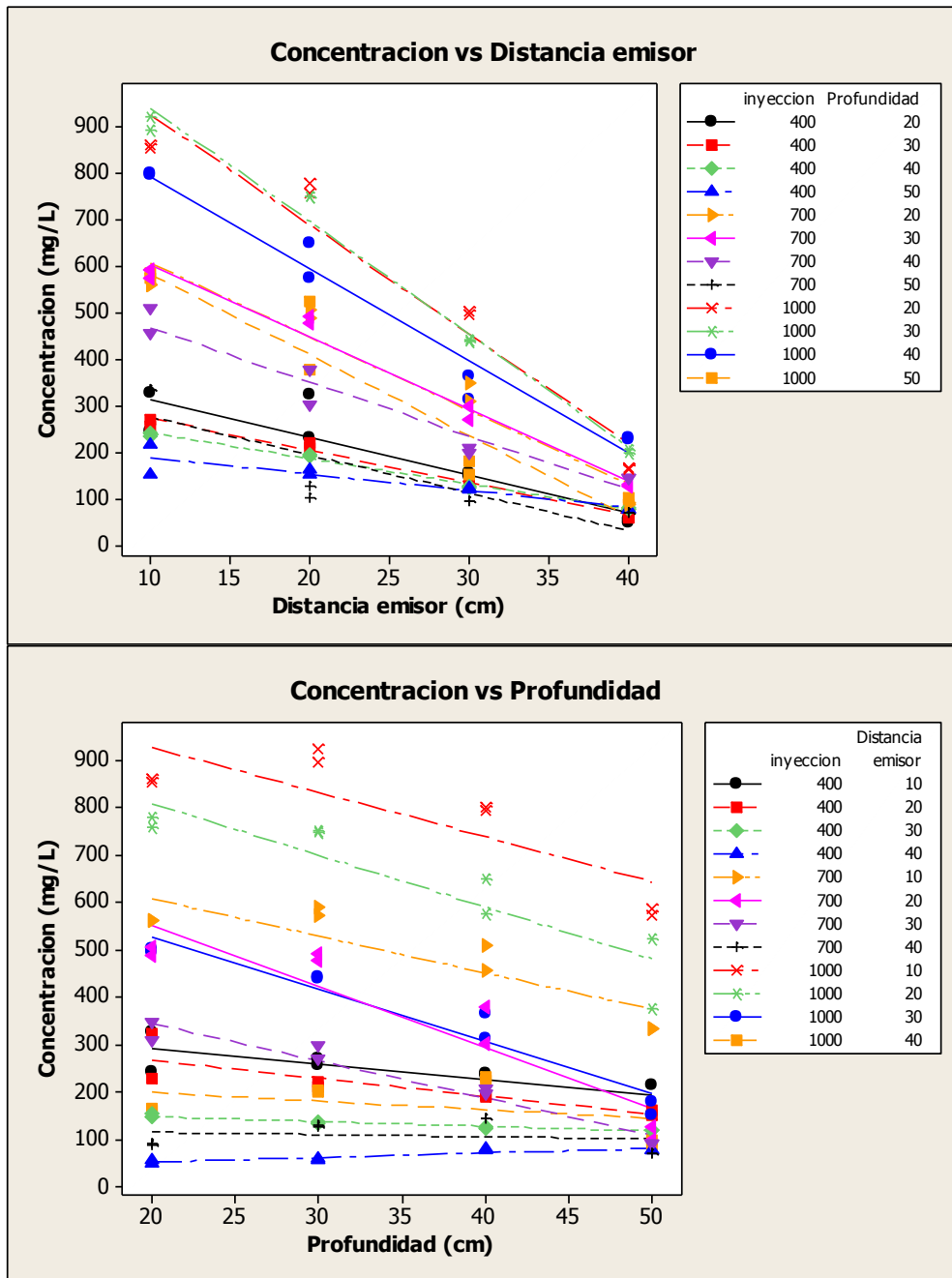


Figura 11. Gráficos de tendencia de la distribución versus la distancia horizontal y vertical al emisor.

Se observó que las pendientes de las rectas de Concentración vs Distancia al emisor (Figura 11, arriba) son mayores que las pendientes de las rectas de Concentración vs Profundidad (Figura 11, abajo), por lo que queda en evidencia que para este suelo las concentraciones tienden a movilizarse a mayor velocidad en profundidad que lateralmente, tal como se espera del comportamiento del bulbo de mojado para esta clase textural.

Se advierte que en las mediciones a 40 cm del emisor, las concentraciones en profundidad presentan un aumento y posteriormente una disminución (Cuadro 5), esto podría deberse a la forma del bulbo de mojamiento profundo y delgado, característicos de suelos de texturas gruesas (Coony y Pehrson, 1955), sumado a la mayor movilidad horizontal del agua en suelos con riegos de bajo caudal (Bhatnagara y Chauhanb, 2008), lo que se vería reflejado en el movimiento del nematicida, generando un bulbo oval engrosado entre los 30 a 40 cm de profundidad.

Cuadro 5. Concentraciones promedio de las muestras conjuntas para las muestras obtenidas a 40 cm del emisor a diferentes profundidades.

Concentración Inyectada	400 mg L⁻¹	700 mg L⁻¹	1000 mg L⁻¹
Punto de extracción			
---cm/cm---	-----mg L ⁻¹ -----		
40/-20	51,4 a	89,6 a	162,6 a
40/-30	59,4 a	129,3 d	201,6 d
40/-40	77,9 b	142,6 c	227,8 c
40/-50	76,7 b	110,9 b	142,3 b

* Promedios con letras iguales en la misma columna indican diferencias estadísticamente no significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

En relación a la forma del bulbo de distribución de concentraciones, se observa una tendencia independiente de la concentración de nematicida aplicada, donde las mayores concentraciones se encuentran en la zona de aplicación y va disminuyendo al alejarse de este.

Para analizar la distribución de nematicida de manera independiente de cada tratamiento, se utilizó la concentración de cada punto de extracción como fracción de la concentración aplicada en cada caso (400, 700 y 1000 mg L⁻¹). En este análisis porcentual, se encontraron semejanzas estadísticamente significativas en cada punto de extracción entre tratamientos (Apéndice VI), esto entrega una idea general del comportamiento del nematicida en el suelo, que no es completamente dependiente de la concentración de nematicida aplicada y como señala McBride (1994), el movimiento y distribución del compuesto químico esta íntimamente ligado con el movimiento del agua en el perfil.

Este comportamiento independiente de la concentración aplicada, se planteo cómo un plano de isolíneas de distribución porcentual de las concentraciones de nematicida en el perfil (Figura 12), entregando una idea general de la distribución esperada de una inyección de nematicida DiTera en las condiciones de este experimento.

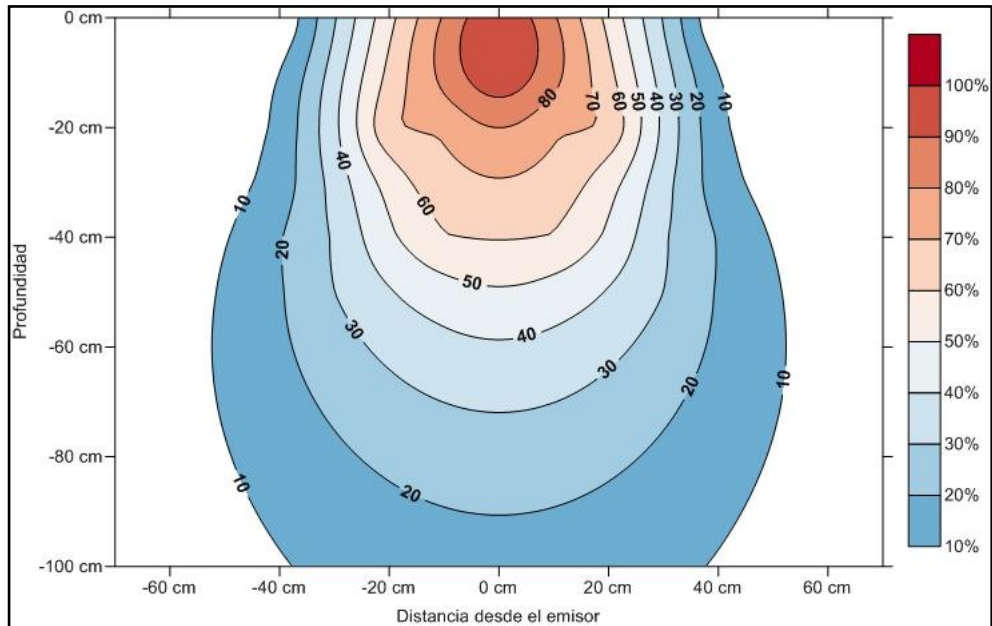


Figura 12. Isólinas de distribución porcentual de la concentración inyectada de nematicida DiTera en el perfil de suelo.

Esta distribución porcentual del nematicida, presenta un patrón que se modeló matemáticamente para predecir la distribución del producto en este suelo y bajo las condiciones de laboratorio.

De acuerdo a Ríos (1995) los modelos matemáticos diferenciales y determinísticos son los más comúnmente usados para representar el movimiento o flujos, estos son de variada complejidad, dependiendo de los objetivos del modelo. Silva y Grifoll (2005) mencionan que la decisión de utilizar uno u otro modelo depende del objetivo de la investigación y de los datos disponibles. Los mismo autores explican que para el caso de modelos donde se desea modelar en función del tiempo o de características no pasivas de compuestos o solutos en el suelo, es necesario recurrir a las ecuaciones diferenciales, no siendo necesario esto para caracterizaciones o determinaciones puntuales con una ecuación. Por otra parte, Espert *et al.* (1996) señala que los modelos bidimensionales para representar el flujo de compuestos químicos en el suelo presentan una notable simplificación en cálculo y modelación, sin ser menos característicos que los modelos tridimensionales.

Considerando que los datos obtenidos en este estudio fueron tomados en zonas puntuales y sin considerar variaciones dentro de la misma aplicación o tratamiento, se tomó la decisión de utilizar un modelo determinísticos bidimensional para representar la distribución del nematicida en el suelo.

Siguiendo los pasos propuestos por Ríos (1995) para generar modelos determinísticos, se utilizó la forma dinámica porcentual de distribución de nematicida en el suelo y se adaptó a un modelo para las condiciones de este estudio, que permitió predecir las concentraciones obtenidas en profundidad dependiendo de la concentración de inyección. Para obtener el modelo, se generó una grilla de porcentajes de extracción exportada de la distribución

porcentual (Apéndice VII), luego se realizó una separación por profundidades y se observó que existía una tendencia en la distribución horizontal a las diferentes profundidades (Apéndice VIII).

Se realizaron diversas regresiones para encontrar el mejor ajuste a la distribución del nematocida, finalmente se concluyó que con el número de variables que se contaba, el mejor ajuste para cada profundidad era una regresión lineal con la forma:

$$C_{x \bullet} = C_i \left(\frac{A \cdot x + B}{100} \right)$$

Donde,

$C_{x \bullet}$: Concentración de nematocida en el punto(x, y) a profundidad constante (mg L^{-1}).

C_i : Concentración de nematocida inyectada (mg L^{-1}).

x : Distancia horizontal al emisor (cm)

A y B : Variables dependientes de la profundidad.

Posteriormente se procedió a encontrar una correlación entre las variables A y B con la profundidad, lo que se logró con regresiones cúbicas en ambos casos (Apéndice IX), obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$A_{\bullet y} = -1 \cdot 10^{-6} \cdot y^3 - 3,85 \cdot 10^{-4} \cdot y^2 - 5,37 \cdot 10^{-2} \cdot y - 2,617$$

$$B_{\bullet y} = -8 \cdot 10^{-5} \cdot y^3 - 7,579 \cdot 10^{-3} \cdot y^2 + 0,9325 \cdot y + 109$$

Donde,

$A_{\bullet y}$: Variable dependiente de la profundidad.

$B_{\bullet y}$: Variable dependiente de la profundidad.

y : Profundidad del suelo en negativo (-cm)

De esta forma, la ecuación final queda dependiente de la profundidad, distancia del emisor y concentración inyectada:

$$C_{xy} = \frac{C_i}{100} ((-1 \cdot 10^{-6} \cdot y^3 - 3,85 \cdot 10^{-4} \cdot y^2 - 5,37 \cdot 10^{-2} \cdot y - 2,617) \cdot x + (-8 \cdot 10^{-5} \cdot y^3 - 7,579 \cdot 10^{-3} \cdot y^2 + 0,9325 \cdot y + 109))$$

Donde,

C_{xy} : Concentración de nematocida en el punto(x, y) (mg L^{-1}).

C_i : Concentración de nematocida inyectada (mg L^{-1}).

x : Distancia horizontal al emisor (cm)

y : Profundidad del suelo en negativo (-cm)

Al nivel de este estudio no se encontraron diferencias significativas entre una correlación lineal y ecuaciones propuestas más complejas, por esto se opta por exponer la ecuación lineal como resultado del estudio. Las otras ecuaciones obtenidas presentan variables que no se pudieron explicar con los datos obtenidos de esta tesis, por lo que es posible que al analizar estos comportamientos con otras variables se pueda llegar a un modelo más preciso y de más amplia aplicación.

Se compararon resultados entre las interpolaciones realizadas por Kriging obtenida de los mismos datos con que se generó el modelo y los resultados obtenidos del modelo en los 16 puntos donde se realizaron las extracciones de las 3 concentraciones probadas (Cuadro 6). Se encontró que en general el modelo se ajusta al comportamiento hallado en las pruebas, presentando una diferencia promedio de 29 ± 67 unidades en la predicción de concentración del modelo. Se observó que en los 8 puntos con mayores diferencias existían variaciones de 16 a 25%, pero en promedio las variaciones no superaron el 12% de lo esperado y en general sus diferencias fueron inferiores a las 100 unidades. Esta metodología se utilizó para verificar que el modelo se ajustara a los datos con que se generó, quedando pendiente para otro estudio la validación del modelo.

Cuadro 6. Concentraciones obtenidas de la interpolación por kriging y predicción del modelo.

Conc. Inyectada Punto (x/y) ---cm/cm---	400 mg L ⁻¹		700 mg L ⁻¹		1000 mg L ⁻¹	
	Kriging	Modelo	Kriging	Modelo	Kriging	Modelo
	-----mg L ⁻¹ -----					
10/-20	285	284	559	497	854*	711*
20/-20	269	217	487*	379*	716*	542*
30/-20	149	149	315	261	422	373
40/-20	62	82	86	143	195	204
10/-30	258	252	576*	442*	845*	631*
20/-30	208	199	475*	349*	665*	499*
30/-30	145	146	254	256	387	366
40/-30	66	93	125	163	225	233
10/-40	230	218	447	381	730*	545*
20/-40	186	177	313	310	526	443
30/-40	132	136	221	238	340	341
40/-40	82	95	157	167	223	239
10/-50	185	183	324	320	526	457
20/-50	153	152	265	266	408	380
30/-50	119	121	180	212	278	303
40/-50	76	91	119	159	160	226

* Datos con asterisco indican diferencias mayores a 100 unidades.

Las diferencias encontradas en la inyección de 400 mg L^{-1} fueron bastante bajas, con un promedio no superior al 10% de lo esperado y nunca superiores a 52 unidades. Las mayores diferencias se encontraron con la inyección de 1000 mg L^{-1} y ligeramente en la aplicación de 700 mg L^{-1} , lo que indica que el modelo podría presentar problemas al intentar predecir el comportamiento de inyecciones con concentraciones superiores a los 700 mg L^{-1} . Aún queda pendiente para otro estudio la validación del modelo con extracciones que no hayan sido parte de la base de datos que generó el modelo.

Las aplicaciones recomendada por el fabricante son de 10 o 20 kg ha^{-1} con 100 a 50 m^3 de agua, lo que equivale a concentraciones que fluctúan entre 100 a 400 mg L^{-1} para el control de nematodos, lo que estaría dentro del rango de predicción del modelo para este tipo de suelos.

CONCLUSIONES

Se comprueba que la hipótesis es correcta, siendo factible con esta metodología cuantificar la concentración de nematicida que existe en la solución suelo luego de 24 horas de su aplicación.

El sistema de extractómetros demuestra ser eficiente al momento de obtener muestras representativas de solución suelo a diferentes condiciones de humedad en el perfil hasta llegar a un punto de máxima extracción, que posiblemente esté dado por la textura, estructura y densidad aparente del suelo.

Las extracciones van colmatando las placas porosas, por lo que es necesario realizar cambio de placas cada cierto número de extracciones. La velocidad de colmatación y vida útil del sistema puede ser variable para diferentes compuestos químicos o condiciones de suelo, por lo que debe evaluarse caso a caso.

Las muestras obtenidas en los diferentes puntos del perfil por los extractómetros presentaron un comportamiento acorde a la distribución esperada del nematicida aplicado, permitiendo caracterizar su comportamiento a diferentes concentraciones de aplicación. Con estas caracterizaciones se generó un modelo capaz de predecir la concentración en diferentes puntos del perfil por interpolación, aunque queda pendiente la validación del modelo.

La ecuación obtenida sirve para predecir el comportamiento del nematicida con una inyección de hasta 1000 mg L^{-1} en un suelo de características similares al realizado en el estudio, adaptándose entre los rangos recomendados por el fabricante para obtener la mortalidad de los nematodos en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aballay E., P. Flores y V. Insunza. 2001. Efecto nematocida de ocho especies vegetales sobre *Xiphinema americanum* sensu lato, en *Vitis vinifera* L. Var. Cabernet Sauvignon en Chile. Universidad de Chile y Swedish University of Agricultural Sciences. Nematropica, 31 (1).
- Aballay, E. 2005. Uso de DiTera en el control de nemátodos fitoparásitos. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Digital book: Control biológico e integrado de enfermedades y nematodos en frutales y hortalizas.
- Arrarás, A., 2003. HYDROFEM: un modelo tridimensional para la simulación del flujo de agua en medios porosos de saturación variable. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VI: 271-278.
- Ball, B.C. y R. Hunter. 1988. The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. Geoderma 43: 195-212.
- Bhatnagara P.R. and H.S. Chauhanb. 2008. Soil water movement under a single surface trickle source. Agricultural Water Management, 95 (7), 799–808.
- Cartón, A., T. Isla, y J. Álvarez-Benedí. 1997. Sorption-Desorption of Imazamethabenz on Three Spanish Soils. J. Agric. Food. Chem.45:1454-1458.
- CIREN CHILE, 1996. Estudio agrológico Región Metropolitana, Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación N°115. 425p.
- Coony, J.J. and J.E. Pehrson. 1955. Avocado irrigation. Leaflet N° 50. California Agriculture extension station, Oakland, EEUU.
- Corwin, D.L. 2002. Suction cups. Sección 6.1.3.1. pags.: 1261-1266. In: Dane, J.H y G.C. Topp (eds.), Methods of Soils Analysis, Part 4. SSSA Book Series: 5.
- D'Ascenzo, G., A. Gentili, S. Marchese, A. Marino, and D. Perret. 1998. Rapid an simple method for extraction and determination of imidazolinone herbicides in soil. Analisis, 26, 251-255.
- Dewis, J. y F. Freitas, 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N° 10. FAO, Roma, Italia. 252p.
- Espert V., M. García, H. Sancho, A. López. 1996. Modelo matemático bidimensional para el estudio del flujo de agua a través de un decantador rectangular con lamelas. Ingeniería del Agua Vol. 3.
- Garvey, P., J. Chesress and V. Brandy. 1979. Nematicide distribution under a drip emitter. Transactions of the ASAE. 545-548.

- Gee, G.W. and J.W Bauder, 1986. Particle-size analysis. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, 2.ed., Madison: ASA-SSSA, Agronomy Monograph N° 9. 383- 411.
- Gil, M., L. Rodríguez, J. Benítez, R. Sánchez, L. Juana, G. Castañón y F. Laguna, 2011. Utilización del “DFOT heat pulse method” para el estudio del bulbo mojado en goteros. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol. X, Salamanca. España.
- Hart, G.L. y B. Lowery. 1997. Axial-radial influence of porous cup soil solution samplers in a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1765-1773.
- Hernández, F. 1994. Determinaciones analíticas en muestras de la zona no saturada, Libro: Investigación en zona no saturada pp: 29-51.
- Henry, E.J., Smith, J.E. and Warrick, A.W., 1999. Solubility effects on surfactant-induced unsaturated flow through porous media. pp.164-174. In: Álvarez-Benedí, J. and P. Marinero. Journal of Hydrology. Elsevier Science B.V., Birmingham, Reino Unido. 223p.
- Hillel, D., 1998. Environmental soil physics, Academic Press, Massachusetts, EEUU. 771p.
- Ingelmo, F., S. Cuadrado y A. Blanco. 1980. Evaporación de agua en suelos de distinta textura. Libro: Anuario Centro de edafología y biología aplicada de Salamanca, España. 255-280.
- Lamberti, F., F. Roca, and A. Agostinelli, A. 1988. On the identity of *Xiphinema americanum* in Chile with a key to the *Xiphinema* species occurring in Chile. Nematol. Medit. 16:67-68.
- Loro, J.F. 2001. Manual de cromatografía. Colección Textos Universitarios. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 156p.
- McBride, M., 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York, EEUU. 406p.
- McKenry, M.V. 1985. Application of nematicides through drippers: a three-year summary. Annual Report of the California Table Grape Commission, 4p.
- Ng, L.L. 1994. Reviewer Guidance: Validation of chromatographic methods. Center for Drug Evaluation (FDA).
- Noling, J. 2002. Movement and toxicity of nematicide in the plant root zone. pp 1-8. Series from Department of Entomology and Nematology, Florida Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida, Florida, USA. 102p.
- Orellana, M.J. 2005. Movimiento en el suelo de extracto de *Myrothecium verrucaria*, nematicida biológico, aplicado mediante riego por goteo. Memoria Ingeniera Agrónoma. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 52p.

- Orrego, X. y J.L. Arumí, 2005. Transporte de agua y soluto en la zona no saturada. *Ciencia Ahora* 15: 40-46.
- Ortiz, J.N., I. Nikolskii, O. Palacios y R. Acosta, 1999. Pérdida de agua de riego por percolación profunda durante el proceso de infiltración. *Terra* 17 (2), 115-124.
- Ramezani, M., N. Simpson, D. Oliver, R. Kookana, G. Gill, and C. Preston. 2009. Improved extraction and clean-up of imidazolinone herbicides from soil solutions using different solid-phases sorbents. *Journal of Chromatography A*, 1216, 5092-5100.
- Regalado C.M., A. Ritter, R.M. Rodríguez González y A.R. Socorro, 2005. Diseño experimental para la extracción de solución del suelo en régimen de insaturación (≤ 600 kPa). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI*, 95-100.
- Reynolds, W.E., D.E. Elrick and B. Clothier. 1985. The constant head well permeameter. Effect on unsaturated flow. *Soil Science*, 139 (2), 172-180.
- Rhoades, J.D. y J.D. Oster. 1986. Solute content. In: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2ª Ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin. 985-1006p.
- Ríos, S. 1995. *Modelización*. Alianza Editorial, Madrid, España. 336p.
- Sadzawka, A., Flores, H., Carrasco, M.A., Grez, R., Mora, M.L., Neaman, A., Demanet, R. 2007. *Métodos de análisis de lodos y de suelos*. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 105 p.
- Sáinz, R. 1999. *Uso de extracto de Quillay para el control de nematodos*. Tesis Ingeniero Civil Industrial, Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 132p.
- Sanchez-Perez, J.M. 1994. *Metodología de muestreo de agua y suelo en medio no saturado*, Libro: *Investigación en zona no saturada* pp: 1-7.
- Sanchez-Perez, J.M. e I. Morrel. 1994. *Precauciones de uso de los tomamuestras de succión equipados con porcelana porosa*, Libro: *Investigación en zona no saturada* pp: 9-15.
- Shaffer, K.A., D.D. Fritton y D.E. Baker. 1979. Drainage water sampling in a wet, dual-pore soil system. *J. Environ. Qual.* 8: 241-246.
- Silva-Cajas, G.V. 2004. *Validación del método de Valoración de Glimepiride por el método de Cromatografía Líquida de Alta Performance HPLC*. Tesis de licenciatura. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Facultad de Farmacia y Bioquímica. 100p.
- Silva, O y J. Grifoll, 2003. *Modelización y simulación numérica del transporte de solutos volátiles no pasivos*. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VI*: 245-250.

Silva, O y J. Grifoll, 2005. Simulación numérica del transporte bidimensional no pasivo de compuestos orgánicos volátiles. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VII: 249-256.

Šimůnek, J. and D.L. Suárez. 1993. Modeling of carbon dioxide transport and production in soil. Water Resources Research 29(2): 487-497.

Smith, J.E. and R.W. Gillham. 1999. Effects of solute concentration dependent surface tension on unsaturated flow: Laboratory sand column experiments. Water Resources 35(4): 973-982.

Valenzuela, A. y E. Aballay. 1996. Control químico de *Xiphinema index* en viñedos de Chile. Nematopica 26(2): 177-179.

Walkley A. and I.A. Black, 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science 37: 29-38.

Wang X. and C.H. Benson. 2004. Leak-free pressure plate extractor formeasuring the soil water characteristic curve. Geotechnical Testing J. 27: 1-9.

Wang X., H. Wang and D. Fan. 2005. Persistence and metabolism of imazapyr in four typical soils of Zhejiang Province (China). Int. J. Environ. Anal. Chem. 85, 99-109.

Youssef, M.A., R.W. Skaggs, G.M. Chescheir and J.W. Gilliam, 2005. The Nitrogen Simulation Model, DRAINMOD-NII. American Society of Agricultural Engineers ISSN 0001-2351, Vol. 48(2): 611-626.

Zotarelli L., J.M. Scholberg, M.D. Dukes and R. Mufioz-Carpena, 2007. Monitoring of Nitrate leaching in sandy soils: Comparison of three methods. 4. ENVIRON. QUAL. 36. 953-962.

Zou, X., S. Niu, J. Ren, E. Li, X. Liu and Y. Che. 2011. Verrucamides A-D, Antibacterial cyclopeptides from *Myrothecium verrucaria*. In: J. Nat. Prod. 74 (5). The American Chemical Society and American Society of Pharmacognosy, Republican of China. 1111-1116.

APÉNDICES

Apéndice I: Método de inyección en HPLC para detección de DiTera.

Soluciones de Inyección Fase Móvil:

Solución A: Ácido acético 2%.

Solución B: Acetonitrilo, ácido acético y agua (20/2/78).

Programa de inyección:

Duración total de la inyección	19 minutos
StopT (detención de la inyección)	15 minutos
PostT (Tiempo de limpieza post inyección)	4 minutos
MaxP (presión máxima del sistema)	400 bar
MinP (presión mínima del sistema)	0 bar
Sig (longitud de onda de la señal)	280 nm
Spectral (espectro de detección)	Todos

Ciclo	Tiempo	% Solución A	% Solución B
1	0 min	100%	0%
2	15 min	80%	20%

Inyección:

Volumen de inyección	100 µl
Presión de inyección	200 bar
Caudal de inyección	1000 ml/min

Apéndice II: Regresión Absorbancia vs Concentración de nematicida.

Probability Plot of Area (mAU*s)

Regression Analysis: Concentración (g/L) versus Area (mAU*s)

The regression equation is

$$\text{Concentración (g/L)} = 17,7 + 2,64 \text{ Area (mAU*s)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	17,68	12,36	1,43	0,186
Area (mAU*s)	2,63877	0,05654	46,67	0,000

S = 21,6578 R-Sq = 99,6% R-Sq(adj) = 99,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1021597	1021597	2177,97	0,000
Residual Error	9	4222	469		
Total	10	1025818			

Unusual Observations

Obs	Area (mAU*s)	Concentración (g/L)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	203	500,00	554,45	6,61	-54,45	-2,64R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Apéndice IV: ANDEVA Isoterma de adsorción.

One-way ANOVA: Concentración versus S. Madre 200 mg/l

Source	DF	SS	MS	F	P
S. Madre 200 mg/l	1	6,25	6,25	0,86	0,451
Error	2	14,50	7,25		
Total	3	20,75			

S = 2,693 R-Sq = 30,12% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
S. Madre	2	215,50	3,54
Sobrenadante	2	213,00	1,41

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
S. Madre	2	215,50	3,54
Sobrenadante	2	213,00	1,41

205,0 210,0 215,0 220,0

Pooled StDev = 2,69

One-way ANOVA: Concentración versus S. Madre 700 mg/l

Source	DF	SS	MS	F	P
S. Madre 700 mg/l	1	225	225	1,10	0,405
Error	2	410	205		
Total	3	635			

S = 14,32 R-Sq = 35,43% R-Sq(adj) = 3,15%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
S. Madre	2	734,00	19,80
Sobrenadante	2	719,00	4,24

690 720 750 780

Pooled StDev = 14,32

One-way ANOVA: Concentración versus S. Madre 1000 mg/l

Source	DF	SS	MS	F	P
S. Madre 1000 mg/l	1	182	182	0,43	0,581
Error	2	855	427		
Total	3	1037			

S = 20,67 R-Sq = 17,58% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
S. Madre	2	1105,0	15,6
Sobrenadante	2	1091,5	24,7

1050 1085 1120 1155

Pooled StDev = 20,7

Apéndice V: Análisis fisicoquímico de suelo.

Fertilidad			
pH	(agua, relación 1:2,5)	1:2,5	7,7 Lig.Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)		dS/m	1,8 Sin Problema
Materia orgánica		%	0,08 Muy Bajo
Nitrógeno disponible (N)		mg/kg	18 Bajo
Fósforo disponible (P)		mg/kg	6 Bajo
Potasio disponible (K)		mg/kg	48 Muy Bajo
Cationes Intercambiables			
Calcio	(Ca)	meq/100g	4,1 Bajo
		% CIC	77
Magnesio	(Mg)	meq/100g	0,86 Medio
		% CIC	16
Potasio	(K)	meq/100g	0,12 Muy Bajo
		% CIC	2,3
Sodio	(Na)	meq/100g	0,26 Bajo
		% CIC	4,9
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)			5,3
CIC (Cap.Intercambio Cationico)		meq/100g	5,3
Microelementos disponibles			
Hierro	(Fe)	mg/kg	5,8 Medio
Manganeso	(Mn)	mg/kg	1,8 Medio
Zinc	(Zn)	mg/kg	0,95 Medio
Cobre	(Cu)	mg/kg	0,77 Adecuado
Boro	(B)	mg/kg	0,41 Bajo

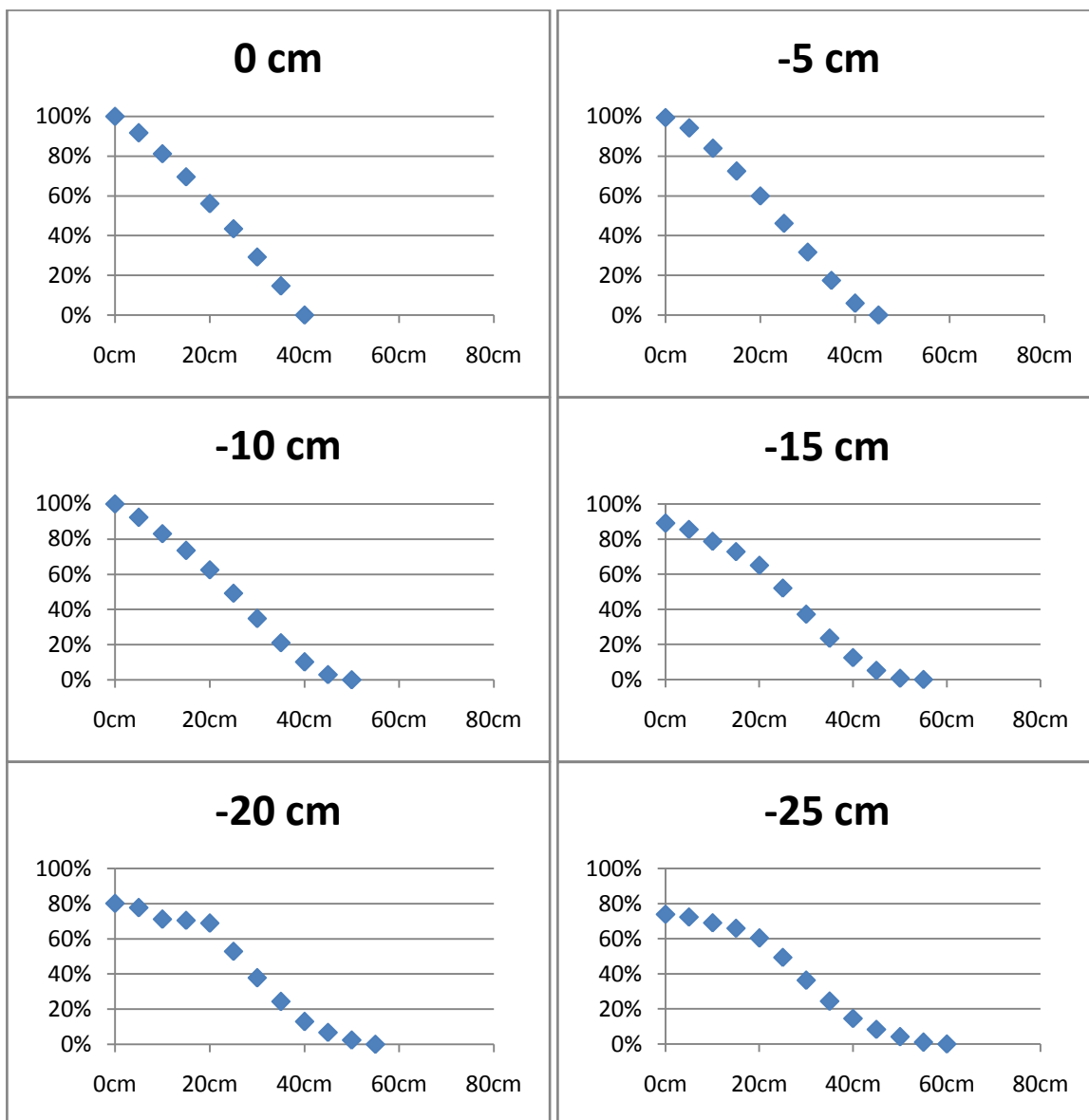
Textura			
Arena	(2,00 - 0,05 mm)	%	74
Limo	(0,05 - 0,002 mm)	%	17
Arcilla	(< 0,002 mm)	%	9
Clase Textural			Fco.Arenosa
Granulometría Arena gruesa y fina			
Arena gruesa	(2,00 - 0,50 mm)	%	8
Arena fina	(0,50 - 0,05 mm)	%	66
Densidad aparente (terrón)		g/cc	1,61
Densidad real		g/cc	2,65
Retención de humedad			
0,3 bar (Capacidad de Campo)		%	7,1
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente)		%	2,2
Humedad aprovechable (peso)		%	4,9
Espacio poroso			
Porosidad total		%	39
Microporosidad		%	11
Macroporosidad		%	28

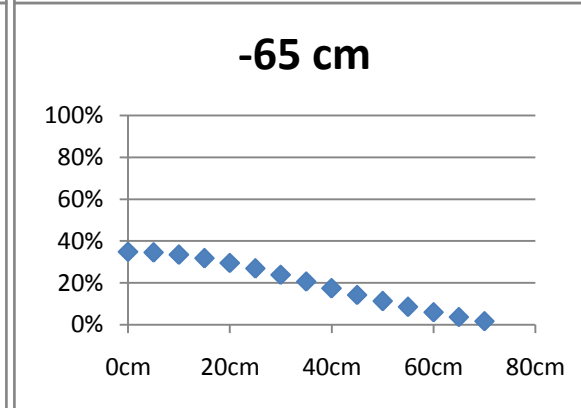
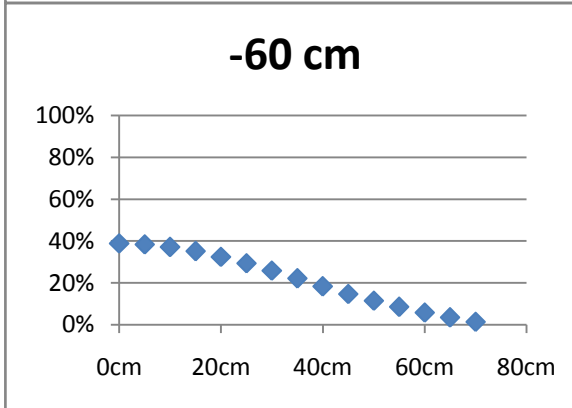
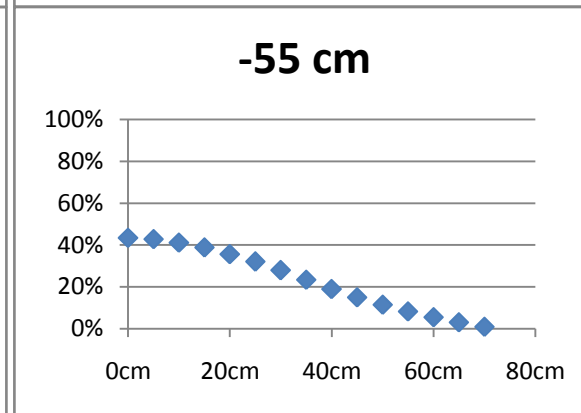
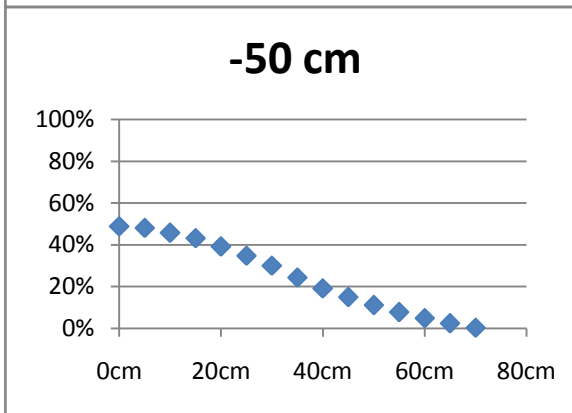
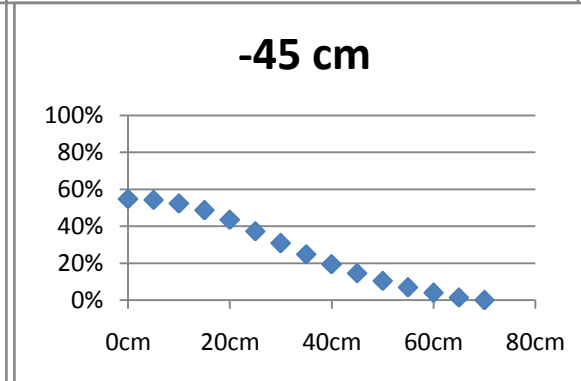
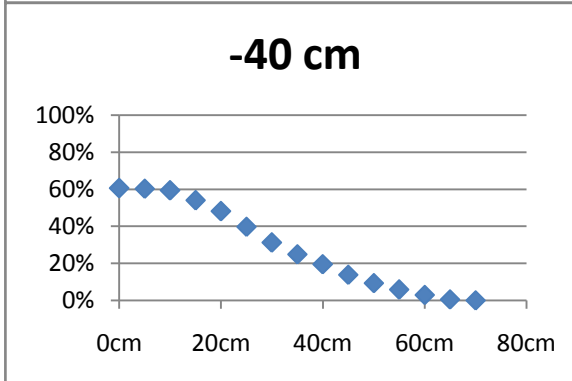
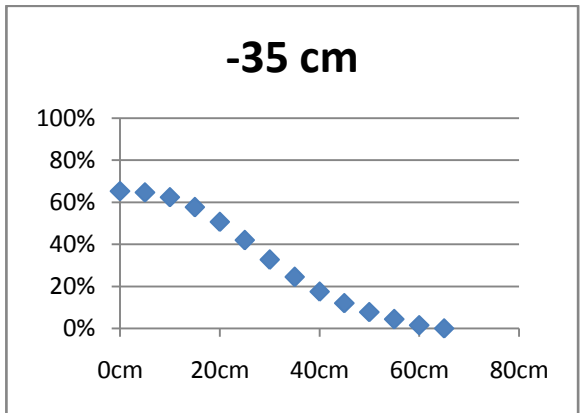
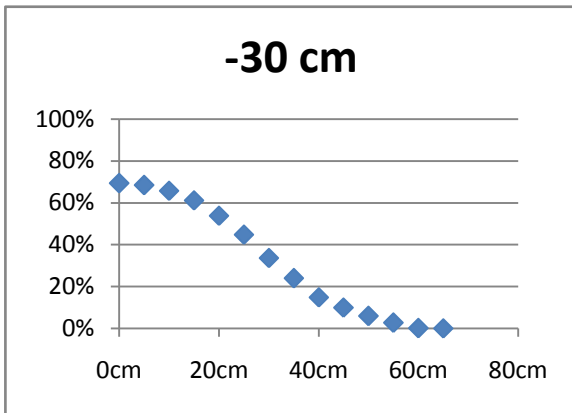
Apéndice VII: Grilla de distribución porcentual de nematicida en el suelo.

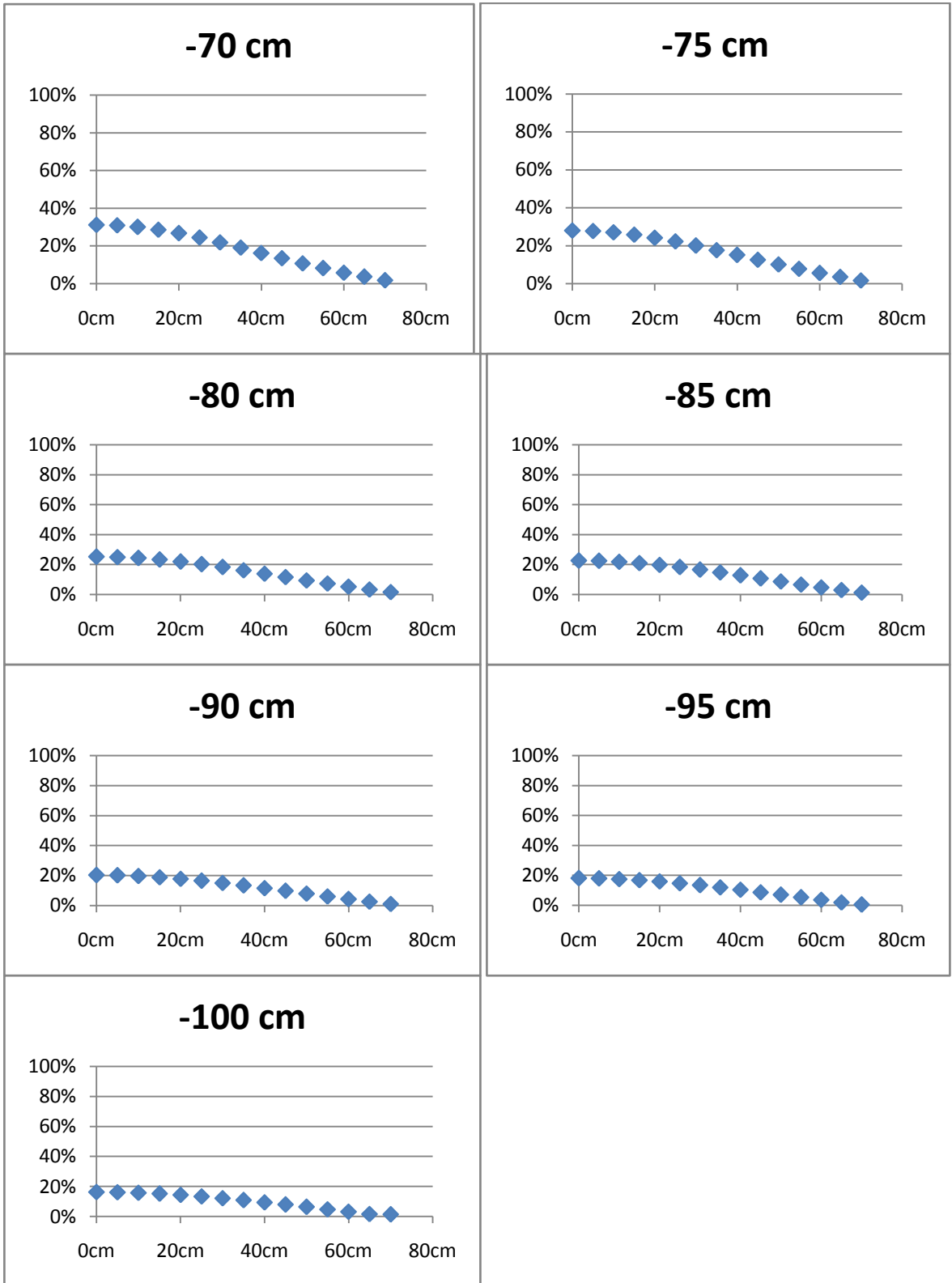
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
0	100,0	91,6	81,2	69,5	56,0	43,4	29,2	14,6	0,0						
-5	99,4	94,1	83,8	72,4	59,9	46,2	31,7	17,4	5,9	0,0					
-10	100,0	92,3	83,1	73,5	62,5	49,2	34,8	21,1	10,1	3,0	0,0				
-15	89,0	85,4	78,7	72,9	65,1	52,0	37,1	23,4	12,4	5,2	0,7	0,0			
-20	80,1	77,6	71,0	70,5	68,8	52,8	37,7	24,3	12,8	6,7	2,4	0,0			
-25	73,8	72,3	69,0	65,9	60,3	49,3	36,3	24,3	14,6	8,3	4,1	1,0	0,0		
-30	69,3	68,4	65,8	61,2	53,8	44,8	33,6	23,9	14,9	9,9	5,9	2,6	0,1	0,0	
-35	65,2	64,6	62,4	57,6	50,6	41,9	32,6	24,4	17,4	12,0	7,7	4,3	1,5	0,0	
-40	60,5	60,2	59,3	53,9	48,1	39,7	31,1	24,9	19,5	13,8	9,3	5,8	2,9	0,5	0,0
-45	54,8	54,3	52,4	48,7	43,6	37,3	30,9	24,9	19,5	14,7	10,5	6,9	4,0	1,5	0,0
-50	48,8	48,1	45,7	43,2	39,1	34,7	30,0	24,4	19,2	14,9	11,1	7,8	4,9	2,4	0,3
-55	43,4	42,8	41,1	38,8	35,7	32,0	27,9	23,4	18,9	15,0	11,4	8,2	5,5	3,0	0,9
-60	38,8	38,4	37,1	35,0	32,4	29,3	25,8	22,1	18,3	14,7	11,4	8,5	5,8	3,4	1,4
-65	34,8	34,4	33,4	31,7	29,5	26,8	23,8	20,6	17,4	14,2	11,2	8,4	5,9	3,7	1,7
-70	31,3	31,0	30,1	28,7	26,8	24,5	21,9	19,2	16,3	13,5	10,8	8,2	5,9	3,7	1,8
-75	28,1	27,8	27,1	25,9	24,3	22,3	20,1	17,7	15,2	12,6	10,2	7,8	5,6	3,6	1,8
-80	25,2	25,0	24,4	23,3	21,9	20,2	18,3	16,2	14,0	11,7	9,5	7,3	5,3	3,4	1,6
-85	22,6	22,4	21,9	21,0	19,8	18,3	16,6	14,7	12,8	10,7	8,7	6,7	4,8	3,0	1,3
-90	20,3	20,1	19,6	18,9	17,8	16,5	15,0	13,3	11,6	9,7	7,9	6,0	4,2	2,5	1,0
-95	18,1	18,0	17,6	16,9	16,0	14,8	13,5	12,0	10,4	8,8	7,1	5,4	3,7	2,0	0,5
-100	16,2	16,1	15,7	15,1	14,3	13,3	12,1	10,8	9,3	7,8	6,3	4,7	3,1	1,5	1,3

Grilla porcentual de distribución de nematicida, obtenida por el método de interpolación de kriging.

Apéndice VIII: Gráficos de distribución porcentual de nematocida a diferentes profundidades y distancia del emisor.







Apéndice IX: Regresiones de las variables del modelo.

