

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
Facultad de Ingeniería
Maestría en Intervención Ambiental



**Lixiviación de plaguicidas en suelos con
producción frutícola del Alto Valle de Rio Negro**

Autor
Ing. Agr. Carlos Fabián Melideo

Directora
Dra. Ana Cecilia Dufilho

**Tesis para obtener el título de Magíster en Intervención
Ambiental con orientación en Ingeniería Ambiental**

Marzo 2022

DEDICATORIA

A mis padres Carlos y Ana, por haberme dado todo su amor, esfuerzo y dedicación.

A mi hija Julieta, mi más preciado tesoro.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento:

A mi directora de tesis, la Doctora Cecilia Dufilho, por brindarme toda su ayuda y confianza, responder mis inquietudes, lograr despertar mi deseo de continuar y concluir el trabajo de investigación. Quisiera destacar lo excelente persona y docente que significo durante el desarrollo de la tesis.

A la Doctora Miriam Loewy y MSc. Liliana Monza quienes me brindaron el lugar y el ánimo para iniciar el camino de la investigación, por acompañarme y orientarme durante las primeras etapas de la investigación.

A la gente del laboratorio de LIBIQUIMA por el buen desempeño y excelente predisposición que me otorgaron cuando los necesite.

A la familia Celeste y Perini, excelentes productores frutícolas, que me brindaron el espacio para llevar a cabo la investigación, por ser buenas personas y por acompañarme con lo que fuese necesario para realizar el trabajo de campo.

A Pablo, Cachi, Fernando, Silvia y Emiliano gracias por ser generosos y brindarme la valiosa colaboración que necesitaba.

A Robert un gran amigo, que estuvo presente y ayudo cuando lo necesite.

A todas las personas, quienes de alguna manera estuvieron y colaboraron para llevar a cabo las acciones de campo y gabinete.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo conocer el movimiento y destino de contaminantes en el agua subterránea somera de un área agrícola del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, cuando se realizan aplicaciones con plaguicidas agrícolas.

La parcela estudiada estuvo expuesta a los tratamientos de control químico mediante el uso de carbaril, clorpirifos y metidation y a continuación se efectuó riego por inundación, generando flujos de agua a través del perfil del suelo.

Para cumplir con el objetivo se analizaron los procesos de percolación del agua y lixiviados de contaminantes químicos a través de la columna de suelo del interior de un lisímetro de 0,6 m de diámetro y 0,4 m de altura situado en el interfilas de la superficie de frutales e hincado en el perfil del suelo. También una vez completado el riego se analizaron las muestras de suelo recolectadas en el interior del lisímetro respetando las profundidades de cada horizonte definido.

Los resultados de la infiltración y percolación del agua mostraron una circulación muy rápida a través del perfil del suelo. Los lixiviados de carbaril mostraron una baja retención, mientras que el clorpirifos y metidation expresaron mayor retención en el primer horizonte del perfil del suelo decreciendo gradualmente en profundidad.

Al completar el estudio se pudo determinar que los suelos estructurados en la parcela, presentan vías de flujos preferenciales tales como grietas de desecación y macroporos que facilitan el movimiento del agua y son variables en forma y tamaño, según el sitio donde se sitúa el ensayo. Los lixiviados de plaguicidas según su naturaleza química pueden quedar retenidos en la materia orgánica o se movilizan con el agua de percolación.

Palabras claves: Clorpirifos, metidation, carbaril, lisímetro, agua subterránea.

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the movement and fate of contaminants in the shallow groundwater of an agricultural area in the Alto Valle de Río Negro and Neuquén, when agricultural pesticide applications are made.

The plot studied was exposed to chemical control treatments using carbaryl, chlorpyrifos and methidation, followed by flood irrigation, generating water flows through the soil profile.

To meet this aim, the processes of water percolation and chemical contaminant leachates were analyzed through the soil column inside a lysimeter with a diameter of 0.6 m and a height of 0.4 m located inside the surface of fruit trees and driven into the soil profile. Also, once the irrigation was completed, the soil samples collected inside the lysimeter were analyzed, respecting the depths of each defined horizon.

The results of the infiltration and percolation of the water showed a very fast flow through the soil profile. The Carbaryl leachates showed low retention, while chlorpyrifos and methidathion expressed higher retention in the first horizon of the soil profile, decreasing in depth gradually.

Finally, it was possible to determine that the structured soils in the plot have preferential flow paths, such as desiccation cracks and macropores that facilitate water movement and are variable in shape and size, depending on the site where the test is located. Pesticide leachates, depending on their chemical nature, can be retained in organic matter or moved with the percolation water.

Keywords: Chlorpyrifos, methidathion, carbaryl, lysimeter, groundwater

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. Delimitación del problema.....	2
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. HIPÓTESIS DE TRABAJO	5
5. ANTECEDENTES	5
6. MARCO TEÓRICO.....	11
6.1 Caracterización del sistema agrícola de la Región del Alto Valle	11
6.2. Suelo agrícola	13
6.3. Sistema de riego y drenaje en la región del Alto Valle.....	16
6.3.1. Método y forma de riego	16
6.3.2 Acuífero libre y drenaje.....	18
6.4. Plaguicidas Agrícolas	22
6.4.1 Grupos de plaguicidas de acuerdo a su estructura química	23
6.4.1.1 Organofosforados.....	23
6.4.1.2 Carbamatos	25
6.4.2. Propiedades físico químicas	26
6.4.3. Dinámica de los plaguicidas en el ambiente	28
6.4.4. Uso de plaguicidas en diferentes periodos del Alto Valle.....	30
6.4.5. Equipamiento de aplicación	32
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
7.1. Descripción del área de estudio	35
7.1.1. Sistema de riego y drenaje de la unidad productiva.....	36
7.1.2. Acuífero libre	38
7.2. Componentes de la Unidad Productiva.....	39
7.2.1. Producción vegetal	39

7.2.2. Descripciones morfológicas del perfil de suelo	40
7.2.2.1. Determinación de capas duras	41
7.2.2.2. Toma de muestra	42
7.3. Plaguicidas del control químico	43
7.3.1. Determinación de la pérdida de plaguicidas por deriva y escurrimiento	44
7.3.2. Índice de lixiviación	46
7.3.3. Determinación de plaguicidas en el agua superficial	47
7.3.3.1. Agua de riego	47
7.4. Recolección de lixiviados	48
7.4.1. Lisímetros	48
7.4.1.1. Descripción	49
7.4.1.2. Instalación	50
7.4.2. Determinación del volumen de agua de riego del ensayo	52
7.4.3. Determinación del volumen de agua percolada	53
7.4.4. Aplicación de la lámina de riego sobre el área del lisímetro	54
7.4.5. Recolección y muestreo de lixiviados a través del lisímetro	55
7.4.6. Muestreo de suelo	57
7.5. Variaciones del nivel freático y recolección de muestras	58
7.5.1. Freatímetros	58
7.5.1.1. Descripción	59
7.5.1.2. Instalación	59
7.5.2. Determinación de plaguicidas en el agua subterránea de la unidad productiva	60
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
8.1. Determinación de las características morfológicas y analíticas del perfil del suelo.	62
8.1.1. Características morfológicas del suelo	62
8.1.2. Determinaciones analíticas del perfil del suelo	63
8.2. Ensayos preliminares	64
8.2.1. Volúmenes e intervalo de tiempo del agua percolada	64
8.2.2. Plaguicidas depositados en el suelo durante la pulverización	65
8.3. Percolación y lixiviación	66
8.3.1. Percolación del agua de riego	66
8.3.1.1. Primer ensayo	66
8.3.1.2. Segundo ensayo	67

8.3.1.3. Análisis comparado en primer y segundo ensayo	68
8.3.2. Lixiviación de plaguicidas agrícolas	69
8.3.2.1. Primer ensayo.....	69
8.3.2.2. Segundo ensayo.....	70
8.3.2.3. Análisis comparado en primer y segundo ensayo	71
8.3.2.4. Índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas	72
8.4. Retención de plaguicidas agrícolas en el perfil del suelo	73
8.4.1. Retención de carbaril	74
8.4.2. Retención de clorpirifos	74
8.4.3. Retención de metidation.....	75
8.4.4. Retención de metilazinfos.....	76
8.5. Modelo conceptual de la percolación y almacenamiento del agua en el perfil del suelo ...	77
8.5.1. Primer ensayo.....	77
8.5.2. Segundo ensayo	78
8.6. Plaguicidas en agua subterránea	80
9. CONCLUSIONES	82
10. RECOMENDACIONES	84
11. BIBLIOGRAFÍA	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción clase textural del primer horizonte en diferentes suelos de 9 unidades productivas del área agrícola (Storti 2008, Imagen: Google Earth, 2018).....	9
Figura 2. Red freaticométrica de puntos de observación (modificado de Galeazzi et al. 2002). ...	10
Figura 3. Ubicación geográfica de la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Imagen: Google Earth, 2018).	12
Figura 4. Corte vertical del suelo o calicata en área frutícola de la región del Alto Valle (Storti, 2008).	15
Figura 5. Módulo de unidad de riego por superficie (melga) (Fernández Gómez et al. 2010). ..	18
Figura 6. Condiciones del agua subterránea (Heath, 1983).....	19
Figura 7. Dren a cielo abierto o desagüe en el área frutícola de la región del Alto Valle.	21
Figura 8. Estructura química orgánica del precursor de los diferentes insecticidas orgafofosforados. (Anguiano et al., 2011).....	23
Figura 9. Estructura química metilazinfos (Loewy, 2000).	24
Figura 10. Estructura química clorpirifos (Anguiano et al., 2011).....	24

Figura 11. Estructura química metidation (Anguiano et al., 2011).	25
Figura 12. Estructura química carbamato (Loewy, 2000).	25
Figura 13. Estructura química carbaril (Loewy, 2000).	26
Figura 14. Procesos que afectan el destino de los contaminantes en el medio ambiente (Malato Rodríguez et al., 2001).	30
Figura 15. <i>Cydia pomonella</i> (L.), plaga clave de los frutales de pepita en la región del Alto Valle (Fuente: EEA INTA Alto Valle).	31
Figura 16. Máquina pulverizadora traccionada por tractor agrícola.	33
Figura 17. Localización del área agrícola ("Puente la S") y de la unidad productiva en estudio en la región del Alto Valle (Imagen: Google Earth, 2018).	36
Figura 18. Conducción y distribución del agua de riego (Imagen: Google Earth 2018).	36
Figura 19. Módulo de riego de la parcela de estudio.	37
Figura 20. (a) Aberturas de boquetes; (b) Lámina de agua de riego (terreno inundado).	38
Figura 21. Desagüe a cielo abierto.	38
Figura 22. Sistema de conducción tradicional y espaldera con frutales de manzano variedad Red Delicious y Granny Smith.	40
Figura 23. Perfil del suelo de la unidad productiva.	41
Figura 24. (a) Varilla de hierro acerado en forma de T; (b) Extremo de la varilla apoyada en el fondo de la calicata; (c) Presión en el extremo superior de la varilla; (d) Medición de la capa dura desde la parte superior del terreno.	42
Figura 25. Equipo pulverizador hidroneumático.	44
Figura 26. a) Pérdida de plaguicida por deriva y evaporación; b) Pérdida de plaguicida por escurrimiento en el follaje.	45
Figura 27. a y b) Disposición de las cajas de Petri al momento de la aplicación de plaguicidas para control de carpocapsa.	45
Figura 28. Muestreo de agua en canal de riego terciario.	47
Figura 29. Ubicación de los lisímetros.	49
Figura 30. Detalles de las dimensiones del lisímetro.	49
Figura 31. Ubicación del lisímetro en la superficie del interfilar.	50
Figura 32. a, b) Golpes de percusión e hincamiento del lisímetro; c) Vista lateral, introducción total del lisímetro; d) Vista frontal, introducción total del lisímetro.	51
Figura 33. a) Excavación en los laterales del lisímetro; b) Vista frontal con excavación en ambos laterales y porción de suelo sin excavar sosteniendo el lisímetro; c) Excavación parte inferior del lisímetro; d) Excavación finalizada en su parte lateral e inferior.	52
Figura 34. Dimensiones del lisímetro y lámina de riego.	53
Figura 35. a) Instalación del anillo de infiltración b) Aplicación y recolección de agua.	54

Figura 36. a) Aplicación de un volumen de agua de 30 litros en forma uniforme y controlada b) Lámina de riego de 3 cm de espesor.....	55
Figura 37. a) Armado de bolsa plástica con diámetro similar al lisímetro; b) Colocación del colector de lixiviados en la parte inferior del lisímetro.	56
Figura 38. a) Lixiviados interceptados por el colector plástico; b) Medición volumétrica de la muestra lixiviada al cabo de 30 minutos; c) Medición de un volumen mínimo de 2 litros d) Traslado a botellas de vidrio color caramelo.	57
Figura 39. A) Muestreo de suelo en el interior del lisímetro una vez concretado el tratamiento químico y los eventos de riego; b) Recolección de tres repeticiones de suelo por horizonte....	58
Figura 40. Ubicación y disposición lineal de los freáticos.	59
Figura 41. Freático.	60
Figura 42. Muestreo de agua subterránea en freáticos; a) Medición de la profundidad de la freática; b) Bomba manual con mecanismo de inflador.	61
Figura 43. Volúmenes de agua recolectados durante el ensayo de percolación.....	64
Figura 44. Percolación producida por un volumen de 30 L de agua aplicada por riego controlado en los lisímetros 1 y 2.....	66
Figura 45. Proceso de lixiviación instantánea y acumulada, producida durante el primer ensayo, una vez realizado los tratamientos de Carbaril y Clorpirifos. Se determinaron tres muestreos consecutivos de 30 min durante el periodo 2013 (27 de octubre).....	70
Figura 46. (a) Lixiviación instantánea y (b) acumulada, producido durante el segundo ensayo que se realizó habiendo transcurrido 10 días después de las aplicaciones de Carbaril y de Clorpirifos y se completara la aplicación de Metidation. Se determinaron en seis muestreos consecutivos de 30 min (6 de noviembre 2013).	71
Figura 47. Retención de Carbaril en el perfil del suelo.	74
Figura 48. Retención de residuos de clorpirifos en el perfil del suelo.	75
Figura 49. Retención de residuos de metilazinfos en el perfil del suelo.....	77
Figura 50. Velocidad de percolación del agua en el lisímetro 1.....	78
Figura 51. Velocidad de percolación del agua en el lisímetro 2.....	79
Figura 52. Detección de plaguicidas en agua subterránea.	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plaguicidas utilizados en el control químico durante el desarrollo de primera generación de carpocapsa.	44
Tabla 2. Clasificación de los plaguicidas en base al índice GUS (Gustafson, 1989).....	46
Tabla 3. Coordenadas de los sitios con freáticos.	58
Tabla 4. Descripción morfológica del perfil del suelo.	62
Tabla 5. Determinación analítica de cada horizonte del perfil del suelo.....	63

Tabla 6. Masa total de plaguicidas depositados en la superficie del lisímetro (0,28m ²).	65
Tabla 7. Percolación del primer ensayo.	67
Tabla 8. Percolación del segundo ensayo.	67
Tabla 9. Recuperación de lixiviados del primer ensayo.	69
Tabla 10. Recuperación de lixiviados del segundo ensayo. Celdas con guión indican que no se realizó medición analítica en duplicado.	70
Tabla 11. Datos para evaluar el potencial de contaminación de las aguas poco profundas, considerando el índice de GUS.	73

GLOSARIO

Símbolos

C_O: Concentración en octanol

C_S: Concentración en suelo

C_W: Concentración en agua

t_{1/2}: vida media de los plaguicidas

K_{CO}: Constante de adsorción al carbono orgánico

K_d: Coeficiente de distribución

K_H: Constante de Henry

K_{OW}: Constante de partición octanol-agua

GUS: índice de lixiviación

P_V: Presión de vapor

S_w: Solubilidad en agua

Abreviaturas

CAR: Censo Provincial de Agricultura Bajo Riego de la Provincia Rio Negro

CC: Capacidad de campo

CE: Conductividad eléctrica

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

CO: Carbonato orgánico

DDT: Dicloro difenil tricloroetano

EEA: Estación Experimental Agropecuaria

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

MIP: Manejo Integrado de Plagas

MO: Materia orgánica

MS: Detector de espectrometría de masa

NPD: Detector de nitrógeno y fosforo

SAESC: Extracción con ultrasonido en micro-columnas

SPE: Extracción en Fase sólida

OFs: Organofosforados

OMS: Organización Mundial de la Salud

PMP: Punto de marchitez permanente

PNSC: Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa

PPDB: Pesticide Properties Data Base de la Universidad de Hertfordshire

PVC: Policloruro de vinilo

TCS: Técnica de Confusión Sexual

1. INTRODUCCIÓN

La principal actividad agrícola que se desarrolla en la región del Alto Valle de las provincias de Río Negro y Neuquén es la fruticultura, destacándose como principal productora de peras y manzanas de la Argentina. Un alto porcentaje de los costos de producción está relacionado con los insumos, entre ellos los agroquímicos de síntesis, que actúan como principal herramienta para el control de plagas y/o enfermedades.

Los plaguicidas agrícolas más empleados, de acuerdo a la clasificación química de los mismos son: organofosforados, piretroides, carbamatos y neonicotinoides entre otros. Actualmente un hecho importante a destacar, es la utilización del Manejo Integrado de Plagas (MIP) y la Técnica de Confusión Sexual (TCS).

El uso de los agroquímicos se intensifica a partir del mes de septiembre coincidiendo con la floración y desarrollo de frutos, debido a la aparición de las plagas, como la *Cydia pomonella* (L.), conocida vulgarmente como “carpocapsa”, que ocasiona graves daños en frutos de pepita y considerables pérdidas económicas.

El uso excesivo y continuo de los plaguicidas es una preocupante fuente de contaminación para la salud humana y el medio ambiente. Por ello, el empleo de estas sustancias químicas durante décadas, en la región del Alto Valle, produce una creciente preocupación de diversos sectores de la población.

Varios estudios lo afirman, Quintana et al. (2017) concluyó que la exposición a las aplicaciones intensivas de pesticidas en residentes del área rural del Alto Valle, tiene impacto sobre los embarazos en el tercer mes de gestación, además de otros efectos adversos en la salud humana. También se ha documentado contaminación con residuos de plaguicidas en componentes abióticos, como en, aguas subterráneas (Loewy, 2000; Loewy et al., 2006; Loewy et al., 2011), aguas superficiales de drenaje (Tosi et al., 2009) y en suelos con desarrollo de actividad hortícola (Ohaco et al., 2012).

Los procesos de percolación y lixiviación de plaguicidas, influyen directamente en la contaminación del agua subterránea. Los mismos han sido estudiados en otras regiones con el uso de dispositivos tales como infiltrómetros y lisímetros. Por ejemplo, Dousset et al. (2010) y El Imache et al. (2012) estudiaron la lixiviación de pesticidas en columnas de suelo sin disturbar, contenidas en lisímetros de Policloruro de Vinilo (PVC).

Al existir contaminación de gran complejidad sobre los componentes de una unidad productiva, surgió la necesidad de estudiar en detalle los procesos naturales de percolación y lixiviación de contaminantes químicos en el monte frutal, que posiblemente llegan hasta el agua subterránea poca profunda, una vez realizado el riego gravitacional por inundación.

La obtención de datos a campo, el procesamiento y análisis de los mismos, permitió delinear recomendaciones concretas de prácticas y tecnologías que posibilitan disminuir la problemática ambiental a la que es sometida la población de la región del Alto Valle, en forma directa o indirecta, como consecuencia de aplicación de plaguicidas.

2. Delimitación del problema

En la región del Alto Valle la utilización de los plaguicidas en el monte frutal, ha llevado a la contaminación del agua y del estrato superficial del suelo en algunos sitios, informado en numerosas investigaciones locales (Loewy, 2000; Loewy et al., 2006; Loewy et al., 2011; Tosi et al., 2009; Ohaco et al., 2012; Dufilho, 2015; López Ordieres, 2016) que han demostrado presencia de residuos de plaguicidas en suelo, agua superficial y agua subterránea.

De acuerdo a Magdalena (2004), esta contaminación que se produce sobre los diferentes componentes de la unidad productiva, se debe principalmente a factores que afectan la aplicación de los plaguicidas como las condiciones climáticas, características morfológicas del cultivo frutal y la ineficiencia del equipo de aplicación.

También Rodríguez y Muñoz (2005), señalan que la región del Alto Valle presenta condiciones desfavorables para la aplicación de agroquímicos debido a la presencia de vientos moderados, altas temperaturas en verano y baja humedad. Estudios realizados por Cogliati y Mazzeo (2006) en estaciones meteorológicas de la región Alto Valle para un periodo de 1961 a 1990, registran vientos persistentes y con direcciones predominantes del oeste y sudoeste e intensidades medias que resultan mayores a 4.0 m/s en los meses de octubre a febrero.

Por ello, la eficiencia de las aplicaciones en los tratamientos de control químico se ve afectada por la pérdida de producto, principalmente por endoderiva y exoderiva, lo cual contamina el ambiente y pone en riesgo a la población (Anguiano et al., 2005; Copes, 2013). Esta situación se ve agravada cuando las pulverizaciones se realizan en presencia de viento. Gil y Sinfort (2005) afirman que la deriva de las aplicaciones es la ruta más importante de ingreso de los plaguicidas al medioambiente.

Tradicionalmente, la aplicación de plaguicidas en la región del Alto Valle se realiza mediante pulverizadoras hidroneumáticas con ventilación axial. Este sistema presenta un alto grado de ineficiencia por la tendencia a producir deriva y pérdidas al suelo. La deriva puede ser una vía de ingreso significativa de plaguicidas a los cursos de agua superficial. Di Prinzio et al. (1998), demostraron que existe un 25% de pérdida total del plaguicida aplicado con pulverizadora hidroneumática, donde la deriva y las pérdidas al suelo son las más relevantes.

Por otro lado, los plaguicidas depositados en la superficie del terreno, que no han sido aún degradados, pueden ser transportados por el agua hacia el subsuelo. Es frecuente que las aplicaciones sean seguidas de riego gravitacional donde se inunda toda la superficie del predio. Por consiguiente, estas aguas superficiales se movilizan a través de las grietas y poros del perfil del suelo, produciendo lixiviados de residuos químicos que probablemente interceptan las aguas subterráneas poco profundas. Loewy et al. (2011) señalan que la percolación y los flujos preferenciales en el suelo constituyen las principales vías

de transporte que contribuyen a la contaminación sub-superficial. Estudios realizados por Dufilho (2015) a través de un modelo de simulación aplicado en suelos productivos del Alto Valle, corroboran la existencia de flujos preferenciales como mecanismo de lixiviación de plaguicidas que facilitan el ingreso al acuífero libre en algún momento del ciclo productivo.

Por lo expuesto, podemos señalar que existen numerosos procesos y fenómenos que ocurren durante y después de la aplicación de los plaguicidas que afectan la calidad del suelo y las fuentes de agua superficial y subterránea.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Explicar el transporte y destino de plaguicidas agrícolas en el agua subterránea, a través de experimentos de campo controlados en condiciones de manejo tradicional en el área productiva bajo riego, denominada “Puente la S” ubicada en la zona rural de la localidad de Cipolletti, Alto Valle de Río Negro.

3.2. Objetivos específicos

- Elaborar el modelo conceptual del transporte de plaguicidas en las condiciones ambientales del Alto Valle.
- Diseñar e implementar un experimento que permita describir el movimiento y destino de los plaguicidas a través del perfil del suelo, en condiciones de campo con riego por inundación de un monte frutal.
- Analizar el proceso de percolación del agua en un suelo franco limoso hacia el acuífero freático, durante el evento de riego por inundación.
- Determinar la presencia de plaguicidas, clorpirifos, metidatión y carbaril, en el suelo y el agua de la unidad productiva.
- En función de los resultados obtenidos, realizar recomendaciones de buenas prácticas agrícolas que disminuyan los riesgos de contaminación del agua en las condiciones actuales de producción frutal.

4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

- I. Los residuos de plaguicidas en el agua subterránea poco profunda, se relacionan con las aplicaciones de plaguicidas y los riegos gravitacionales y/o precipitaciones estacionales.
- II. Los residuos de diferentes plaguicidas aplicados en un ciclo productivo, expresan diferentes niveles de concentración debido a las propiedades fisicoquímicas del suelo y la naturaleza química de los plaguicidas.

5. ANTECEDENTES

Diversos estudios han abordado, desde diferentes perspectivas, la problemática de la contaminación ambiental, tanto de suelo como de agua, vinculada a la actividad frutícola en el Alto Valle del Río Negro y Neuquén. Aquí se citan algunos de los que consideramos más relevantes a la presente investigación.

a) Un enfoque integrado para evaluar el comportamiento migratorio de clorpirifos y carbarilo en la zona de suelo insaturado (Latini, L. A., Indaco, M. M., Aguiar, M. B., Monza, L. B., Porolo, M. E., Melideo, C. F., Savini M., Loewy, R. M., 2018).

Esta publicación forma parte del trabajo de investigación desarrollado para la presente tesina de maestría. La investigación se desarrolla en la región del Alto Valle, donde se realiza en mayor medida la actividad productiva de frutales de manzana y tuvo como objetivo estudiar el comportamiento migratorio de los pesticidas carbaril y clorpirifos, en condiciones naturales de campo.

Para ello, se colocaron lisímetros en el suelo, donde se quería evaluar la lixiviación de los plaguicidas y se realizaron estudios de adsorción complementarios, utilizando lotes y columnas de laboratorio de suelo sin perturbaciones para ambos compuestos.

El análisis de los resultados mostró que en los lisímetros de campo se recuperó 1% de clorpirifos y 17% de carbaril de los plaguicidas aplicado. Mientras que, en las columnas de laboratorio sin perturbar, el clorpirifos estuvo más absorbido en

los primeros 5 cm y el carbaril se movilizó a las capas más bajas de la columna de suelo.

Este estudio demostró que la sorción al suelo reduce la movilidad de plaguicidas, de acuerdo con la composición del suelo y las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas, donde clorpirifos se absorbió con mayor intensidad en el suelo que carbaril.

También al comparar los resultados de lixiviación de las columnas de laboratorio sin disturbar con las de lixiviación en lisímetros de campo, se infiere la existencia de trayectorias preferenciales para el carbaril en condiciones de campo.

b) Caracterización y modelación del transporte preferencial de plaguicidas organofosforados en suelos productivos bajo riego. Aplicación al Distrito Colonia Centenario (Dufilho, A. C., 2015).

El objetivo del trabajo fue analizar el transporte y destino de los plaguicidas organofosforados en suelos productivos del valle del Río Neuquén, con texturas predominantes desde franca arenosa a franca arcillosa.

Asimismo, con los datos de campo, laboratorio e información bibliográfica se implementó el modelo de simulación MACRO de porosidad y conductividad dual que permitió corroborar la existencia de flujos preferenciales, como mecanismo de lixiviación de plaguicidas que facilitan el ingreso al acuífero libre. El modelo relacionó las propiedades físicas de los suelos con el comportamiento de los plaguicidas.

Por otro lado, es importante señalar que las aplicaciones de los ensayos de colorimetría resultaron ser un instrumento adecuado para la determinación en el tipo y magnitud del flujo preferencial en estos tipos de suelos.

c) Leaching of Diuron, Linuron and their main metabolites. in undisturbed field lysimeters. Part. B. Journal of Environmental Science and Health, (El Imache, A., Dachour, A., Elamrani, B., Dousset, S., Pozzoni, f., Guzzella, L., 2008).

El estudio se lleva a cabo en la región de Gharb, Marruecos, considerada una importante zona agrícola de regadío. Ante el incremento del uso de plaguicidas y la posibilidad de un riesgo potencial de contaminación en las aguas subterráneas de nivel freático poco profundo.

Se planteó como objetivo estudiar la lixiviación de los pesticidas a través de columnas de suelo no perturbadas en condiciones naturales. El suelo elegido es un suelo arcilloso, representativo del área agrícola de Gharb. Se instalaron diez lisímetros de Policloruro de Vinilo (PVC) de $L = 40$ cm, $\varnothing = 15$ cm y se aplicó en la parte superior plaguicidas y luego mediante un evento de riego por aspersión se adicionó el agua, a efectos de evaluar la lixiviación.

Los resultados del estudio mostraron que la cantidad total de lixiviados recolectados en los lisímetros tuvieron variaciones con los riegos aplicados. En algunas columnas se recolectaron grandes volúmenes de lixiviado, mientras que otras columnas poco lixiviado. Se planteó que la variabilidad podría deberse a diferencias en el contenido inicial de agua de las columnas de suelo, a la aplicación heterogénea de agua de riego y a diferencias en el agrietamiento de la superficie o distribución de macroporos entre las columnas de suelo que resultaron en diferentes cantidades de flujo preferencial.

d) Comparación de índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas (Dalpiaz, M. J., Andriulo, A., 2017).

El trabajo considera que el empleo de plaguicidas es una de las principales causas de contaminación del agua subterránea por lixiviación en áreas bajo producción agrícola de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo del trabajo fue estimar el riesgo potencial de lixiviación de los plaguicidas utilizados en dos suelos de textura contrastante, empleando y comparando varios índices que recurren a las propiedades del coeficiente de reparto en carbono orgánico-agua (K_{oc}) y tiempo de vida media ($t_{1/2}$) de los plaguicidas.

El trabajo se realizó en dos series de suelos característicos del norte de la provincia de Buenos Aires con características de textura franco arenosa y textura franco limosa. Se incluyó el estudio de varios índices, entre ellos el índice de GUS, con las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Los resultados mostraron que los riesgos de lixiviación estimados por los índices resultaron muy variables, asignando a un mismo plaguicida diferentes peligros de alcanzar el agua subterránea. Entre ellos, clorpirifos manifestó que no presentaba peligro de lixiviación en ningún índice, posiblemente por sus propiedades fisicoquímicas.

e) Determinación de parámetros hidrofísicos – químicos de los suelos relacionados con los procesos de degradación salina y drenaje. (Storti, M., 2008).

Este estudio se desarrolla en la misma área de investigación del presente trabajo. El objetivo del trabajo fue comprobar mediante ensayos de campo y laboratorio la validez de los parámetros hidrofísicos del suelo de las diferentes parcelas de estudio a través de un modelo estadístico predictivo “Características del Agua del Suelo” (Saxton, E., 2005).

Se realizaron análisis físicos y físicos-químicos de muestras de suelos obtenidas de 9 unidades productivas con el fin de determinar textura, salinidad y retención hídrica. Además, se realizaron los ensayos de infiltración por medio del método del doble anillo.

Los resultados muestran que los suelos estudiados en las unidades productivas presentan diferentes clases texturales en el horizonte superior, con predominio de textura medias finas, franco limoso (fl), franco arcilloso (fa), franca arcillo limoso (fal), arcilloso (a), franco arcilloso (fa), arcillo limoso (fl) y franco arcillo arenoso (faA) (Fig. 1). También se obtuvo un cierto grado de heterogeneidad en los perfiles de los suelos propiciando que exista una amplia variabilidad en las propiedades físicas-químicas, infiltración básica y retención hídrica.

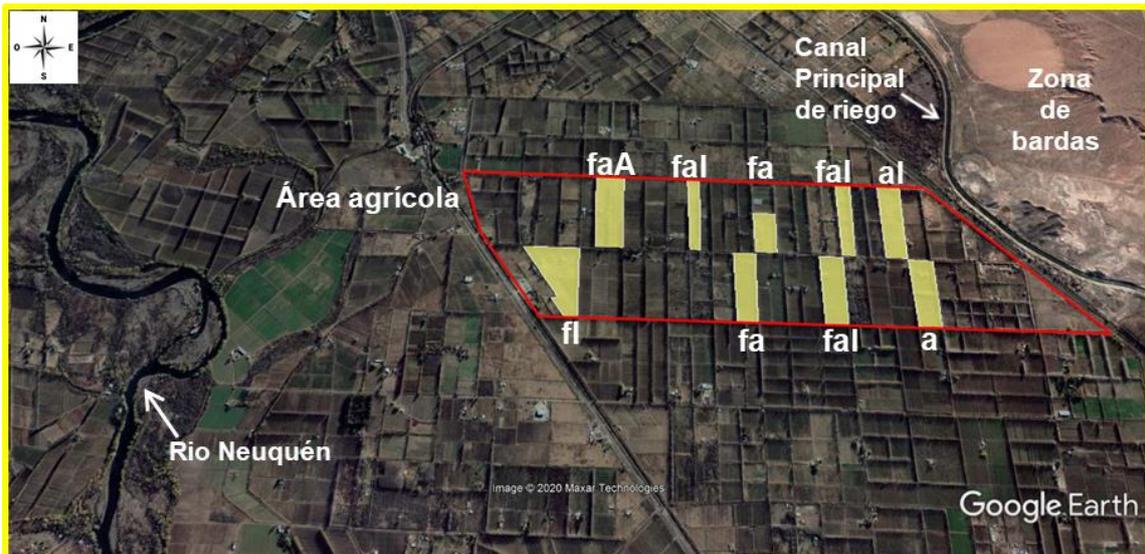


Figura 1. Descripción clase textural del primer horizonte en diferentes suelos de 9 unidades productivas del área agrícola (Storti 2008, Imagen: Google Earth, 2018).

f) Plaguicidas en aguas subterráneas del Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Loewy, M., 2000).

La investigación se realizó en un área de estudio agrícola ubicada en la margen derecha del río Neuquén de aproximadamente 25 km de largo y 2,5 km de ancho medio, incluyendo las localidades de Centenario, Vista Alegre Norte y Sur.

El objetivo del trabajo fue evaluar el posible impacto de los plaguicidas utilizados en la fruticultura sobre las aguas subterráneas poco profundas. Por tal motivo, se diseñó un programa de monitoreo de 30 freáticos instalados en la zona de producción frutícola. Las tomas de muestras de agua subterránea fueron realizadas durante tres períodos consecutivos entre los meses de octubre a marzo de los años 1995 a 1998.

Los resultados mostraron presencia de plaguicidas en las aguas subterráneas próximas a la superficie. Además, menciona que los picos de concentración de residuos se correlacionan con la mayor aplicación de plaguicidas durante primavera e inicio de verano, disminuyendo significativamente a finales de verano cuando termina el período de aplicación del ciclo productivo de la fruticultura. Comportamiento que se repite en los tres períodos estudiados.

g) Puente la S: Experiencia de participación de los regantes en la implementación de prácticas racionales de manejo del agua (Galeazzi, J., Muñiz, J., Melideo, C., Montenegro, A., 2002).

Esta experiencia se desarrolla en la misma área agrícola de investigación del presente estudio. Las chacras que constituyen el área se encuentran plantadas con frutales de pepita en su mayoría.

Ante la problemática por la afectación de los niveles freáticos críticos y sus fluctuaciones espaciales y temporales que tienen incidencia sobre la capacidad productiva de los frutales de pepita, se planteó como objetivo brindar herramientas que permitan identificar las causantes involucradas y lograr, mediante una colaboración participativa entre usuarios y Consorcios de Riego y Drenaje, una mejora en el manejo integral del agua.

En la superficie total del área de trabajo se dispuso la instalación de una red de freatómetros de observación (Fig. 2) con un espaciamiento variable de 150 m a 200 m entre freatómetros, georreferenciados en coordenadas cartesianas con cotas IGM.



Figura 2. Red freatométrica de puntos de observación (modificado de Galeazzi et al. 2002).

Las mediciones de profundidad de la capa freática se desarrollaron en el periodo 2002 a 2012, teniendo en cuenta fechas específicas con respecto al manejo del monte frutal y la dinámica del acuífero a lo largo del año, tales como el riego en primavera como método de defensa pasiva para el control de heladas, el periodo de mayor evapotranspiración del cultivo, la disminución del riego por la incidencia de la cosecha y la finalización de la temporada de riego.

Los resultados mostraron la dirección de los flujos de agua subterránea en el área. También, a partir de mapas de isobatas se definieron sitios con diferente grado de afectación según profundidad de la capa freática. Y se concluyó que los causantes de la elevación de la capa freática son los problemas de drenaje con diferentes grados de afectación, las pérdidas por filtración en la red de canales y la percolación profunda que se logra con el riego predial.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Caracterización del sistema agrícola de la Región del Alto Valle

La provincia de Río Negro presenta en dirección oeste a sureste un curso de agua llamado río Negro, que nace en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén. A lo largo de su extensión se distinguen tres regiones agrícolas llamadas -Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior (INTA, 2012).

La región del Alto Valle, está comprendido entre 38° 40' y 39° 20' de latitud sur y 66° 50' a 68° 20' de longitud oeste con valores de altitud que van de 200 a 400 metros sobre el nivel del mar (Holzmann, 2010). Este valle resulta importante, porque concentra las áreas productivas frutícolas más importantes de la Norpatagonia (Fig. 3). Asimismo, De Jong (2010) documenta que esta microrregión se la denomina Alto Valle, aún cuando incluye el valle superior del río Negro y los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén.



Figura 3. Ubicación geográfica de la región del Alto Valle de Rio Negro y Neuquén (Imagen: Google Earth, 2018).

La región del Alto Valle está constituida por una larga franja de tierras de unos 130 km de largo y un ancho que varía entre 6 y 20 km. En sus límites externos se encuentran las escarpadas lomas de suelo denominadas bardas y en el interior una planicie secuenciada por terrazas que finalizan en un fondo de terreno, donde se aloja el curso fluvial (INTA, 2012).

La superficie ocupada por el valle es muy variable y adquiere desarrollo agrícola, de uno y otro lado del cauce del río Neuquén y río Negro. De Jong (2010), menciona que las tierras cultivables, de excelente calidad, se encuentran ubicadas en las terrazas de la margen izquierda de los ríos Limay y Negro y en ambas márgenes del río Neuquén.

Dentro del contexto agrícola la fruticultura históricamente constituyó la principal actividad productiva. Algunos autores como Bandieri y Blanco (1991), Ciarallo et al. (2011), explican que la región se estructuró como economía frutícola en los años 1930 cuando la producción se orientó hacia el mercado externo, destacándose el incremento de la superficie cultivada en frutales de manzana y peras. En el mismo sentido Vapnarsky y Pantelides (1987), señalan que a partir de 1930 empieza en el Alto Valle el ciclo de la fruticultura y la viticultura. Avellá et al. (2018) menciona que la producción de frutas de pepita ha sido, y es

actualmente la principal actividad económica de la región del Alto Valle de Río Negro.

En la actualidad los relevamientos realizados en el ciclo productivo del 2016, registraron en las provincias de Río Negro y Neuquén un total de 46.979 hectáreas netas de frutas de pepita y de frutas de carozo (SENASA, 2016). Según datos del Censo Agrario Rionegrino las provincias de Río Negro y Neuquén concentran el 81% de las manzanas y el 85% de las peras producidas en el país (CAR, 2005).

Todo el sistema de producción de manzanas y peras presente en la región del Alto valle se desarrolla en unidades de explotación o productivas (chacras). Zunino (2009), explica que en la región del Alto Valle la explotación familiar, cuya producción principal es la fruticultura, está compuesta por el productor responsable y los familiares que habiten en la explotación o que tengan otra residencia y trabajen en ella.

En estudios realizados en áreas agrícolas de la región del Alto Valle, Aguilar y Di Massi (2018), describen que las unidades productivas en promedio rondan las 15 ha, existiendo algunas menores (6ha) y otras mayores (30 ha).

Gittins y Calvo (2013), explican que en los primeros años de la fruticultura los árboles frutales desarrollaron un sistema de conducción libre o tradicional, luego por incidencias climáticas como los fuertes vientos se comienza a adoptar la conducción en espaldera constituida por una estructura de cuatro alambres y un distanciamiento de cuatro metros entre filas y tres entre plantas, que permite lograr producción de fruta de calidad (Magdalena, 2004).

6.2. Suelo agrícola

La palabra suelo presenta varios significados, pero un concepto más moderno lo define como la colección de cuerpos naturales en la superficie de la tierra, en lugares modificados o incluso hechos por el hombre con materiales terrosos, que

contienen materia viva y sostienen o pueden sostener plantas al aire libre (USDA, 2017).

Lal y Shukla (2004), describen que la mayoría de los suelos constan de cuatro componentes y tres fases (sólido, líquido y gaseosa). Los cuatro componentes incluyen sólidos inorgánicos, sólidos orgánicos, agua y aire. Los componentes inorgánicos son minerales primarios y secundarios derivados del material parental. Los componentes orgánicos se derivan de plantas y animales y en la mayoría de los suelos minerales es de aproximadamente el 5% o menos. El componente líquido consiste en una solución acuosa diluida de compuestos orgánicos e inorgánicos. El componente gaseoso incluye aire del suelo que comprende una mezcla de algunos gases principales (nitrógeno, oxígeno y otros) y trazas (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y otros).

Los sólidos del suelo (inorgánicos y orgánicos), forman la matriz o el cuerpo de la mayoría de los suelos. El componente inorgánico comprende dos tipos de partículas de suelo, primarias y secundarias. Además, los tamaños de las partículas primarias se dividen en tres clases, arena, limo y arcilla y se refieren a la medida cuantitativa de la fracción sólida. Mientras que la textura del suelo se refiere a una medida cualitativa del tamaño de las partículas basada en la sensación del material del suelo (grueso, arenoso, fino o liso).

También se describe a la estructura del suelo, aquella que se refiere al tamaño, forma y disposición de partículas en unidades identificables llamadas agregados o peds. Un aspecto importante de la estructura es el sistema suelo-poro, integrado por poros texturales o intraagregados (microporos) y los poros entre agregados (macroporos que comprenden grietas y fisuras y biocanales).

Además de los poros estructurales de origen pedológico, existe una amplia gama de poros de origen biológico, que varían notablemente en forma, tamaño, tortuosidad y continuidad y son extremadamente importantes en la transmisión de agua y el intercambio gaseoso (Lal y Shukla, 2004).

Muchas de estas características del suelo pueden ser caracterizadas en campo mediante “la guía para la descripción del suelo”, la cual presenta el procedimiento para describir las diferentes morfologías y otras características del suelo, utilizando un perfil en una calicata recién excavada lo suficientemente grande para permitir la examinación y descripción necesaria de los diferentes horizontes del suelo (FAO, 2009) (Fig. 4).



Figura 4. Corte vertical del suelo o calicata en área frutícola de la región del Alto Valle (Storti, 2008).

Respecto a los suelos frutícolas bajo riego del Alto Valle, de acuerdo a Storti (2008), presentan una amplia variabilidad en las propiedades físicas y en las propiedades físico – químicas.

Asimismo, Irisarri et al. (1995) describe que los suelos de los valles bajo riego del Río Negro y Neuquén son de origen aluvial, conformando perfiles de suelo muy heterogéneos.

Estudios realizados a través de la EEA-INTA Alto Valle, permitieron reconocer 10 suelos diferentes que forman la complejidad de suelos de la región del Alto Valle. Estos se clasificaron dentro del Orden de los Molisoles, Entisoles, Alfisoles, Aridisoles e Inceptisoles siguiendo la clasificación Soil Taxonomy, 2006 (CFI, 2008).

Aruani et al. (2012), al igual que Storti (2008) mencionan que los suelos de la región del Alto Valle con frutales de pepita pertenecen al orden Aridisoles y orden Entisoles.

6.3. Sistema de riego y drenaje en la región del Alto Valle

La actividad frutícola del Alto Valle se hizo posible a partir de la construcción de las obras del sistema de riego y drenaje. En 1910 se inicia la construcción del dique Ing. Ballester y del Canal Principal de riego y finaliza en 1916; luego entre 1928 y 1931 se terminaron de construir los canales secundarios y posteriormente la red de colectores de drenaje (Requena, 2011).

La infraestructura del Canal Principal y la red de canales de distribución, destinados al abastecimiento de agua para el riego es denominada Sistema Integral de Riego del Alto Valle (Alvarez Palau, 2012). El sistema de riego está compuesto por un Canal Principal, canales secundarios, terciarios, comuneros y las acequias propias dentro de la chacra (Giancola et al., 2016).

Según De Jong (2008), considerando las áreas de riego a ambas márgenes del río Neuquén, las áreas regadas mediante tomas ubicadas sobre el río Limay y el área de riego de las márgenes del río Negro se alcanza una superficie total bajo riego de aproximadamente 72.000 hectáreas.

6.3.1. Método y forma de riego

El inicio de la temporada de riego en la región comúnmente es a partir del mes de agosto. Aguilar y Di Massi (2018) explican que el riego se realiza en función de un sistema de turnados, con una dotación prefijada para el Alto Valle que es de $0,75 \text{ l/s/ha} = 2.700 \text{ l/h/ha}$. Los turnados suelen otorgarse cada 6 u 8 días y el tiempo del turno de riego o de disponibilidad de agua puede oscilar entre 12 a 24 h, según la localización de la chacra.

El agua superficial es conducida y distribuida por la infraestructura del riego hasta llegar a la unidad productiva. Requena (2005), describe que la red de distribución interna del agua de riego en la unidad productiva está formada por un conjunto

de obras y estructuras tales como el canal o acequia principal, las acequias secundarias y terciarias, los saltos, puentes, sifones y compuertas, entre otros, que permiten la distribución adecuada del agua de riego dentro de la propiedad. También señala que esta red de distribución interna comienza con la compuerta de bocatoma, que generalmente está ubicada en el canal comunero.

Existen diferentes métodos de riego y se pueden clasificar en: riego por superficie y riego presurizado. En superficie se encuentran el riego por melga y el riego por surco, mientras que en el presurizado se distinguen el riego por goteo, aspersion y microaspersion (Demin, 2014).

En la fruticultura de la región del Alto Valle el método de riego que se utiliza es por superficie. Así, lo afirma Ponce et al. (2015) donde mencionan que el método de riego por superficie (melgas y surcos) posee un predominio casi absoluto en los valles irrigados de la provincia de Río Negro, desde los comienzos de la colonización (Giancola et al., 2016; Polla, 2020). También, Requena (2005) señala que el método de riego de mayor difusión en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén es el riego en "melgas", sin o con escasa pendiente.

En el método de riego por melgas el agua avanza por un espacio de suelo a modo de franjas que queda entre dos bordos construidos para tal fin, de manera que el agua se mueve encajonada desde la cabecera hasta el pie (Demin, 2014) (Fig. 5).

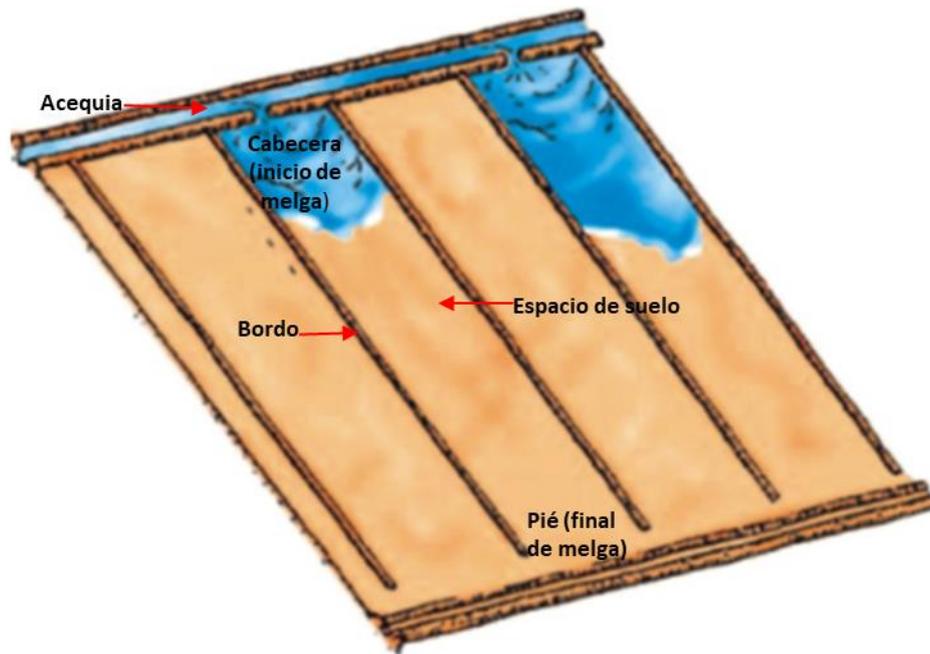


Figura 5. Módulo de unidad de riego por superficie (melga) (Fernández Gómez et al. 2010).

Los sistemas de riego por superficie consisten en aplicar el agua cubriendo parcialmente el terreno, permitiendo al agua escurrirse por los surcos. De esta manera, el agua infiltrada llega a la zona de raíces del cultivo para su aprovechamiento (Giancola et al., 2016). La “infiltración” se define como el ingreso de agua en el perfil del suelo y depende de ciertos factores como textura, presencia de materia orgánica, condiciones de laboreo y cultivos anteriores (Demin, 2014).

Requena y Toranzo (2015), señalan que una parte del agua infiltrada se almacena en el suelo y es aprovechada por las plantas para cumplir sus funciones vitales; parte se pierde por evaporación desde la superficie del suelo y finalmente parte percola alimentando la capa freática (“filtración”). Demin (2014) describe que, en el riego por superficie en algunas partes del terreno pueden existir pérdidas por infiltración profunda, llamada percolación.

6.3.2 Acuífero libre y drenaje

El agua almacenada en el subsuelo se conoce como agua subterránea o agua subsuperficial. Esta agua se distribuye en un medio poroso que puede estar no saturado y saturado. La zona no saturada se encuentra inmediatamente debajo

de la superficie terrestre y contiene agua y aire, mientras que en la zona saturada todos los espacios interconectados están llenos de agua. A su vez la zona no saturada puede dividirse en tres partes: la zona del suelo, la zona intermedia y la parte superior de la franja capilar (Heath,1983), (Fig. 6).

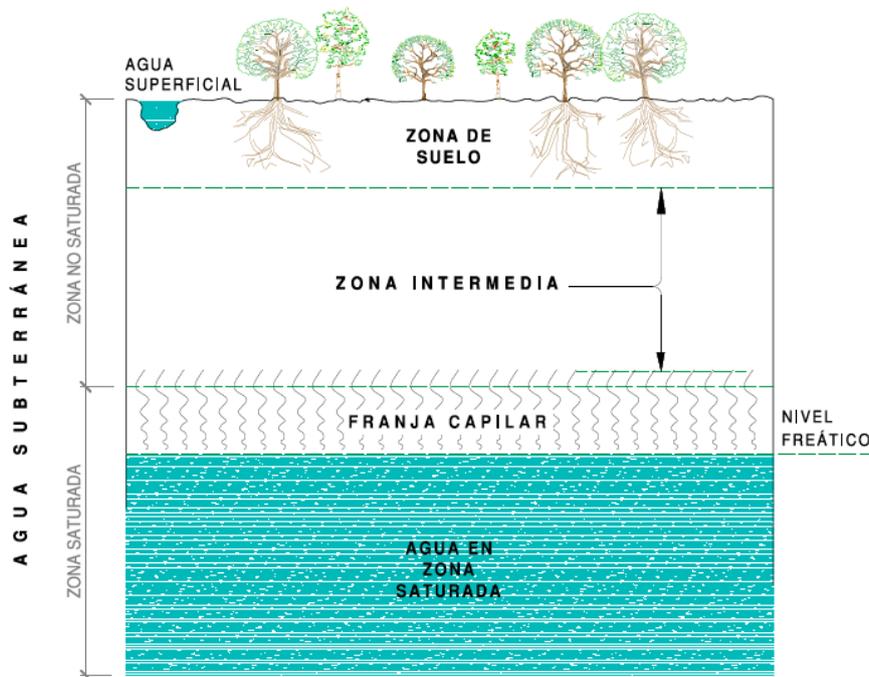


Figura 6. Condiciones del agua subterránea (Heath, 1983).

Chow (1994) define el nivel freático como la superficie donde el agua se encuentra a presión atmosférica en un medio saturado. Por encima del nivel freático, las fuerzas capilares pueden saturar el medio poroso a lo largo de una corta distancia denominada franja capilar, por encima de la cual el medio poroso se encuentra no saturado, excepto después de una lluvia, cuando la infiltración desde la superficie del terreno puede producir temporalmente condiciones de saturación.

Heath (1983) explica que todas las rocas que se encuentran debajo de la superficie de la Tierra se pueden clasificar de acuerdo a su capacidad para almacenar y entregar el agua, en acuíferos, acuitardos, acuicludos y acuífugos. Los acuíferos libres, no confinados o freáticos, se encuentran cercanos a la superficie y el nivel freático puede subir y bajar libremente. Mientras que cuando

el agua llena por completo un acuífero cubierto por un lecho de confinamiento se los denomina acuíferos confinados, surgentes o artesianos.

En la región del Alto Valle la llanura aluvial se encuentra constituida por dos niveles, uno inferior de material grueso formado por gravas y arenas sin cementar y generalmente saturadas que forman el acuífero libre, y uno superior de material más fino que forma el suelo propiamente dicho, con un espesor promedio de dos metros que puede estar parcialmente saturado en los períodos de ascenso del nivel freático (Polla et al., 2013).

También, en la región del Alto Valle el acuífero no confinado o libre presenta una dinámica de fluctuación en los niveles freáticos. Mientras los niveles cercanos a sectores de bardas son más estables los niveles ubicados en sectores agrícolas están influenciados por el riego y los niveles próximos al río se encuentran afectados además por las variaciones del nivel de agua del río (Laurencena et al., 2013).

Requena (2009) menciona que diversas causas hacen que el método de riego por superficie (melgas y surcos) sea de baja eficiencia, describiendo que en algunos casos la cantidad de agua utilizada por la planta llega a ser un 20% del total de la aplicada, donde el 80% restante se pierde, atravesando la zona de raíces del cultivo y acercando la capa freática a la superficie del terreno. Coincidiendo, Galeazzi et al. (2007) señalan que el riego es uno de los componentes principales en la recarga de la freática.

La saturación del suelo y freática cercana a la superficie, por ser un fenómeno que se produce en el subsuelo, no es fácilmente detectable y no se le da la suficiente importancia en la productividad agrícola, hasta que aparecen los primeros síntomas. Por ello una acción beneficiosa es recurrir al drenaje, cuya función es eliminar el exceso de agua deprimiendo los niveles freáticos, mejorando la aireación, la exploración radicular y el acceso a nutrientes (Liotta, 2015).

Existen dos tipos de drenes, los descubiertos o a “cielo abierto” y los subterráneos. En cualquiera de los dos sistemas el agua fluye hacia y por la zanja o tubos, creando una depresión del nivel freático (Fig. 7). En la región del Alto Valle complementario al sistema de riego existe la red de drenajes que permite bajar el nivel freático de tal modo que no perjudique el desarrollo del sistema (Giancola et al., 2016).



Figura 7. Dren a cielo abierto o desagüe en el área frutícola de la región del Alto Valle.

La forma más frecuente de investigar o realizar controles periódicos de la profundidad de la capa freática en suelos frutícolas, es mediante la utilización freatómetros, contruidos con caños de PVC o hierro galvanizado, ranurados, generalmente de 2 m de longitud. Son colocados entre dos plantas frutales y sobre la línea de plantación (bordo).

En respuesta a la dinámica del riego a lo largo del año, el nivel freático manifiesta mayor altura en septiembre-octubre, luego niveles algo menores en noviembre-enero debido al periodo de máxima demanda de la evapotranspiración y crecimiento vegetativo de los cultivos, posteriormente asociado a la cosecha se observa un nuevo aumento leve de los niveles durante enero- abril y finalmente existe una profundización de los niveles freáticos desde mayo a agosto por ausencia en la práctica del riego (Laurencena et al., 2013).

6.4. Plaguicidas Agrícolas

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1986) el término plaguicida se refiere a cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinada a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo vectores de enfermedades humanas o animales, especies indeseables de plantas o animales capaces de causar daños o interferir de cualquier otra forma con la producción, procesamiento, almacenamiento, transporte o mercado de los alimentos, otros productos agrícolas, madera y sus derivados o alimentos animales, o que pueden ser administrados a los animales para el control de insectos, arácnidos u otras plagas en sus organismos.

Un tóxico es un agente químico capaz de causar un efecto adverso en un organismo o población bajo determinadas condiciones de exposición. Los productos químicos agrícolas son denominados agroquímicos y son el grupo más grande de sustancias tóxicas que están siendo intencionalmente diseminadas en el medio ambiente (Anguiano et al., 2011).

Los plaguicidas agrícolas constituyen un conjunto de sustancias químicas con características muy diversas y que resultan potencialmente tóxicas en el medio ambiente. De acuerdo a Anguiano et al. (2011) y Miglioranza (2021), existen cientos de sustancias con acción plaguicida que se las clasifica de distintas maneras con distinto grado de especificidad.

1. Según el organismo sobre el cual actúan: insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas, entre otros.
2. De acuerdo al grupo químico de las sustancias: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, benzoilureas, otros.
3. Según el grado de toxicidad aguda en diferentes animales: la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica a los plaguicidas en extremadamente peligrosos (Ia), altamente peligrosos (Ib), moderadamente peligrosos (II), poco peligrosos (III), normalmente no ofrecen peligro bajo uso adecuado (IV).

4. Según su persistencia en el medio ambiente: persistentes, poco persistentes y no persistentes.

6.4.1 Grupos de plaguicidas de acuerdo a su estructura química

El control químico a través del uso de plaguicidas es una herramienta empleada en el ciclo productivo de los frutales de pepita en la región del Alto Valle. Cichón (2013) informa que, desde el inicio de la fruticultura a la actualidad, la evolución de la sanidad de los frutales de pepita estuvo acompañada por diferentes estrategias y usos de plaguicidas. A continuación, se mencionan las familias que están implicadas en el tratamiento de las aplicaciones químicas.

6.4.1.1 Organofosforados

Estos compuestos son usados extensivamente para el control de plagas de la agricultura y comprenden un grupo muy diverso de estructuras químicas con diferentes propiedades fisicoquímicas y toxicidad.

Son considerados como ésteres derivados del ácido fosfórico, presentan un enlace fosfórico (P=O) o tiofosfórico (P=S), donde los R₁ y R₂ corresponden a diversos grupos funcionales como alcoxi, alquil, alcoholes y otros sustitutos, el grupo X es llamado el grupo saliente, es característico de cada especie y es el más sensible a la hidrólisis (Fig. 8) (Anguiano et al., 2011).

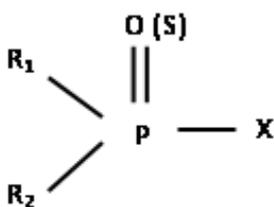


Figura 8. Estructura química orgánica del precursor de los diferentes insecticidas organofosforados. (Anguiano et al., 2011).

Según Anguiano et al. (2011) se caracterizan por ser sustancias pocos solubles en agua y muy solubles en disolventes orgánicos, por lo tanto, son compuestos liposolubles. Son razonablemente estables a pH neutro, pero casi todos son hidrolizados por álcalis y muchos son inestables a pH por debajo de 2.

Metilazinfos

Es el de mayor aplicación en la fruticultura del Alto Valle para el control de carpocapsa durante varios años. En los inicios de la década de los '90 ante poblaciones de carpocapsa resistentes a otros principios activos (piretroides), se cambió de 8 a 11 aplicaciones de metil azinfos (Fig.9) por temporada productiva (Cichón et al., 2012; Cichón, 2013).

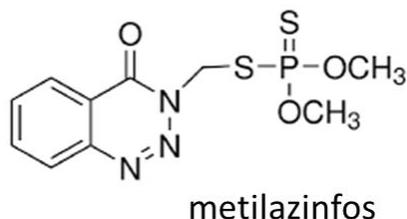


Figura 9. Estructura química metilazinfos (Loewy, 2000).

Clorpirifos

Es un plaguicida (Fig. 10) empleado en la fruticultura de pepita para controlar la primera generación de carpocapsa. Los productores que comercializan en mercado interno lo emplean dado que es más económico (Cichón et al., 2019).

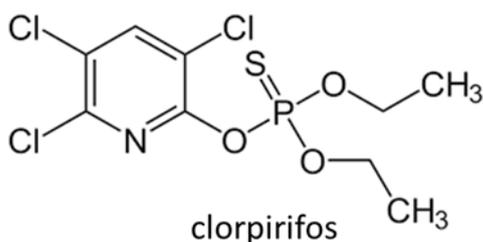


Figura 10. Estructura química clorpirifos (Anguiano et al., 2011).

Metidation

Es un plaguicida (Fig. 11) que se emplea como complemento en el control químico de plaga clave carpocapsa y plagas secundarias de la fruticultura. Se ha utilizado como primera aplicación de la temporada de frutales de pepita (Cichón et al., 2012).

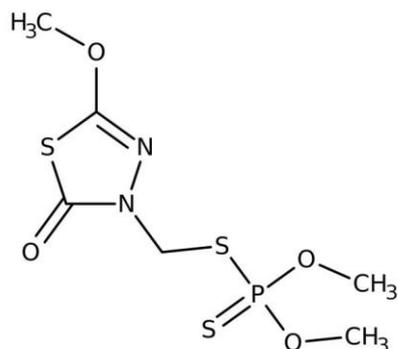


Figura 11. Estructura química metidation (Anguiano et al., 2011).

6.4.1.2 Carbamatos

Estas sustancias químicas presentan una variedad de estructuras químicas, pero todas son derivados del ácido carbámico siendo la mayoría N-metilcarbamatos (Anguiano et al., 2011).

Su estructura química general, los grupos funcionales R1 y R2 representan el hidrógeno, metilo, propilo u otra cadena alifática corta mientras que R3 representa algún grupo aromático tal como fenol, naftaleno u otro anillo cíclico hidrocarbonado (Fig. 12) (Loewy, 2000).

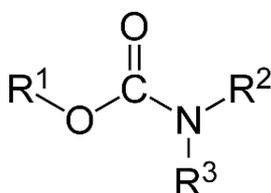


Figura 12. Estructura química carbamato (Loewy, 2000).

Con respecto a sus propiedades físicas y químicas se degradan con relativa rapidez en el medio ambiente y tienen una limitada acción residual. Su solubilidad también es limitada, aunque mucho mayor que la de los organoclorados (Loewy, 2000).

Carbaril

Es un producto químico (Fig. 13) con principio activo insecticida pero utilizado como raleador químico en frutales de pepita cuando es aplicado a continuación

de la floración. El raleo químico es una práctica clave para la producción de fruta de pepita de calidad y en nuestra región, el carbaril es el principal raleador utilizado en manzanos (Curretti et al., 2017; Curretti al et., 2020).

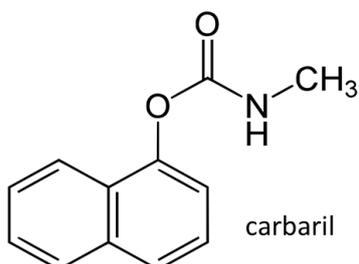


Figura 13. Estructura química carbaril (Loewy, 2000).

6.4.2. Propiedades físico químicas

Es posible identificar para los distintos plaguicidas una serie de propiedades fisicoquímicas que permiten caracterizar su comportamiento una vez liberados al ambiente. Según Anguiano et al. (2011) se pueden mencionar las siguientes:

Volatilidad: Representa la tendencia del plaguicida a pasar a la fase gaseosa, desde otro compartimiento ambiental (agua, suelo húmedo). Esta característica se mide a través de la constante de Henry (K_H), que mide la distribución del producto entre la fase gaseosa y el agua, depende de la temperatura, se expresa por medio de la ecuación:

$$K_H = \frac{P_V}{S_W}$$

K_H : Constante de Henry ($ML^2T^{-2}N^{-1}$)

P_V : Presión de vapor ($ML^{-1}T^{-2}$)

S_W : Solubilidad en agua (NL^{-3})

Solubilidad en agua: Es la máxima cantidad de plaguicida que será capaz de disolverse en una cantidad conocida de agua. Cuanto mayor es la solubilidad del plaguicida en el agua mayor es su potencial de movilidad en el medio ambiente. Por lo general, se admite que una solubilidad mayor que 30 ppm (mg/L) implica un riesgo potencial de que el plaguicida alcance el agua subterránea. Los

organofosforados (OFs) son poco móviles y los carbamatos tienen movilidad intermedia.

Hidrofobicidad: Un criterio que ha sido empleado en la estimación del comportamiento medioambiental es el coeficiente K_{ow} que representa el coeficiente de partición de un compuesto en el sistema octanol-agua. Depende de la temperatura y puede ser considerado como una medida de hidrofobicidad. Se expresa por medio de la ecuación:

$$K_{ow} = \frac{C_o}{C_w}$$

K_{ow} : Coeficiente de Partición octanol-agua (adimensional)

C_o : Concentración en octanol (ML^{-3})

C_w : Concentración en agua (ML^{-3})

Se considera que aquellos plaguicidas con un $\log K_{ow} < 3$ no son solubles en grasas y aquellos con $\log K_{ow} > 4$ sí lo son.

Persistencia: Es definida como la tendencia de un determinado compuesto a conservar su integridad molecular, sus características químicas, físicas y funcionales en el medio a través del cual es transportado y distribuido una vez introducido en el ambiente.

Cuando un plaguicida resiste los procesos de degradación química, hidrólisis, fotólisis y transformación microbiana, será muy persistente y tendrá un alto potencial para contaminar alguno de los compartimentos ambientales.

La velocidad de degradación se expresa en términos de vida media ($t_{1/2}$) y se define como el tiempo requerido para que la concentración inicial del producto se reduzca a la mitad. Los plaguicidas con mayor vida media son altamente persistentes en el ambiente y con mayor potencial de lixiviación.

Adsorción: Es definida como la interacción del plaguicida (adsorbato) con la superficie de partículas del suelo (adsorbente), es considerada como el proceso

más importante en la atenuación del movimiento de compuestos químicos a través del suelo. Las moléculas de plaguicidas pueden ser retenidas por la fracción coloidal del suelo tales como arcilla y materia orgánica.

La adherencia de un compuesto orgánico a las partículas del suelo, se lo mide a través del coeficiente de distribución (K_d), definido como la razón de la concentración del plaguicida en el suelo (C_s) y su concentración en el agua (C_w) una vez alcanzado el equilibrio, se lo expresa por medio de la ecuación:

$$K_d = \frac{C_s}{C_w}$$

K_d : Coeficiente de distribución (adimensional)

C_s : Concentración en suelo (ML^{-3})

C_w : Concentración en agua (ML^{-3})

Un valor bajo del coeficiente indica que una fracción elevada del plaguicida se encuentra en solución, un valor alto indica una fuerte adsorción al suelo.

Los K_d pueden ser normalizados en base al contenido de materia orgánica del suelo, obteniéndose así la constante de adsorción al carbono orgánico (K_{oc}), aplicable a todo tipo de suelo. Se la expresa de la siguiente manera:

$$K_{oc} = \frac{K_d}{co}$$

K_{oc} : Constante de adsorción al carbono orgánico (L^3M^{-1})

K_d : Coeficiente de distribución (L^3M^{-1})

co : Carbono orgánico (%)

El K_{oc} es útil para plaguicidas no ionizables, que se adsorben directamente sobre la materia orgánica del suelo.

6.4.3. Dinámica de los plaguicidas en el ambiente

El uso y la forma de aplicación de los plaguicidas en la actividad frutícola de la región del Alto Valle implican una amenaza para el medio ambiente. De acuerdo

a Miglioranza (2021) el mayor riesgo del uso de plaguicidas es la contaminación ambiental, especialmente la dinámica dentro del medio ambiente, donde los plaguicidas pueden ingresar tanto a las cadenas alimenticias como a los sistemas naturales de agua.

Una vez que los plaguicidas son aplicados en forma aérea o terrestre, los procesos de transporte que determinan la redistribución del plaguicida y/o sus metabolitos, productos de degradación, incluyen movimientos de aire (deriva) y de agua (percolación y escurrimiento superficial) (Anguiano et al., 2005).

El comportamiento de los contaminantes en el ambiente depende de las características físicas y químicas de los compuestos, tales como la densidad, solubilidad, polaridad, y de las características del medio como factores climatológicos (temperatura, vientos, humedad y precipitaciones), tipo de suelo (permeabilidad, estructura, tamaño de partículas, contenido de humedad y de materia orgánica), presencia o no de cobertura vegetal (Miglioranza, 2021).

Una vez que alcanzan el suelo, los contaminantes pueden sufrir diferentes procesos de transformación y transporte como sorción, hidrólisis, fotólisis, envejecimiento, transformación química y biológica, lixiviación, escorrentía, volatilización (Fig. 14).

Sorción: Es el proceso por el cual un compuesto en solución interacciona con un sólido. Incluye a los procesos de **absorción**, entrada del plaguicida a la matriz del suelo y **adsorción**, unión del plaguicida a las partículas de suelo.

La sorción de un contaminante en suelo o sedimentos restringe su movilidad hacia el agua subterránea y su disponibilidad para ser asimilado por los organismos.

Lixiviación: Este proceso involucra el movimiento de un compuesto químico hacia capas profundas a través del suelo o sedimentos, pudiendo alcanzar el agua subterránea.

Volatilización: Es el proceso por el cual existe un cambio físico de una fase líquida o sólida a una fase gaseosa. Este hecho implica la posibilidad que los contaminantes alcancen la atmósfera y puedan transportarse a través de ella.

Descomposición: Proceso por el cual los contaminantes pueden degradarse (transformación de la estructura química) en el suelo, sedimentos, o biota. Existen en general seis reacciones abióticas que pueden ocurrir: hidrólisis, fotólisis, sustitución, eliminación, oxidación y reducción.

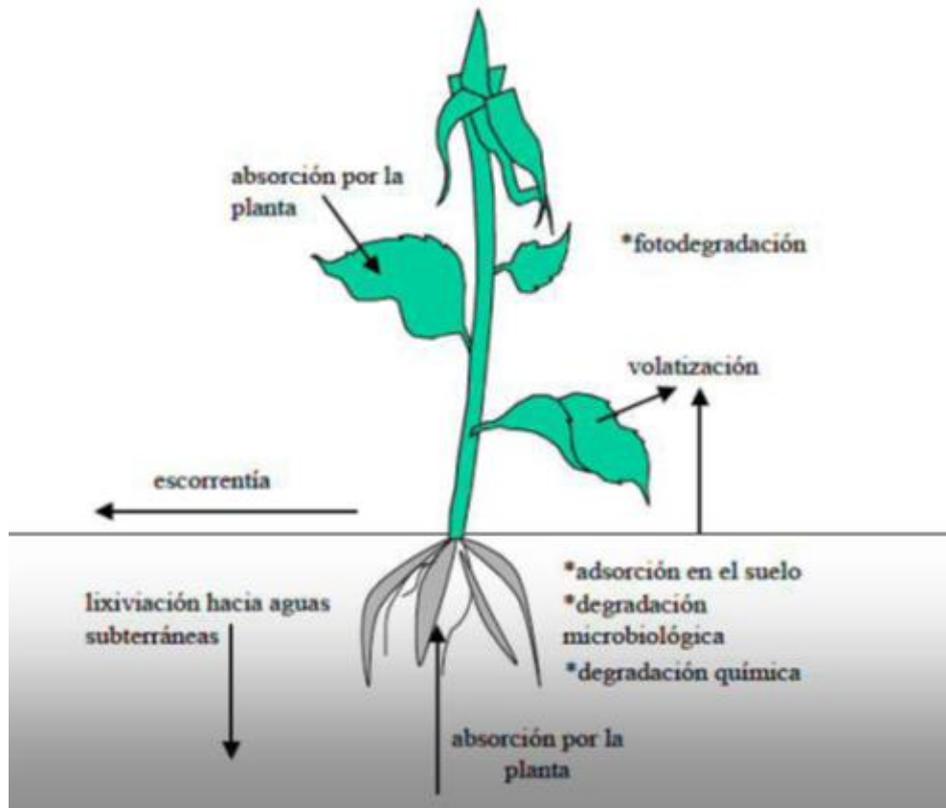


Figura 14. Procesos que afectan el destino de los contaminantes en el medio ambiente (Malato Rodríguez et al., 2001).

6.4.4. Uso de plaguicidas en diferentes periodos del Alto Valle

El desarrollo de la fruticultura en la región del Alto Valle va acompañada con la aparición de plagas y enfermedades y el uso de agroquímicos para su respectivo control. Según manifiesta Magdalena (2010), los primeros controles de insectos y enfermedades en fruticultura de pepita, durante las primeras décadas del siglo XX era combinando métodos físicos (poda, cepillado de troncos, envoltura de frutos con bolsas de papel sulfito) y métodos químicos con pulverizaciones de compuestos inorgánicos como sulfurados, arsenicales, fluorados y aceites.

Los tratamientos de control, estuvieron focalizados principalmente a *Cydia pomonella* (L.) (carpocapsa), considerada plaga clave en la región (Fig. 15).

Asimismo, Fernández (2012) destaca como importante que a partir del año 1929 se creó el Servicio de Alarma de *Cydia pomonella* (L.) con el objeto de definir el momento oportuno de control de la primera generación de la plaga ya que, arrojaba excelentes resultados en la mitigación de los daños de la plaga.



Figura 15. *Cydia pomonella* (L.), plaga clave de los frutales de pepita en la región del Alto Valle (Fuente: EEA INTA Alto Valle).

En la década del 40, aparece el DDT como alternativa de control para carpocapsa y otros organismos plaga (Cichón, 2013). A partir de los inconvenientes que producían los organoclorados en el ambiente y las cadenas tróficas, se produce otro cambio importante en la fruticultura del Alto Valle y desde 1970 se empieza a utilizar el paratión para el control y se prohíbe el uso de DDT (Zunino, 2012).

A raíz de los inconvenientes que producía el control de las plagas, Vermeulen et al. (1989) plantean para el control de carpocapsa, el Sistema de Alarma Termoacumulativo, dejando atrás al antiguo sistema de tarjetas, que incluye el uso de trampas de feromona para capturas de la especie y un modelo fenológico basado a la acumulación de grados días, con el fin de realizar el momento oportuno del tratamiento químico.

A partir de la década del '80 e inicios de los '90, se emplearon en forma masiva insecticidas pertenecientes a la familia de los piretroides. Este uso indiscriminado y reiterativo, de 8 a 11 pulverizaciones por temporada, provocó diferentes efectos

secundarios sobre las plagas (resistencia a los plaguicidas) y fallas en el control de carpocapsa (Cichón, 2012). Por ello, se cambió el principio activo a un organofosforado, el metil azinfos, con similar número de aplicaciones (Cichón, 2013).

A raíz de estos problemas, se comienza a introducir gradualmente el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP), que consiste en el empleo de todos los medios de control disponibles, tales como culturales, mecánicos, físicos, etiológicos, biológicos, químicos y legales, de manera complementaria y eficiente.

Durante cinco temporadas 2006-2011, se implementa el Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa (PNSC) en el control de la plaga clave de los frutales de pepita, se generalizó el uso de una estrategia de manejo de plagas, con reducción en el número de aplicaciones de insecticidas y con el empleo de la Técnica de Confusión Sexual (TCS) (Cichón, 2012).

Actualmente el manejo sanitario, especialmente el de carpocapsa, en monte convencional es llevado a cabo con la Técnica de Confusión Sexual (TCS) y con insecticidas de síntesis, mientras que la producción orgánica se emplea los bioinsecticidas, las prácticas culturales y agentes de control biológico (Cichón et al., 2019).

6.4.5. Equipamiento de aplicación

Desde sus inicios, el desarrollo frutícola estuvo acompañado con el empleo de equipamientos para el control de plagas. Es así que Zunino (2012) describe que en 1928 se comienzan a usar equipos de pulverizaciones con manguera con tracción a sangre.

Magdalena et al. (2013) mencionan que en los comienzos de la fruticultura las bombas para pulverizar eran operadas por los trabajadores con pequeños tanques transportados a mano o en chatas tiradas por caballos. Con la evolución de la tecnología a partir de la década del '50 comenzó la incorporación de tractores y pulverizadora a manguera. A partir de la década del '60 se incorpora

el sistema de levante hidráulico de tres puntos y el uso de máquinas accionadas por la toma de fuerza. El reemplazo de las pulverizadoras a manguera por las nuevas con turbina significó un profundo cambio tecnológico en la fruticultura.

Actualmente los métodos de control químico se realizan a través de una pulverizadora hidroneumática tradicional para cultivos frutícolas, traccionada por un tractor agrícola (Fig. 16).



Figura 16. Máquina pulverizadora traccionada por tractor agrícola.

En la fruticultura de la Norpatagonia se utilizan en forma casi excluyente los pulverizadores hidroneumáticos, con un único ventilador de flujo axial colocado en la parte posterior de la máquina (Magdalena, 2004). Estos equipos han demostrado ser ineficientes, lo que se traduce en una aplicación desuniforme con exceso de agroquímico en la parte baja y externa de los árboles y con subaplicación en los sectores altos e internos de los mismos.

Coincidiendo con las pérdidas de la aplicación química, Anguiano et al. (2005) mencionan que, en los tratamientos químicos realizados durante el ciclo productivo una parte de la pulverización se pierde por deriva. Este fenómeno genera que los plaguicidas sean aerotransportados, es decir, arrastrados por el

viento fuera de la zona de aplicación y cuanto más viento haya más lejos pueden ser transportados.

La deriva es definida como el movimiento del producto en el aire durante y después de la aplicación, dentro y fuera del lugar de aplicación, sin implicar necesariamente cambios de estado. En consecuencia, el agroquímico no alcanza el objetivo y contamina el ambiente (Villalba et al., 2010).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Descripción del área de estudio

En la margen izquierda del río Neuquén, entre las localidades de Cinco Saltos y Cipolletti se desarrolla una zona agrícola de frutales de pepita, de aproximadamente 30 km de largo y 3 km de ancho. Esta zona se divide en áreas menores delimitadas por infraestructuras de riego y drenaje que presenta una disposición en forma de espinas de pescado desde la zona de bardas hasta el río, siguiendo las curvas de nivel del terreno natural.

El área agrícola donde se aborda este estudio denominada “Puente la S”, comprende aproximadamente 300 ha con plantaciones de frutales de pepita y carozo bajo el método de riego por inundación. Está delimitada entre dos desagües colectores que interceptan y recolectan excedentes de agua de riego y/o precipitaciones. Al norte se ubica el Desagüe Colector D16 y al sur el Desagüe Colector D18 (Fig. 17).

En el área agrícola, se seleccionó una unidad productiva (lugar de estudio) de 5 ha aproximadamente, con cultivos de frutales de manzanas y peras, trabajadas en forma convencional y con una edad productiva de más de 60 años.

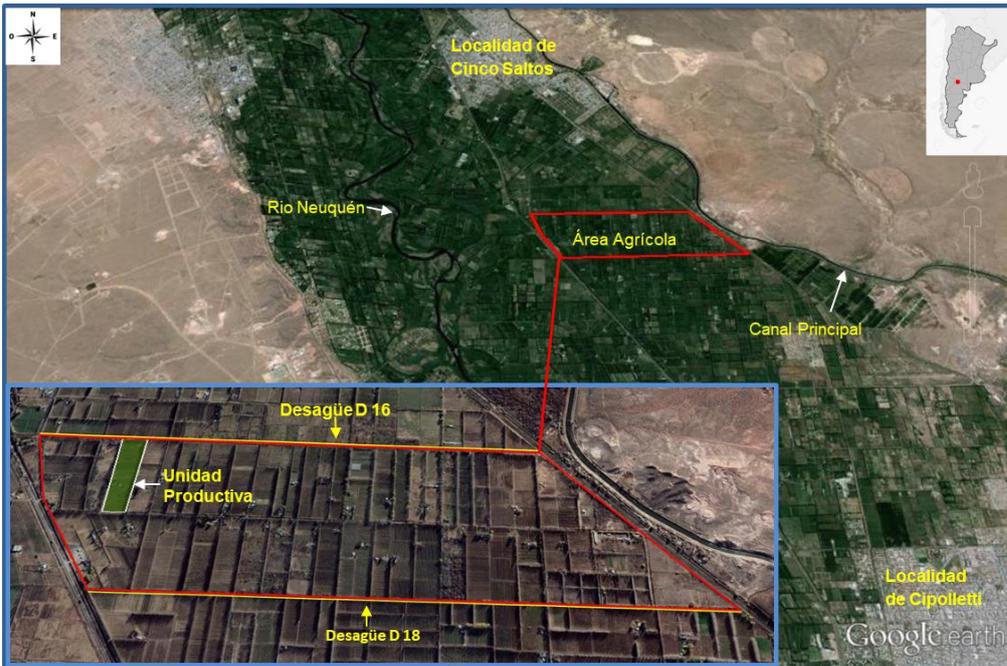


Figura 17. Localización del área agrícola ("Puente la S") y de la unidad productiva en estudio en la región del Alto Valle (Imagen: Google Earth, 2018).

7.1.1. Sistema de riego y drenaje de la unidad productiva

El abastecimiento del riego de la parcela de estudio se realiza a través de una acequia que presenta una toma directa en el canal terciario, ubicado en el límite norte de la unidad productiva. A partir de la acequia que se orienta de norte a sur sobre la cabecera de los cuadros frutales, se deriva el agua de riego que inunda los módulos de riego (melgas) (Fig. 18).



Figura 18. Conducción y distribución del agua de riego (Imagen: Google Earth, 2018).

El método tradicional de riego empleado es por melgas, donde la superficie del terreno en estudio presenta una nivelación en sentido transversal y una pendiente leve del 1% en dirección longitudinal. Los módulos de riego del sitio presentan una superficie de 5 metros de ancho y 100 metros de longitud, delimitadas con dos bordos paralelos que tienen una altura de 0,30 metros y un ancho variable de 0,50 metros (Fig. 19).

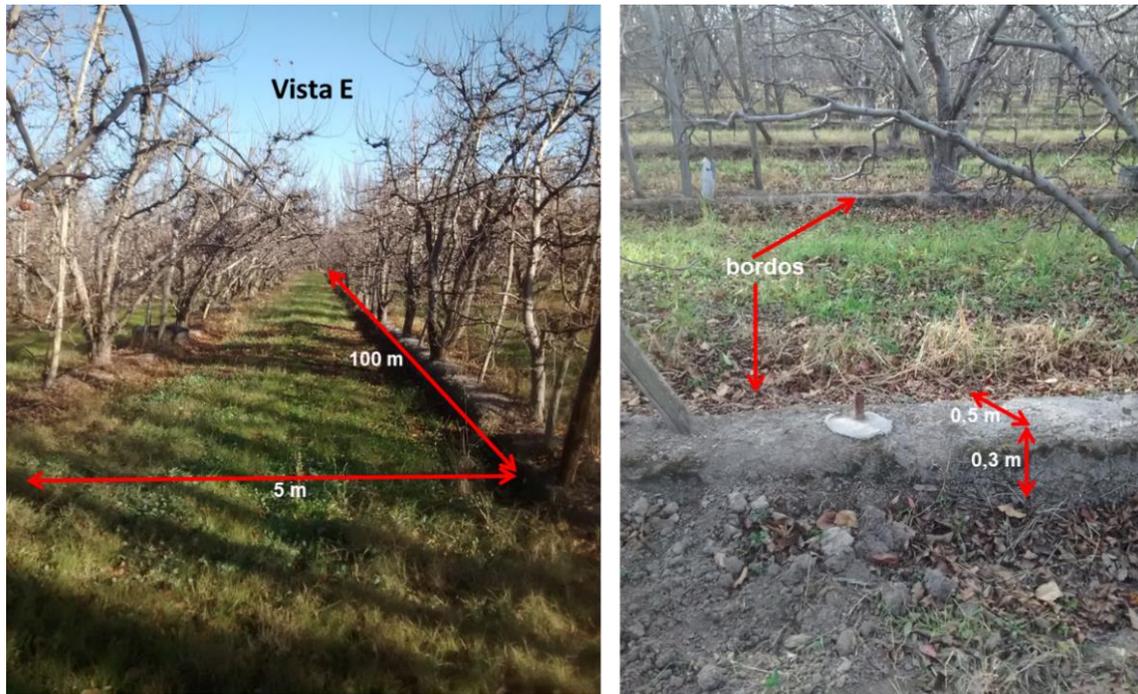


Figura 19. Módulo de riego de la parcela de estudio.

La operación de riego en la parcela de estudio se inicia con la apertura de boquetes desde la acequia ubicada en la cabecera de la superficie de frutales. Una vez completado el tiempo de avance del agua se procede a cerrar los boquetes de la acequia, quedando totalmente la melga cubierta por una lámina de agua que supera una altura de 20 cm (Fig. 20).



Figura 20. (a) Aberturas de boquetes; (b) Lámina de agua de riego (terreno inundado).

Al pie del cuadro frutal (extremo final del módulo de riego) presenta un desagüe a cielo abierto en dirección transversal al sentido de riego que se encuentra lo suficientemente profundo para no afectar el cultivo de frutales. El funcionamiento del mismo permite eliminar el exceso de agua ante riegos prolongados, deprimiendo el nivel freático y mejorando la exploración radicular (Fig. 21).



Figura 21. Desagüe a cielo abierto.

7.1.2. Acuífero libre

La unidad de estudio presenta en el subsuelo un acuífero libre y por encima una porción de suelo no saturado, a través del cual circula el agua por los efectos de la gravedad.

El nivel de la freática no tiene una posición fija, presenta fluctuaciones a lo largo del año en función principalmente de los aportes que realiza el riego por inundación, ya que las precipitaciones de primavera–verano son eventuales, dadas las características áridas de la región del Alto Valle.

Las fluctuaciones de la freática se desarrollan prácticamente en la totalidad de la unidad productiva, oscilaron entre 0,70 m y 1,20 m de profundidad, la elevación más significativa se produce al comienzo del ciclo productivo, desde septiembre hasta diciembre, donde el acuífero recibe una recarga importante con los aportes de riego por inundación.

7.2. Componentes de la Unidad Productiva

7.2.1. Producción vegetal

La unidad productiva está constituida por frutales de pepita de diversas variedades. En manzanas se encuentran Red Delicious y Granny Smith y en peras William's y Packam's. La superficie de árboles frutales se disponen en filas con una orientación de oeste-este y un sistema de conducción en forma tradicional y en espaldera.

El trabajo se abordó en el interfilar (superficie entre dos filas de árboles frutales) de las variedades de Red Delicious y Granny Smith, cuyo marco de plantación es 5 m entre filas y 4 m entre plantas, ya que los árboles frutales alcanzan un importante porte (Fig. 22).

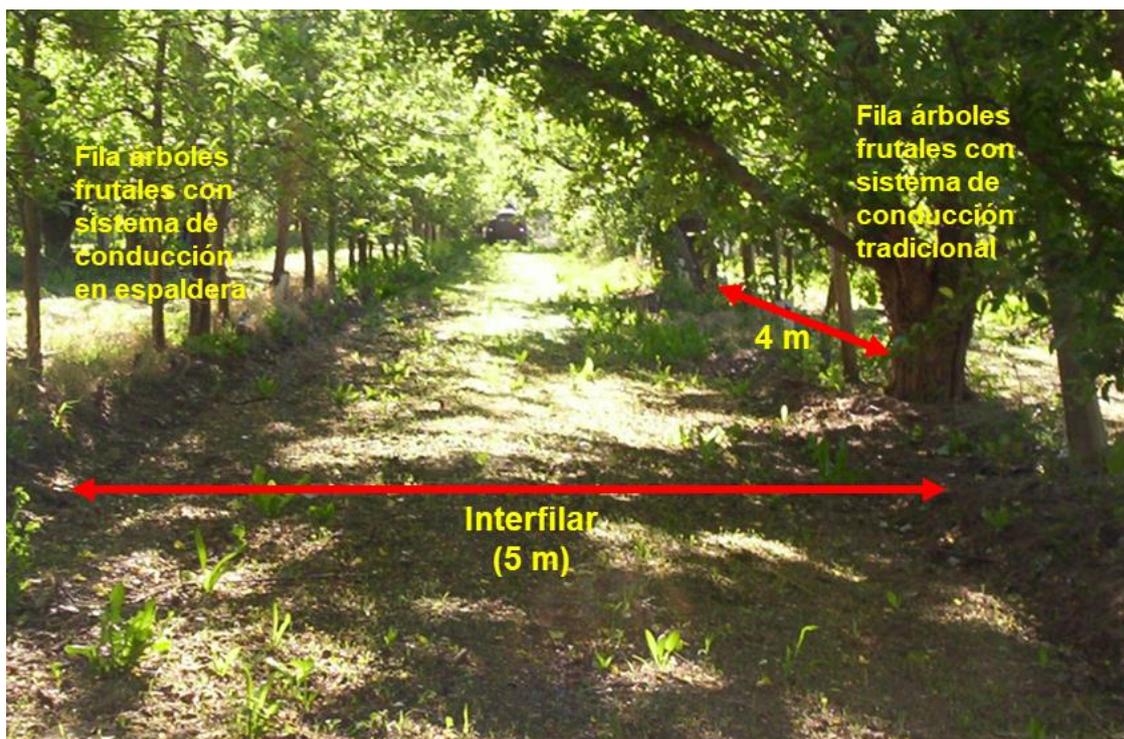


Figura 22. Sistema de conducción tradicional y espaldera con frutales de manzano variedad Red Delicious y Granny Smith.

7.2.2. Descripciones morfológicas del perfil de suelo

Se seleccionó en forma aleatoria un interfilar ubicado en la parte central de la parcela donde se realizó una calicata para visualizar y examinar el perfil del suelo. Para la caracterización del suelo se utilizó la guía para la descripción de perfiles de suelos de FAO (2009).

El procedimiento consistió en realizar una excavación desde la superficie del terreno con una profundidad aproximada de 1.5 metros, luego se abrió un hueco de 1 metro de ancho por 2 metros de largo logrando formar paredes rectas. Una vez finalizado la excavación se procedió a pulir la superficie del perfil con un cuchillo y determinar los horizontes y/o capas presentes, se observó en forma detallada los cambios que se producen en las características morfológicas macroscópicas tales como, horizontes dominantes, espesor de cada horizonte, color, estructura, clase textural al tacto, desarrollo de raíces y presencia de carbonato de calcio (CaCO_3) (Fig. 23).



Figura 23. Perfil del suelo de la unidad productiva.

7.2.2.1. Determinación de capas duras

Para determinar la presencia de capas duras en profundidad y ante un suelo muy húmedo en la calicata difícil de excavar por la proximidad a la napa freática, se procedió a realizar un método de sondeo con una varilla de hierro acerado en forma de **T** de 8 milímetros de espesor con una longitud de 2 metros apoyado.

El procedimiento consistió en apoyar la varilla en el fondo del terreno de la calicata, donde luego con el peso del cuerpo de una persona se presionó desde la parte superior y se introdujo a lo largo del perfil del suelo hasta detenerse por la presencia de algún impedimento durante su avance. A continuación, se realizó la medición de la profundidad desde el nivel superior del terreno hasta la capa endurecida. La operación se repitió en varios lugares en el fondo de la calicata (Fig. 24).



Figura 24. (a) Varilla de hierro acerado en forma de T; (b) Extremo de la varilla apoyada en el fondo de la calicata; (c) Presión en el extremo superior de la varilla; (d) Medición de la capa dura desde la parte superior del terreno.

7.2.2.2. Toma de muestra

Una vez definido las profundidades de cada horizonte del perfil del suelo se realiza la toma de muestra comenzando desde el horizonte inferior y continuando hacia arriba. Se procede a extraer con una pala tres repeticiones de suelo por cada horizonte definido con el objetivo de obtener una muestra compuesta de 2 kg aproximadamente. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de material

plástico, se rotularon inmediatamente y se trasladaron al laboratorio para efectuar su posterior análisis físico-químico.

Las muestras para el análisis fueron secadas al aire a menos de 30°C, molida y tamizada por malla de 2 mm. A continuación, se mencionan cada una de las determinaciones realizadas en laboratorio.

- Análisis granulométrico, método de Bouyoucos (1927).
- pH, método potenciómetro (Bates, 1954).
- Materia orgánica (MO), método de Walkley & Black, (1934).
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), suma total de los cationes intercambiables del suelo
- Conductividad eléctrica (CE), (U.S.S.L., Staff, 1954)
- Carbonato orgánico (CO), se empleó el factor de Van Bemmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono.

7.3. Plaguicidas del control químico

Las aplicaciones de los plaguicidas se efectuaron mediante una pulverizadora hidroneumática con tanque de 2000 L impulsada por un tractor agrícola (Fig. 25) y la elección de los mismos fue diseñada e implementada conjuntamente entre el productor y la empresa frutícola integrada, ya que están sujetos a las exigencias de sanidad y calidad de los países compradores de manzanas y peras.



Figura 25. Equipo pulverizador hidroneumático.

Los plaguicidas seleccionados en primera generación de carpocapsa durante el ciclo productivo son clorpirifos, metidation y carbaril (Tabla 1). Además, se consideró la dosis adecuada del producto químico, tiempo de carencia, tolerancias de residuos según la accesibilidad de los frutos al mercado final y condiciones climáticas.

Tabla 1. Plaguicidas utilizados en el control químico durante el desarrollo de primera generación de carpocapsa.

Productos	Principio activo	Formulación	Dosis (gr/hl)	Aplicación pulverizadora (gr/ha)	Formulados (%)
CARBARYL	Carbarilo	Polvo mojable	120	2400	85
LORSBAN 75	Clorpirifos	Polvo mojable	87	1740	75
SUPRACID	Metidation	Líquido concentrado	100	2000	40

Los tratamientos químicos fueron realizados en el momento oportuno, según el sistema de alarma termo acumulativo o carpogrados.

7.3.1. Determinación de la pérdida de plaguicidas por deriva y escurrimiento

Las pulverizaciones de los plaguicidas se desarrollaron bajo condiciones propias de manejo del monte de frutal. El plaguicida se distribuye y se deposita por toda la canopia de los árboles frutales pero cierta cantidad se pierde por deriva directa, evaporación y a través del escurrimiento superficial de los árboles frutales y malezas, logrando alcanzar el suelo (Fig. 26).



Figura 26. a) Pérdida de plaguicida por deriva y evaporación; b) Pérdida de plaguicida por escurrimiento en el follaje.

Para el experimento, es necesario determinar la cantidad de plaguicida que llega al suelo y se deposita sobre la superficie del lisímetro al momento de la aplicación. Se procedió a colocar 6 placas de Petri abiertas, sobre la superficie del terreno del interfilas alrededor del lisímetro (Fig. 27). El producto que se pierde por deriva y escurrimiento se depositó en forma lenta sobre las placas de Petri, cuya superficie de intercepción es de $0,006362 \text{ m}^2$.



Figura 27. a y b) Disposición de las cajas de Petri al momento de la aplicación de plaguicidas para control de carpocapsa.

Luego de transcurrido un lapso de tiempo de 10 minutos aproximadamente, fueron tapadas y llevadas de inmediato al laboratorio para realizar la extracción del producto interceptado. Este fue extraído por sucesivos enjuagues con cloruro

de metileno y luego cuantificado por cromatografía gaseosa con detector NPD y MS (GC Agilent 6890).

Las concentraciones obtenidas fueron multiplicadas por la superficie del lisímetro, que consta de 0,28 m², con el objetivo de obtener la masa de cada uno de los plaguicidas.

7.3.2. Índice de lixiviación

Con respecto a los distintos comportamientos que puedan expresar los plaguicidas en cuanto a las propiedades del suelo, aplicación del riego y manejo cultural de los árboles frutales, se consideró evaluar el riesgo potencial de contaminación del agua subterránea poco profunda, mediante un índice de riesgo ambiental de uso internacional.

Para cada principio activo de los plaguicidas, se examinaron sus propiedades según la Pesticide Properties Data Base (PPBD, 2015) y se calcularon los índices de impacto en aguas subterráneas según el GUS (Groundwater Ubiquity Score) (Gustafson, 1989), cuyos parámetros se establecen por medio del coeficiente de adsorción del contenido de carbono orgánico del suelo (K_{oc}) y la vida media de los plaguicidas ($t_{1/2}$). Por su capacidad de movilidad en el suelo los plaguicidas se clasifican de la siguiente manera según el índice GUS (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los plaguicidas en base al índice GUS (Gustafson, 1989).

Índice GUS	Clasificación
> 2,8	Lixiviables
2,8 – 1,8	De transición
< 1,8	No lixiviables

El índice de GUS se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$GUS = \log t_{\frac{1}{2}} (4 - \log K_{oc})$$

GUS: índice de lixiviación

$t_{1/2}$: vida media del plaguicida en suelo (días)

K_{oc} : coeficiente de adsorción al contenido de carbono orgánico del suelo (cm³/g)

7.3.3. Determinación de plaguicidas en el agua superficial

Se evaluó la posible presencia de plaguicidas que puedan circular en el agua superficial del canal de riego terciario. El sitio de muestreo fue elegido de forma dirigida, tratando de cubrir el ingreso del agua a la unidad productiva.

7.3.3.1. Agua de riego

Los muestreos desarrollados en el canal de riego terciario fueron en forma manual, a través de botellas de 1 litro de color caramelo previamente esterilizadas. Al momento del muestreo se destapó el envase y se enjuagó con el agua a examinar, luego se procedió a sumergirlo por completo a una profundidad de 30 cm para permitir su llenado (Fig. 28).

A continuación, una vez lleno se lo retiró, tapó de inmediato, rotuló y conservó en heladera a 4 °C para ser transportado al laboratorio y realizar su análisis por el método de Extracción en Fase Sólida (SPE) y cuantificación por cromatografía gaseosa con detector NPD y MS (GC Agilent 6890). Los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC) son 0,02 µg/L y 0,06 µg/L respectivamente, para los plaguicidas organofosforados en general. En el caso de carbamatos LD: 0,10 µg/L y LC: 0,34 µg/L.

Los muestreos fueron realizados en simultaneo con los ensayos de los lisímetros y con los muestreos del agua subterránea proveniente de los freáticos.



Figura 28. Muestreo de agua en canal de riego terciario.

7.4. Recolección de lixiviados

7.4.1. Lisímetros

Durante la búsqueda bibliográfica al no hallar un diseño y una metodología de aplicación que hayan sido implementadas en investigaciones similares, en lo que se refiere a la evaluación de lixiviados de plaguicidas a través de un perfil de suelo agrícola, se estableció como necesidad crear un modelo que consta de un dispositivo de metal (lisímetro), una metodología de instalación y una operación de trabajo, a efectos de poder evaluar los lixiviados de plaguicidas que posiblemente se produzcan según las condiciones propias de manejo en un ciclo productivo de frutales de pepita.

Se utilizaron dos lisímetros colocados después de la aplicación de los plaguicidas para el control químico de primera generación de carpocapsa. El primer lisímetro (lisímetro 1) se instaló luego de las aplicaciones de carbaril y clorpirifos, mientras que el segundo lisímetro (lisímetro 2) fue colocado 10 días después de haber transcurrido los tratamientos mencionados y luego de realizar la aplicación de metidation.

Los lisímetros son de igual diseño y construcción, fueron ubicados en diferentes sitios de la superficie del interfilas en dirección oeste-este y distanciados a 50 metros uno del otro (Fig. 29).



Figura 29. Ubicación de los lisímetros.

7.4.1.1. Descripción

El lisímetro consiste en un cilindro metálico cuyo material de construcción es hierro, ya que es un material práctico y recomendable para soportar los golpes de percusión durante la instalación.

Las medidas del cilindro son de 1,2 mm de espesor, 0,6 m de diámetro y 0,4 m de altura desde la parte superior hasta la base. Las aberturas, superior e inferior se encuentran abiertas y el borde de la abertura de salida presenta un biselado para facilitar su hincamiento en el suelo (Fig. 30).

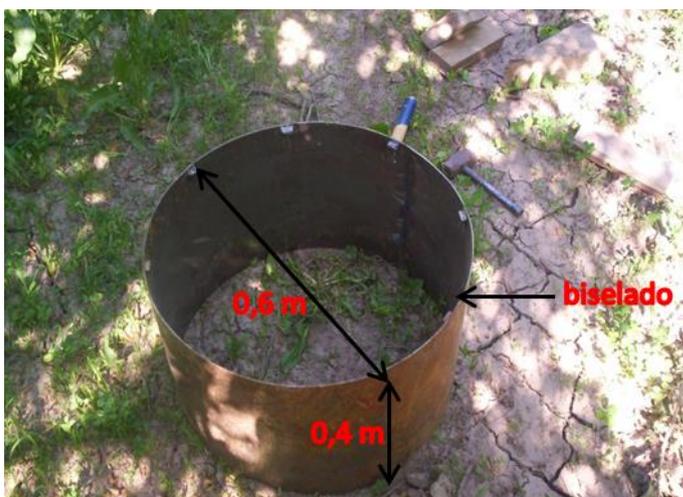


Figura 30. Detalles de las dimensiones del lisímetro.

El objetivo del mismo es permitir el ingreso de agua desde el extremo superior y recolectar en el extremo inferior mediante un recipiente plástico, el agua que percola a través del perfil del suelo sin disturbar.

7.4.1.2. Instalación

Los lisímetros se ubicaron en la superficie del interfililar de los árboles frutales de manzano (en condiciones naturales de campo), en posición vertical y con el extremo inferior biselado en contacto con la superficie del suelo (Fig. 31).



Figura 31. Ubicación del lisímetro en la superficie del interfililar.

La metodología de instalación es similar en ambos lisímetros, se realizó a través de golpes de percusión con una masa de 12 kg aproximadamente. Los golpes se realizan en forma suave y en diferentes posiciones del perímetro del cilindro, a efectos de no producir flexiones en el material y garantizar un hincamiento uniforme sin alterar la estructura y porosidad del suelo al momento de su colocación. La introducción finaliza cuando la abertura superior del lisímetro alcanza la superficie del terreno (Fig. 32).



Figura 32. a, b) Golpes de percusión e hincamiento del lisímetro; c) Vista lateral, introducción total del lisímetro; d) Vista frontal, introducción total del lisímetro.

A continuación, se procede con dos excavaciones laterales por fuera del lisímetro, en posiciones enfrentadas, hasta alcanzar la parte inferior. También se dejan dos porciones de suelo sin excavar, con la finalidad de brindar sujeción, estabilidad y evitar el deslizamiento del lisímetro. Inmediatamente se excava por debajo del mismo, dejando al descubierto su parte inferior y retirando gran cantidad de suelo para facilitar la colocación del receptor plástico de lixiviados (Fig. 33).



Figura 33. a) Excavación en los laterales del lisímetro; b) Vista frontal con excavación en ambos laterales y porción de suelo sin excavar sosteniendo el lisímetro; c) Excavación parte inferior del lisímetro; d) Excavación finalizada en su parte lateral e inferior.

7.4.2. Determinación del volumen de agua de riego del ensayo

El volumen de agua utilizado para simular el riego por inundación, se estimó mediante la superficie del lisímetro y la lámina de riego aplicada (que debe ser igual a la cantidad de agua a reponer en el suelo).

Según Requena (2015), para suelos con clase textural media debe realizarse un riego cuando el suelo contiene aún el 40% del agua disponible para las plantas. Por ello, se aplica una lámina aproximada de 110 mm (0,11 m), que se incorpora en cada riego para llevar el suelo a capacidad de campo (CC), antes de alcanzar el punto de marchitez permanente (PMP).

El volumen de agua riego se determinó en base a las dimensiones del lisímetro empleado en el campo (Fig. 34).

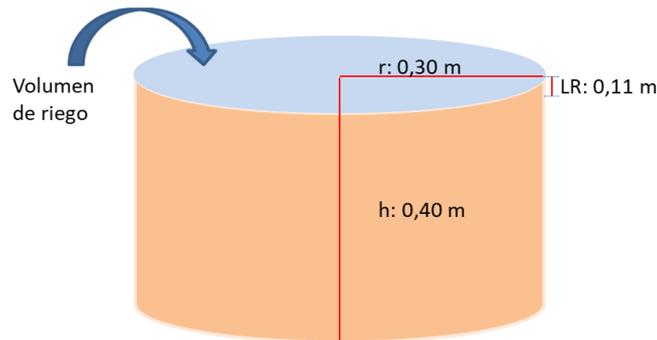


Figura 34. Dimensiones del lisímetro y lámina de riego.

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot 0,3^2 = 0,28m^2$$

$$V = A \cdot LR = 0,28m^2 \cdot 0,11m = 0,03m^3 = 30litros$$

Donde:

A: Área lisímetro (m²)

r: Radio (m)

V: Volumen de riego (m³)

LR: Lamina de riego (m)

Por lo expuesto, la práctica de riego simulada se realizó con un volumen de agua de 30 litros que fueron suficientes para cubrir el agua que circula libremente por macroporos a través de la acción de la gravedad y el agua útil retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

7.4.3. Determinación del volumen de agua percolada

Para determinar los volúmenes de agua percolada en la sección inferior del lisímetro fue indispensable establecer los intervalos de tiempo de muestreo.

Por ello, se llevó a cabo en el interfilar de la superficie de árboles frutales un ensayo de infiltración y percolación del agua, mediante el empleo de un anillo de metal con dimensiones de 0,4 metros de diámetro y 0,35 m de largo. El método de hincamiento del anillo y el cálculo de agua aplicada desde la parte superior, es similar al método realizado en la sección de lisímetro (Ver sección 7.4.1.2 y 7.4.2) (Fig. 35).

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot 0,2^2 = 0,125m^2$$

$$V = A \cdot L = 0,125m^2 \cdot 0,11m = 0,013m^3 = 13 \text{ litros}$$

Por lo tanto, se empleó para la simulación del evento de riego un volumen de agua de aproximadamente 13 litros.

A medida que el agua percolaba, se procedió a su recolección total y determinación del volumen a efectos de estimar la variación en el tiempo.



Figura 35. a) Instalación del anillo de infiltración b) Aplicación y recolección de agua.

7.4.4. Aplicación de la lámina de riego sobre el área del lisímetro

Una vez realizado el tratamiento de control químico correspondiente, se adicionó un volumen de agua de 30 litros (ya definido en el punto 7.4.2), se aplicó desde un recipiente plástico sobre la superficie del lisímetro en forma uniforme y controlada durante el ensayo (Fig. 36a).

En la operación se procura mantener una lámina de riego constante de 3 cm de espesor, simulando habitualmente la lámina de agua que presenta el riego por inundación sobre la superficie de los frutales (Fig. 36b). Se realizó un ensayo de riego controlado en el lisímetro 1 y otro en el lisímetro 2.



**Figura 36. a) Aplicación de un volumen de agua de 30 litros en forma uniforme y controlada
b) Lámina de riego de 3 cm de espesor.**

A continuación se describen los momentos de los dos ensayos de riego:

- El primer ensayo se realizó el 27 de octubre del 2013 una vez aplicado el carbaril para raleo de frutos y el clorpirifos para el control de carpocapsa.
- El segundo ensayo se llevó a cabo el 6 de noviembre del 2013 luego de transcurrir 10 días de las aplicaciones anteriores (carbaril y clorpirifos) y se completara la aplicación de metidation para el control de carpocapsa.

7.4.5. Recolección y muestreo de lixiviados a través del lisímetro

El procedimiento implementado para llevar a cabo la recolección de los lixiviados que se movilizan a través del lisímetro, consistió en colocar en la parte inferior del anillo una bolsa plástica de espesor resistente a roturas y de igual diámetro al lisímetro. Esta bolsa funciona como colectora de agua y evita el contacto del agua subterránea del entorno, a efectos de evitar contaminación de la muestra (Fig. 37).



Figura 37. a) Armado de bolsa plástica con diámetro similar al lisímetro; b) Colocación del colector de lixiviados en la parte inferior del lisímetro.

La toma de muestra de los lixiviados, se realizó a razón de tiempos prefijados de 30 minutos consecutivos hasta completar las 3 horas del procedimiento.

El primer tiempo de muestreo se inicia cuando el agua comienza a salir en la parte inferior del lisímetro, a medida que transcurre y finaliza el tiempo prefijado, se obtiene una determinada cantidad de lixiviados, se retiran y se continúa en forma sucesiva con el siguiente muestreo.

Los lixiviados recolectados en cada muestreo (contenidos en la bolsa plástica) fueron medidos volumétricamente y trasvasados a un recipiente (balde) donde se agita muy suavemente a fin de homogenizar la muestra. A continuación, desde el recipiente se procede a retirar con una probeta graduada un volumen total de 2 litros para ser trasvasados a dos botellas de vidrio color caramelo con capacidad volumétrica de un litro y conservadas a 4 °C, para garantizar una mínima alteración de la muestra, durante el transporte al laboratorio (Fig. 38). Este procedimiento se realizó por cada punto de muestreo en estudio. Las determinaciones analíticas de los lixiviados, se realizaron con los métodos descritos en la sección de agua de riego (Ver sección 7.3.3.1).

Los resultados analíticos obtenidos de la matriz acuosa de cada par de botellas por punto de muestreo, se promediaron con el fin de obtener una mayor representatividad.



Figura 38. a) Lixiviados interceptados por el colector plástico; b) Medición volumétrica de la muestra lixiviada al cabo de 30 minutos; c) Medición de un volumen mínimo de 2 litros d) Trasvase a botellas de vidrio color caramelo.

7.4.6. Muestreo de suelo

El procedimiento consistió en extraer las muestras de suelo en el interior del lisímetro una vez finalizado las aplicaciones químicas y los dos riegos controlados. La toma de muestra se realizó respetando las profundidades de cada horizonte definido y se inició desde el horizonte superior para continuar con el horizonte subyacente, las profundidades se extienden de 0-15 cm y 15-35 cm respectivamente.

En cada horizonte se procedió a extraer con una pala tres repeticiones de suelo en forma aleatoria con el objetivo de obtener una muestra compuesta de un peso de 2 kg aproximadamente (Fig. 39).

El suelo es recolectado en bolsas de plástico, se rotulan y se colocan en heladera a 4 °C para garantizar la correcta preservación de la muestra en su transporte hasta el laboratorio. Las muestras de suelo fueron tratadas por extracción con

ultrasonido en micro-columnas (SAESC). Los extractos fueron cuantificados por cromatografía gaseosa con detector NPD y MS (GC Agilent 6890).



Figura 39. A) Muestreo de suelo en el interior del lisímetro una vez concretado el tratamiento químico y los eventos de riego; b) Recolección de tres repeticiones de suelo por horizonte.

7.5. Variaciones del nivel freático y recolección de muestras

7.5.1. Freatímetros

En la superficie de los frutales de la parcela de estudio se instalaron tres freatímetros en posiciones representativas, con el fin de evaluar las variaciones de la freática y poder obtener las muestras de agua subterránea durante dos ciclos productivos comprendidos en los años 2013-2014 y 2014-2015. Los mismos fueron ubicados en dirección Norte-Sur distanciados a 100 metros uno del otro (Fig. 40) en las coordenadas mencionadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Coordenadas de los sitios con freatímetros.

Descripción	Coordenadas Geográficas WGS 84	
	Latitud	Longitud
Freatímetro 1	38°51'55.20"S	68° 3'03.10"O
Freatímetro 2	38°51'51.54"S	68° 3'03.30"O
Freatímetro 3	38°51'48.06"S	68° 3'03.34"O

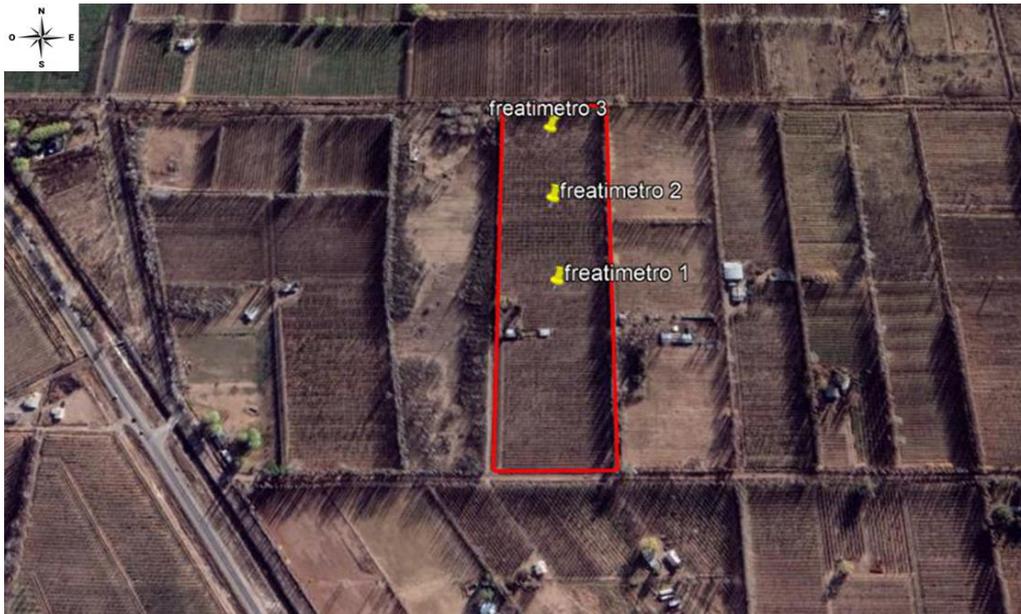


Figura 40. Ubicación y disposición lineal de los freaímetros.

7.5.1.1. Descripción

Los freaímetros instalados consisten en tubos de hierro de 2 m de longitud con un diámetro externo de 2 pulgadas. El extremo superior se encuentra abierto y el extremo inferior cerrado en forma de cono, con una punta aguda para permitir su hincamiento. Desde la parte media del tubo hasta su extremo inferior, se encuentra perforado lateralmente por orificios de 4 mm de diámetro, distanciados cada 10 cm aproximadamente con el fin de permitir el ingreso del agua proveniente de la freática.

7.5.1.2. Instalación

Los freaímetros se colocaron sobre el bordo de los frutales mediante golpes de percusión hasta alcanzar el nivel freático y dejar sobresaliendo por encima de la superficie del terreno 20 cm aproximadamente. Por último, para evitar filtraciones y escurrimientos entre la pared del caño y el perfil del suelo, se realizó una base de cemento alrededor del tubo de hierro (Fig. 41).



Figura 41. Freatímetro.

7.5.2. Determinación de plaguicidas en el agua subterránea de la unidad productiva

Se muestreó el agua subterránea contenida en los freáticos de la unidad productiva en un tiempo de dos ciclos productivos consecutivos. Al momento de tomar las muestras, se tomó como criterio que en la unidad productiva se haya realizado con anterioridad un riego por inundación o una precipitación estacional de gran consideración.

Para la toma de muestras se utilizó una bomba manual equipada con un mecanismo de inflador que funciona a presión generando vacío. Este proceso facilita succionar el agua subterránea a través de una manguera.

El procedimiento consiste en introducir una manguera de 0,5 cm de diámetro en el interior del freático hasta superar el nivel freático sin llegar al fondo, para evitar aspirar sedimentos. Luego se procede a succionar el agua a través del funcionamiento del inflador manual que trabaja en vacío produciendo presiones mayores a la atmosférica y logrando elevar el agua a la superficie del terreno. Se hace un leve enjuague de la botella con el agua a examinar y se procede al llenado completo (Fig. 42).

Una vez tomadas las muestras, las botellas fueron conservadas a 4°C y llevadas a laboratorio dentro de las 24 h de su extracción a fin de evitar producir alteraciones significativas. Las determinaciones analíticas de las muestras, es similar al método realizado en la sección de agua de riego (Ver sección 7.3.3.1).



Figura 42. Muestreo de agua subterránea en freáticos; a) Medición de la profundidad de la freática; b) Bomba manual con mecanismo de inflador.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Determinación de las características morfológicas y analíticas del perfil del suelo.

8.1.1. Características morfológicas del suelo

En la tabla 4 se presentan las descripciones cualitativas del perfil del suelo obtenidas en campo.

Tabla 4. Descripción morfológica del perfil del suelo.

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A ₁	0 - 15	Franco limoso; bloques sub-angulares, fino a medio, moderado; firme en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces abundantes muy fino y fino; limite difuso; no calcáreo.
A ₂	15 - 35	Franco arcillo limoso; bloques sub-angulares, medio a fino, moderado; firme en húmedo, adherente y plástico en mojado; raíces abundantes medio y grueso; limite difuso; ligeramente calcáreo.
AC	35 - 55	Franco limoso; bloque sub-angulares, medio a grueso, débil; firme en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces moderadamente pocas, medio y grueso; limite claro; calcáreo.
C ₁	55 - 75	Franco limoso; bloque angular, medio a grueso, débil; friable en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces muy pocas, muy grueso; limite claro; calcáreo.
C ₂	75 +	Franco limoso; bloque angular, medio a grueso, débil; friable en húmedo, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces muy pocas, muy grueso; limite claro; ligeramente calcáreo.

Con respecto a la clase textural (franco limoso y franco arcillo limoso) de los primeros horizontes en la parcela de estudio de la unidad productiva, podemos afirmar que son similares a las descripciones de los perfiles de suelos desarrollados por Storti (2008) en la misma área agrícola en estudio, donde advierte que el material originario es aluvial con una distribución en terrazas y con una acentuada dominancia de clases texturales medias finas en la zona de terraza aluvial subreciente.

Por otro lado, el método de sondeo con la varilla evidenció la existencia de una capa de piedras ubicada a una profundidad de 2,56 m desde la superficie del terreno, lo cual facilita la circulación del agua subterránea en dirección del drenaje a cielo abierto.

8.1.2. Determinaciones analíticas del perfil del suelo

Los horizontes del perfil del suelo en la parcela de estudio registraron valores analíticos que complementan y afirman los resultados obtenidos en la descripción morfológica del tipo de suelo (Tabla 5).

Tabla 5. Determinación analítica de cada horizonte del perfil del suelo.

Horizonte	A1	A2	AC	C1	C2
Profundidad (cm)	0-15	15-35	35-55	55-75	75+
% Arcilla (< 2 μ)	26,7	27,9	24,3	21,9	17,0
% Limo (2-50 μ)	53,4	57,1	57,1	57,1	60,7
% Arena (50-2000 μ)	19,8	15,0	18,6	21,0	22,3
Clase Textural	Fl	Fal	Fl	Fl	Fl
pH (extracto acuoso)	6,91	7,33	7,63	7,77	7,68
MO (%)	4,05	1,99	1,09	1,03	0,75
CIC (mol/kg)	32,9	29,2	24,7	26,4	24,7
CO ₃ Ca (%)	2,55	4,61	5,78	4,61	6,67
C.E (dS/m)	1,6	3,3	3,2	2,4	2,2
Carbono orgánico (%)	2,35	1,16	0,63	0,6	0,44



8.2 Ensayos preliminares

8.2.1. Volúmenes e intervalo de tiempo del agua percolada

Del ensayo realizado para definir los volúmenes y el intervalo de tiempo de percolación en los dos ensayos de riego, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Fig. 43, observando un mayor volumen de salida de agua en el primer y segundo intervalo de muestreo, que luego, disminuye en los siguientes muestreos sucesivos. El intervalo de tiempo de 0,5 h resultó más adecuado en la recolección de los volúmenes de agua percolada para los muestreos de los ensayos.

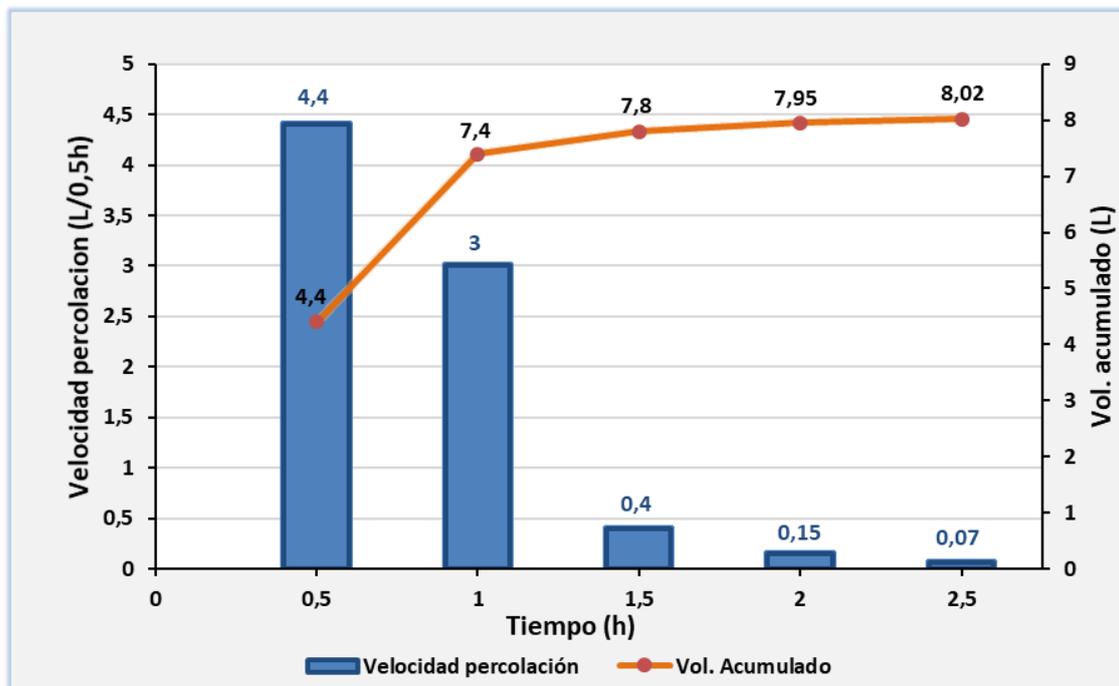


Figura 43. Volúmenes de agua recolectados durante el ensayo de percolación.

El tiempo inicial e intervalos de recolección de las muestras más adecuado, puede variar según las propiedades físicas del suelo y las condiciones de humedad inicial.

8.2.2. Plaguicidas depositados en el suelo durante la pulverización

La cantidad de plaguicida que se depositó sobre la superficie del lisímetro, durante el control químico con carbaril, clorpirifos y metidación, determinada mediante el ensayo de las placas de Petri, se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Masa total de plaguicidas depositados en la superficie del lisímetro (0,28m²).

Plaguicidas	Masa de plaguicidas sobre superficie del lisímetro (g)	Masa de plaguicidas sobre superficie de una hectarea de frutales (g/ha)
Clorpirifos	0,0048	171,42
Carbaril	0,0012	42,85
Meditation	0,003	107,14

Al comparar las dosis aplicadas de los plaguicidas en una hectárea de frutales (clorpirifos 87 g/hl, metidation 100 g/hl y carbaril 120 g/hl), con respecto a la masa de plaguicidas depositada sobre la superficie del terreno (tabla 6), se observan considerables diferencias.

Clorpirifos obtuvo mayor deposición de contaminantes sobre el suelo con respecto a su menor masa aplicada por hectárea (dosis). En contraste, con el efecto que producen carbaril y metidation.

Esta diferencia podría estar relacionado con el peso molecular de las partículas de los plaguicidas, posiblemente clorpirifos (350 gr/mol) por su mayor peso molecular resulto menos perjudicado por la deriva, entonces las gotas que lo transportan se mueven a distancias cortas y se depositan próximas al punto de pulverización, en comparación con las partículas de menor peso molecular como metidation (302 gr/mol) y carbaril (201 gr/mol) que probablemente cierta cantidad ha permanecido suspendido en el aire por más tiempo y transportado fuera del blanco objetivo.

También otros factores posiblemente podrían mostrar ciertas implicancias en la deposición de los plaguicidas al momento de efectuar la pulverización, tal como el uso del equipo de aplicación (diferente velocidad de desplazamiento, tamaño y transporte de la gota) aspectos meteorológicos (alta velocidad del viento,

horarios con altas temperaturas y baja humedad relativa, etc.) y la capacidad y conocimiento de los operarios al hacer el tratamiento de control químico.

8.3. Percolación y lixiviación

8.3.1. Percolación del agua de riego

Los resultados de la figura 44, señalan que durante los dos ensayos de riego sobre un total de 30 litros adicionados en cada uno de los lisímetros, mediante el riego por inundación, se han producido elevados volúmenes de percolación de aproximadamente 43,9% (13,18 L) en lisímetro 1 y 37,3% (11,21 L) en lisímetro 2 una vez concluidos los tiempos de 2 h y 3 h respectivamente. Al día siguiente el escaso volumen percolado no fue suficiente para extraer muestras para sus respectivos estudios, de igual modo el proceso de percolación continuó desarrollándose.

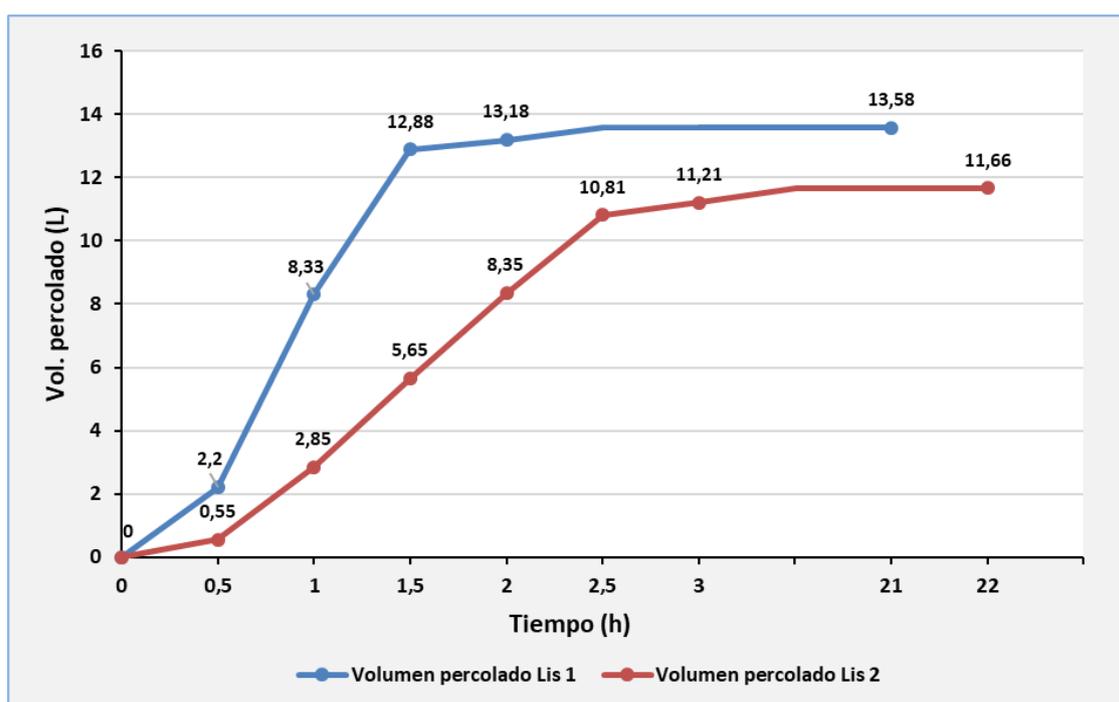


Figura 44. Percolación producida por un volumen de 30 L de agua aplicada por riego controlado en los lisímetro 1 (Lis 1) y lisímetro 2 (Lis 2).

8.3.1.1. Primer ensayo

A continuación, se presentan los resultados de la percolación medidos en el primer ensayo desarrollado en lisímetro 1, donde se realizaron cuatro intervalos de muestreo consecutivos de media hora y un intervalo de muestreo final

transcurridas las 21 horas, dado que el volumen de recolección a partir de este momento es insuficiente para la extracción de las muestras (Tabla 7).

Tabla 7. Percolación del primer ensayo.

Intervalo de muestreo	Duración del Intervalo (h)	Volumen percolado (L)	Velocidad de percolación(L/h)	Volumen acumulado (L)
Primero	0,5	2,2	4,4	2,2
Segundo	1	6,13	12,26	8,33
Tercero	1,5	4,55	9,1	12,88
Cuarto	2	0,3	0,6	13,18
Quinto	21	0,4	0,02	13.58

La percolación se produjo en forma acentuada en el inicio del proceso, con una alta velocidad percolación, luego disminuyó en forma notable en el tiempo. Posiblemente en este sitio, existan macroporos de mayor tamaño que favorecen la velocidad.

8.3.1.2. Segundo ensayo

En la tabla 8, se expresan los resultados de percolación durante el segundo ensayo desarrollado en lisímetro 2, se realizaron seis intervalos de muestreo en forma consecutiva cada 0,5 h y un último intervalo de muestreo transcurridas las 22 horas dado que el volumen de recolección a partir de este momento es insuficiente para la extracción de las muestras.

Tabla 8. Percolación del segundo ensayo.

Intervalo de muestreo	Duración del intervalo (h)	Volumen percolado (L)	Velocidad de percolación (L/h)	Volumen acumulado (L)
Primero	0,5	0,55	1,1	0,55
Segundo	1	2,3	4,6	2,85
Tercero	1,5	2,8	5,6	5,65

Cuarto	2	2,7	5,4	8,35
Quinto	2,5	2,46	4,92	10,81
Sexto	3	0,4	0,8	11,21
Séptimo	22	0,45	0,02	11,66

El tercer momento de muestreo presenta un dato de velocidad de percolación de 2,8 L/30min, durante el ensayo se produjo un desmoronamiento de suelo desde el lisímetro provocando un incremento de sedimentos en el agua percolada y como los mismos resultan sensible al instrumental de laboratorio, entonces se descartan aproximadamente dos litros de agua percolada. Por ello la determinación analítica se realizó en un volumen percolado de 0,8 L.

8.3.1.3. Análisis comparado en primer y segundo ensayo

Se observa que en el primer lisímetro se produjo una mayor velocidad de infiltración y percolación con respecto al segundo. A pesar de que, ambos sitios muestran cierta homogeneidad en la descripción visual de horizontes y texturas, la velocidad de percolación y el porcentaje total percolado señalan una diferencia en su comportamiento hidráulico con existencia de flujo preferencial más importante en el lisímetro 1.

Según estudios realizados por Dufilho et al. (2015), en suelos frutícolas de la región del Alto Valle, con diferentes clases texturales, confirman la presencia de flujo preferencial en los horizontes superiores.

A su vez, Latini et al. (2018) mencionan la existencia de una movilización rápida de agua a través del perfil del suelo, sugiriendo que los plaguicidas podrían transportarse rápidamente a través de grietas de desecación y macroporos, reportando la presencia de un transporte de flujo preferencial en el suelo. En el mismo sentido, El Imache et al. (2012), registraron variabilidad en la cantidad de agua percolada, sugiriendo que podrían deberse a las diferencias en el agrietamiento de la superficie o a la distribución de macroporos entre las

columnas del suelo que dieron como resultado diferentes cantidades de flujo preferencial.

8.3.2. Lixiviación de plaguicidas agrícolas

A continuación, se presentan los procesos de lixiviación de los plaguicidas carbaril, clorpirifos y metidation a través de dos ensayos (lisímetro 1 y lisímetro 2), mediante un plan de muestreo que se desarrolló forma consecutiva cada 30 minutos, donde cada punto en el gráfico representa el contenido medio porcentual de lixiviados de plaguicidas por intervalo de muestreo.

8.3.2.1. Primer ensayo

En la tabla 9 se muestran la recuperación de lixiviados en cada intervalo de muestreo de los plaguicidas carbaril y clorpirifos.

Tabla 9. Recuperación de lixiviados del primer ensayo.

Intervalo de muestreo	Plaguicidas	Concentración de lixiviados (ug/L)		Concentración promedio lixiviados (mg/L)	Volumen lixiviado (L)	Masa promedio total en volumen lixiviado (mg)	Masa total aplicada sobre lisímetro (mg)	Tasa de recuperación lixiviados (%)
		Duplicado 1	Duplicado 2					
Primero	Carbaril	6,53	6,83	0,0066	2,2	0,0146	1,21	1,22
Segundo		7	6,48	0,0067	6,13	0,0413		3,42
Tercero		6,74	5,9	0,0063	4,55	0,0287		2,38
Primero	Clorpirifos	0,79	0,9	0,0008	2,2	0,0018	4,827	0,04
Segundo		0,49	0,58	0,0005	6,13	0,0032		0,07
Tercero		0,41	0,34	0,0004	4,55	0,0018		0,04

Al comparar los valores de ambos plaguicidas vemos que la tasa de recuperación de lixiviados resultó relevante con carbaril, mientras que clorpirifos arrojó bajos porcentajes, debido posiblemente a la mayor retención en los horizontes del perfil del suelo.

Los siguientes gráficos expresan los procesos de lixiviación instantánea y acumulada durante el primer ensayo en lisímetro 1 (Fig. 45).

En la figura 45a, el proceso de lixiviación instantánea en el carbaril manifestó una curva similar al volumen del lixiviado, pero no fue así con la lixiviación del clorpirifos, donde la velocidad de lixiviación resulto diferente con el movimiento del volumen del lixiviado.

El lixiviado acumulado manifiesta un comportamiento diferente para carbaril y clorpirifos, se refleja una mayor movilidad del carbaril en el agua con respecto a clorpirifos. (Fig. 45b).

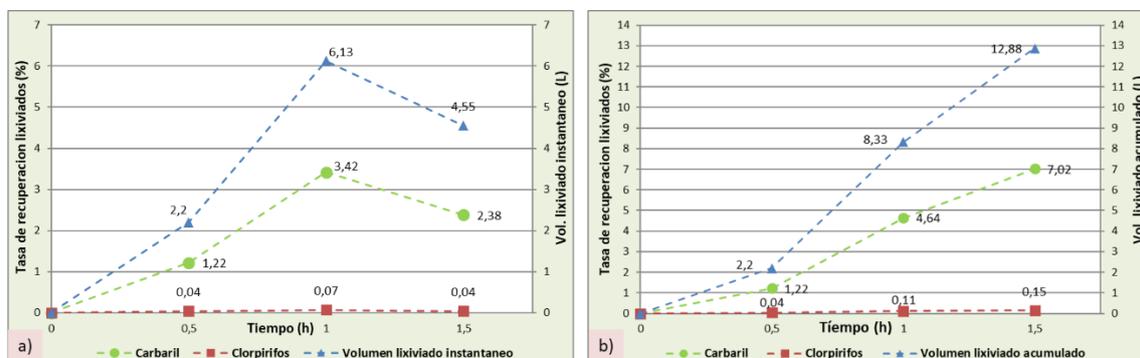


Figura 45. Proceso de lixiviación instantánea y acumulada, producida durante el primer ensayo, una vez realizado los tratamientos de Carbaril y Clorpirifos. Se determinaron tres muestreos consecutivos de 30 min durante el periodo 2013 (27 de octubre).

8.3.2.2. Segundo ensayo

La tabla 10 muestra los resultados de la recuperación de lixiviados en cada momento de muestreo, de los plaguicidas carbaril, clorpirifos y metidation, desarrollados en forma consecutiva durante 0,5h.

Tabla 10. Recuperación de lixiviados del segundo ensayo. Celdas con guión indican que no se realizó medición analítica en duplicado.

Intervalo de muestreo	Plaguicidas	Concentración de lixiviados (ug/L)		Concentración promedio lixiviados (mg/L)	Volumen lixiviado (L)	Masa promedio total en volumen lixiviado (mg)	Masa total aplicada sobre lisímetro (mg)	Tasa de recuperación lixiviados (%)
		Duplicado 1	Duplicado 2					
Primero	Carbaril	17,57	—	0,0176	0,55	0,0096	1,21	0,80
Segundo		17,15	15,94	0,0165	2,3	0,038		3,15
Tercero		14,74	—	0,0147	2,8	0,0411		3,40
Cuarto		24,16	24,88	0,0245	2,7	0,0661		5,47
Quinto		32,22	29,71	0,0309	2,46	0,076		6,29
Sexto		58,23	—	0,0582	0,4	0,0232		1,92
Primero	Clorpirifos	0,178	—	0,0001	0,55	0,00009	4,827	0,002
Segundo		0,469	1,248	0,0008	2,3	0,0019		0,04
Tercero		0,469	—	0,0005	2,8	0,0014		0,03
Cuarto		2,798	3,017	0,0029	2,7	0,0078		0,16
Quinto		2,089	1,868	0,0019	2,46	0,0048		0,10
Sexto		2,228	—	0,0022	0,4	0,0009		0,02
Primero	Metidation	0,305	—	0,0003	0,55	0,0001	3	0,005
Segundo		0,293	0,343	0,0003	2,3	0,0007		0,02
Tercero		0,449	—	0,0004	2,8	0,0011		0,04
Cuarto		4,219	4,246	0,0042	2,7	0,0114		0,38
Quinto		1,387	1,464	0,0014	2,46	0,0035		0,12
Sexto		3,529	—	0,0035	0,4	0,0014		0,05

Las tasas de recuperación de los lixiviados expresaron un comportamiento similar al que se desarrolló en el primer ensayo del lisímetro 1. Carbaril resultó

el de mayor recuperación en comparación al clorpirifos y metidation que tuvieron una baja tasa de recuperación.

Por otro lado, en la figura 46a, se observa que el proceso de lixiviación instantánea de los plaguicidas carbaril, clorpirifos y metidation tuvieron un comportamiento diferente. Carbaril registro un comportamiento similar a la curva del volumen del lixiviado, contrario a lo que manifestaron clorpirifos y metidation, donde la curva de lixiviación instantánea tuvo una tendencia suave tipo lineal a lo largo de los muestreos.

En relación a los datos de los lixiviados acumulados (Fig. 46b), podemos inferir que carbaril tuvo un comportamiento similar al movimiento del volumen percolado de agua durante todo el proceso. Por el contrario, se produjo una notable diferencia con clorpirifos y metidation, que mostraron una pendiente sumamente leve en la curva, prediciendo una baja tendencia a lixiviar a través del perfil del suelo.

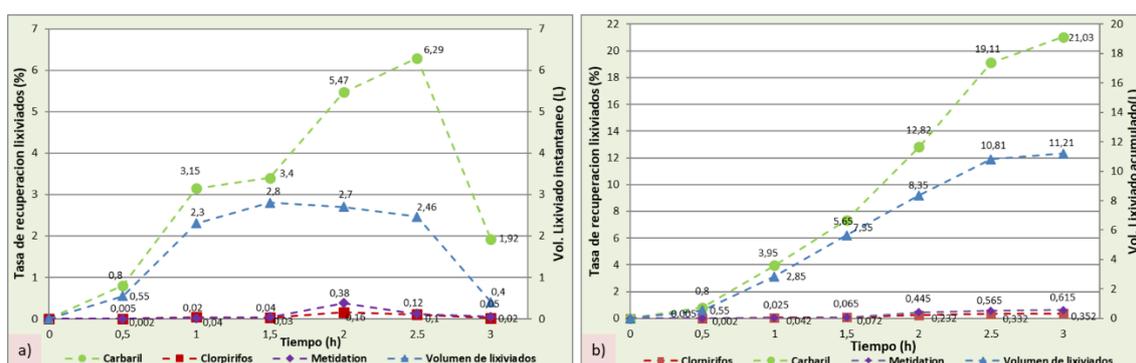


Figura 46. (a) Lixiviación instantánea y (b) acumulada, producido durante el segundo ensayo que se realizó habiendo transcurrido 10 días después de las aplicaciones de Carbaril y de Clorpirifos y se completara la aplicación de Metidation. Se determinaron en seis muestreos consecutivos de 30 min (6 de noviembre 2013).

8.3.2.3. Análisis comparado en primer y segundo ensayo

Al comparar los dos ensayos, podemos afirmar que el segundo ensayo mostró un lapso de tiempo mayor en los procesos de lixiviación y percolación. También registro mayor lixiviación de carbaril y clorpirifos con tasa de recuperación de 21,03% y 0,35% respectivamente (Tabla 8). Mientras que las tasas de recuperación del primer ensayo resultaron en carbaril 7,02% y clorpirifos 0,15% (Tabla 7).

Por otro lado, podemos afirmar que carbaril presenta mayor movilidad con la percolación del agua en ambos ensayos. Contrario a lo que registro clorpirifos y metidation.

Estas notables diferencias en los procesos de percolación y lixiviación que registran los sitios del interfilar seleccionados para el desarrollo de los ensayos, posiblemente estén relacionadas con la estructura del suelo, más específicamente en el tamaño, la forma y disposición de los poros. También el contenido de materia orgánica presente en los horizontes podría interactuar, e incidir en la movilidad de los plaguicidas en forma diferencial.

Asimismo, estos resultados de campo coinciden con los estudios realizados por Latini et al. (2018), en laboratorio sobre columnas de suelo sin perturbar procedentes del mismo sitio de estudio, en el cual se informa que el comportamiento de carbaril y clorpirifos fue notablemente diferente en la lixiviación, donde carbaril resultó ser el plaguicida más débilmente adsorbido y con una tasa de recuperación más elevada (9,6% en el lixiviado). En tanto, clorpirifos exhibió una mayor retención en los primeros 5 cm de la columna con una baja tasa de recuperación (0.31% en el lixiviado), posiblemente debido a que este plaguicida es un compuesto hidrofóbico que interactúa principalmente con los compuestos orgánicos del suelo.

8.3.2.4. Índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas

En la tabla 11, se expone la estimación del riesgo de lixiviación de los plaguicidas carbaril, metidation y clorpirifos a través del índice de GUS.

Los riesgos de lixiviación estimados resultaron muy variables, asignando diferentes riesgos según la clasificación del índice de GUS. Para carbaril se le asigna una clasificación de transición, mientras que clorpirifos y metidation la clasificación los ubica como no lixiviables.

Tabla 11. Datos para evaluar el potencial de contaminación de las aguas poco profundas, considerando el índice de GUS.

Plaguicidas	Carbaril	Clorpirifos	Metidation
$t_{1/2}$ (días)	16	50	10
Koc (L/kg)	300	5509	400
$\text{Log}t_{1/2}$	1,2	1,7	1
logKoc	2,48	3,74	2,6
Indice GUS	1,82	0,44	1,4

Koc (coeficiente de adsorción al contenido de carbono orgánico del suelo), $t_{1/2}$ (Vida media del plaguicida en suelo), (Fuente: Pesticide Properties Data Base, AERU, 2015).

Al igual que los estudios de Latini et al. (2018) y Dufilho et al. (2015) se coincide en que el clorpirifos tiene una baja lixiviación en el perfil del suelo debido a su mayor sorción. A su vez se obtuvo el mismo resultado en comparación a Latini et al. (2018) en cuanto al carbaril, que manifestó mayor movilidad y baja retención en el perfil del suelo.

Similar a lo que obtuvo Dalpiaz y Andriulo (2017), por medio del índice de GUS se coincide en que el clorpirifos mostro baja lixiviación dado principalmente por sus propiedades físico-químicas (baja solubilidad en agua, alta adsorción al perfil del suelo).

8.4. Retención de plaguicidas agrícolas en el perfil del suelo

Para analizar la retención de los plaguicidas en el perfil del suelo, se consideró la distribución del contenido de materia orgánica a lo largo de los dos primeros horizontes y la naturaleza química de los plaguicidas, con respecto a la afinidad que expresan con el suelo (adsorción a la materia orgánica) y a la solubilidad con el agua de riego.

En las figuras 47, 48 y 49 se muestran los contenidos de plaguicidas agrícolas en relación a la profundidad de los horizontes del perfil del suelo presente en el interior de los lisímetros, comparados con el suelo del sitio del interfilas (previo a las aplicaciones de los plaguicidas y al riego por inundación).

8.4.1. Retención de carbaril

La figura 47, muestra que el carbaril resultó No detectable (ND) en el suelo del interfililar previo a los ensayos. Luego de los ensayos, el primer horizonte muestra que en el lisímetro1 arrojó una leve cantidad de plaguicida retenido (2,02 ug/kg), mientras que el lisímetro 2 indica una alta retención de carbaril (30,77 ug/kg).

Con respecto al segundo horizonte, no se observa retención de carbaril (ND) en ninguno de los lisímetros, debido a la disminución de MO en el suelo y al movimiento del agua a través de flujos preferenciales.

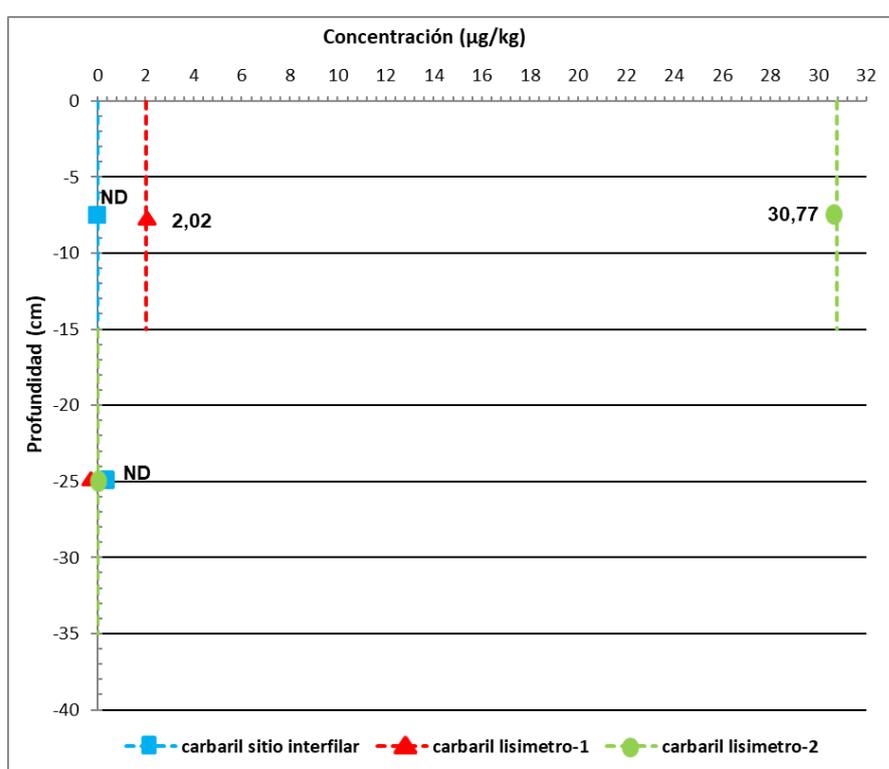


Figura 47. Retención de Carbaril en el perfil del suelo.

Puede inferirse que la alta retención de carbaril evidenciada en el lisímetro 2, dadas las propiedades físico-químicas del mismo, puede deberse al menor flujo preferencial y mayor retención de agua en los microporos del horizonte A.

8.4.2. Retención de clorpirifos

En la figura 48, el suelo del interfililar registro presencia de clorpirifos (4,14 ug/kg) antes de iniciar el ensayo, debido a posibles aplicaciones en el ciclo productivo

que no fueron informadas por el productor. Con respecto a los contenidos registrados en el primer horizonte, se percibe una elevada concentración tanto en el lisímetro 1 (10,98 ug/kg) como en el lisímetro 2 (13,2 ug/kg). En el segundo horizonte se produce una disminución en el plaguicida retenido tanto en lisímetro 1 (2,29 ug/kg) como en el lisímetro 2 (2,35 ug/kg). Por lo tanto, podemos suponer que existe una correlación con el cambio gradual del contenido de materia orgánica a lo largo del perfil del suelo. Por otro lado, refleja que el flujo preferencial en el horizonte A del lisímetro 1 es mayor que en el lisímetro 2.

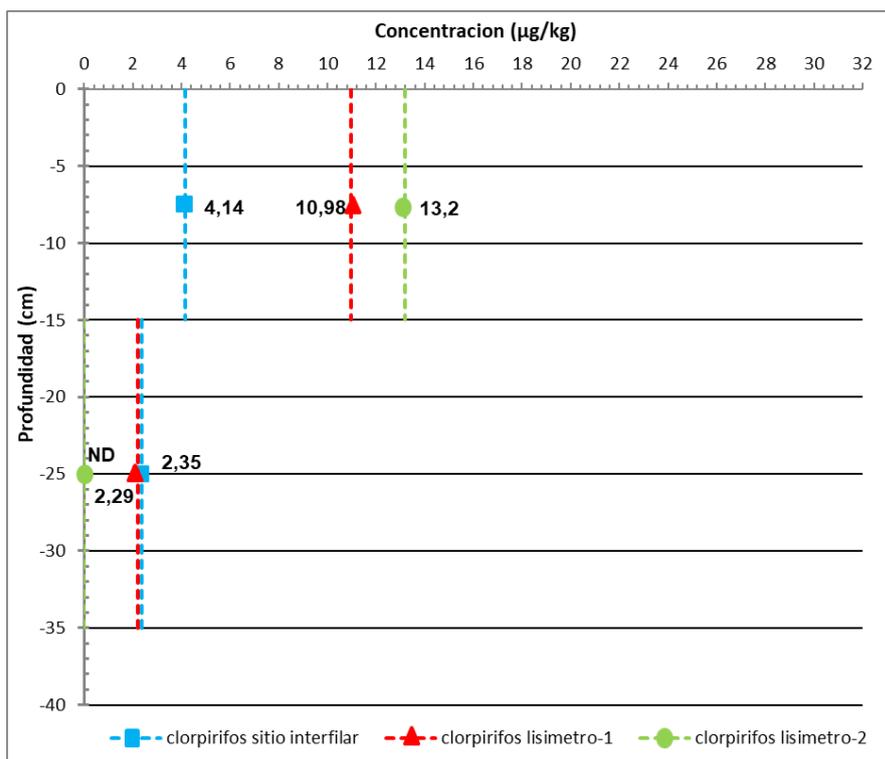


Figura 48. Retención de residuos de clorpirifos en el perfil del suelo.

Latini et al. (2018), informaron que clorpirifos exhibió una mayor capacidad de retención en el primer horizonte atribuido al mayor porcentaje de carbono organico.

8.4.3. Retención de metidation

En el caso del Metidation no fue detectado en las muestras de suelo y posiblemente se atribuye a su vida media de 10 días, período en el que estuvo expuesto a la degradación química y/o biológica en el perfil del suelo.

8.4.4. Retención de metilazinfos

En la figura 49, el suelo del interfilas señala la presencia de metilazinfos (2,49 ug/kg) en el primer horizonte antes de dar inicio al ensayo. Esto permite conjeturar que durante la temporada del ciclo productivo posiblemente se han realizado aplicaciones para control de carpocapsa y no han sido manifestadas por el productor. Otra probabilidad es que los plaguicidas puedan provenir de aplicaciones de temporadas anteriores, donde no estuvieron expuestos a la degradación química y/o biológica permaneciendo fuertemente adsorbido en la materia orgánica del suelo. Loewy et al. (2006), ha informado la detección de metilazinfos en suelo aún antes del período de aplicación, acumulados como residuos de períodos anteriores.

En el lisímetro 1 se registra una mayor presencia del plaguicida retenido en ambos horizontes (10,84 ug/kg y 10,79 ug/kg), no ocurriendo así con respecto al lisímetro 2, donde no se registra presencia de plaguicida retenido (ND) a lo largo del perfil del suelo. Podemos deducir que en este sitio del interfilas no hubo presencia de plaguicidas, por cuestiones operativas durante el manejo de la aplicación del monte frutal, es probable que se haya tomado la decisión de suspender la aplicación por cuestiones estratégicas en el control químico de carpocapsa (altura del árbol, distanciamiento de plantas, deficiencia de follaje, etc.).

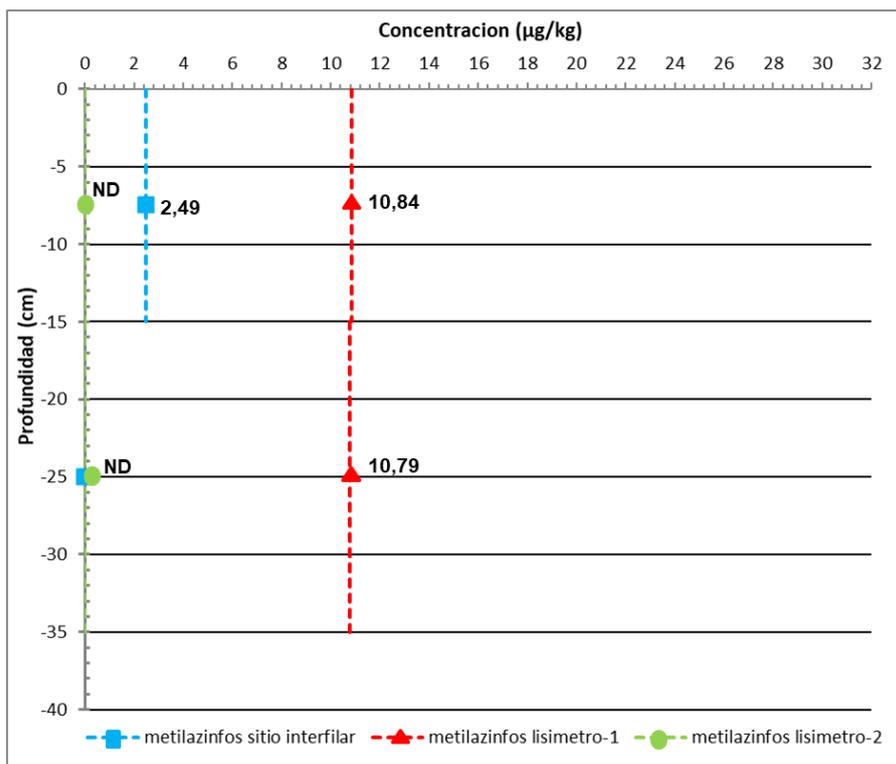


Figura 49. Retención de residuos de metilazinfos en el perfil del suelo.

8.5. Modelo conceptual de la percolación y almacenamiento del agua en el perfil del suelo

La percolación medida en la base del perfil en los diferentes momentos de muestreo y el almacenamiento del agua en el suelo permiten proponer un modelo conceptual que explica la dinámica de la infiltración y el movimiento del agua en el perfil suelo relacionado con las características del espacio poroso.

8.5.1. Primer ensayo

En el volumen percolado del lisímetro 1 (Fig. 50) se observa que desde el inicio del riego hasta el primer intervalo de muestreo se produce una infiltración y percolación de agua conducida a través de una notoria presencia de fisuras (grietas de desecación) propias del perfil del suelo que logran una acentuada velocidad de percolación (4,4 L/h).

A medida que procede el riego y la distribución del agua alcanza todo el perfil del suelo, comienza a superponerse el efecto de fisuras y macroporos. Por ello, el

segundo intervalo de muestreo evidencia un incremento en la velocidad de percolación del agua (12,26 L/h) debido a la participación además de macroporos en el movimiento gravitacional.

Por último, en el tercer intervalo de muestreo y en la etapa de culminación del riego, se produce una disminución en la velocidad de percolación del agua (9,1 L/h) donde gravitacionalmente tienen relevancia en la salida del agua los macroporos y mesoporos.

Esto finaliza con una salida muy lenta de agua en la zona de transición por medio de mesoporos y la acción de los microporos comienzan a ejercer una mayor fuerza de retención, lográndose obtener un suelo en capacidad de campo, con un almacenamiento de aproximadamente 17,1 litros en la matriz del suelo.

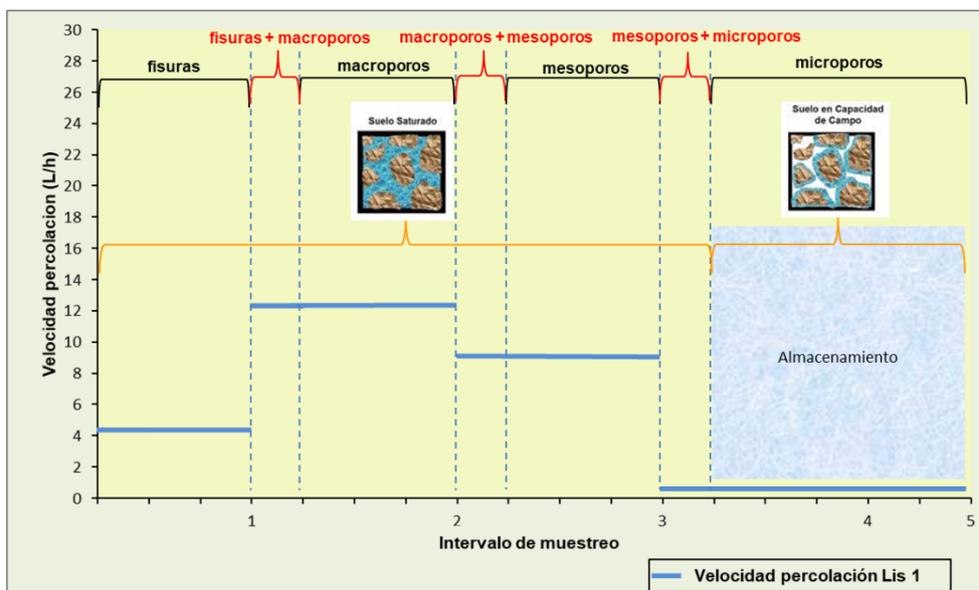


Figura 50. Velocidad de percolación del agua en el lisímetro 1 (Lis 1).

Dufilho et al. (2015) y Latini et al. (2018) señalan que este transporte rápido del agua se explica por la existencia de vías de flujo preferencial que se producen en el perfil del suelo, tales como grietas de desecación y macroporos.

8.5.2. Segundo ensayo

La velocidad de percolación del lisímetro 2 desde el inicio del riego por inundación hasta el primer momento de muestreo, muestra una salida de agua

a través de grietas de desecación menos pronunciadas (1,1 L/h) con respecto al del lisímetro 1 (Fig. 51).

A medida que el riego por inundación avanza y produce el mojado total del perfil del suelo, la velocidad de percolación aumenta (4,4 L/h) por la contribución de los macroporos en el movimiento y salida del agua. Este proceso de percolación se mantiene en forma paulatina y lenta a lo largo de los sucesivos momentos de muestreos.

Esto finaliza con una circulación muy lenta de agua en la zona de transición a través de los mesoporos hasta que el suelo alcanza capacidad de campo, con un almacenamiento de aproximadamente 20,7 litros en la matriz del suelo.

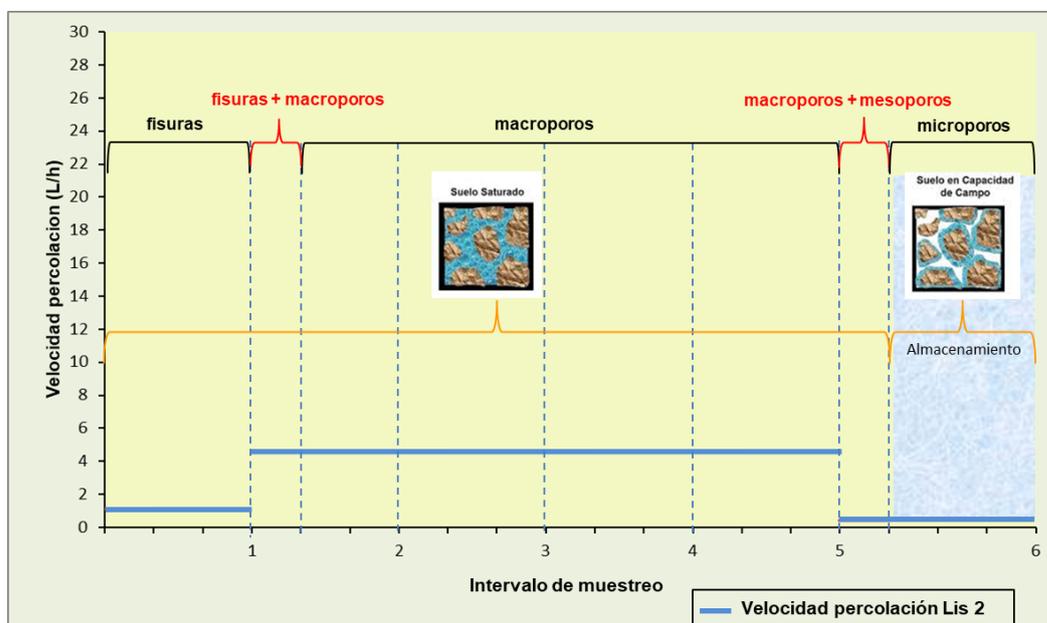


Figura 51. Velocidad de percolación del agua en el lisímetro 2 (Lis 2).

El proceso de percolación del agua en el lisímetro 2 resultó más lento, posiblemente por presentar un perfil de suelo más homogéneo en cuanto a su espacio poroso, con menor presencia de macroporos que determinan que la velocidad de percolación sea lenta y prolongada en el tiempo.

8.6. Plaguicidas en agua subterránea

En la figura 52, se aprecian las concentraciones medidas en el agua subterránea de los freáticos ubicados en la parcela de estudio. Cabe aclarar que en los muestreos del agua del canal de riego ubicado antes del ingreso a la unidad productiva, muestreados simultáneamente con los del agua subterránea, registraron datos no detectables de los plaguicidas estudiados.

Los muestreos realizados durante dos temporadas consecutivas en el ciclo productivo de los frutales, registraron presencia de los plaguicidas carbaril y clorpirifos en una frecuencia discontinua, obteniéndose concentraciones en el primer muestreo de 6,9 ug/L y 0,024 ug/L, respectivamente. Los siguientes muestreos sucesivos solo permitieron obtener trazas o mediciones no detectables en los respectivos plaguicidas.

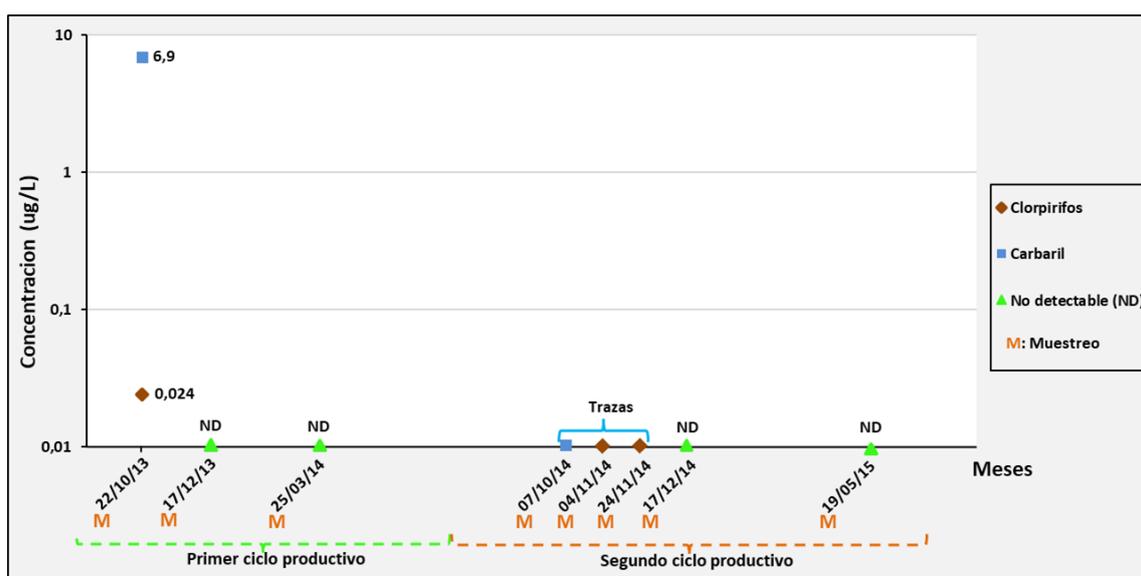


Figura 52. Detección de plaguicidas en agua subterránea.

Los contaminantes obtenidos en el muestreo de agua subterránea del acuífero somero, evidencian que los mismos lograron ingresar al nivel freático durante los meses de primavera-verano que son coincidentes con el mayor número de pulverizaciones de plaguicidas contra la primera generación de carpocapsa y el suministro de agua a través del riego por inundación.

Por otro lado, podemos observar que se produce una notable disminución en la cantidad de plaguicidas detectados en agua subterránea con respecto a la cantidad de plaguicidas que llegan a la parte inferior del lisímetro a través de la lixiviación.

Estos resultados demuestran que la percolación y lixiviación son afectados por las características físicas del suelo (estructura y textura) que disminuyen la porosidad, confiriendo diferente tamaño, forma y continuidad de los poros y provocando que los plaguicidas queden retenidos en la matriz. Otra cuestión que interviene es la interacción que se produce entre los plaguicidas y componentes del suelo, atribuida al proceso de sorción sobre los minerales de arcilla, que impiden o reducen los procesos de lixiviación a medida que va aumentando la profundidad del perfil del suelo. Por último, la disminución de plaguicidas obedece al proceso de degradación del plaguicida a medida que migra hacia el subsuelo.

Debido a las características de este tipo de suelo, se observa escasa o ausencia de contaminantes en aguas subterráneas. Por ello, estos suelos agrícolas tienen la capacidad de actuar como atenuadores de potenciales contaminantes que puedan migrar al agua subterránea.

9. CONCLUSIONES

El control químico a través de plaguicidas tiene mucha relevancia en la producción frutícola de la región del Alto Valle. Si bien es uno de los métodos empleados en el control integrado de plagas, produce un potencial riesgo en la contaminación del agua subterránea.

En el proceso de percolación del agua, proveniente de un riego o una eventual precipitación estacional, se observa la circulación del agua a través del perfil del suelo gobernada por vías de flujo preferenciales, especialmente grietas de desecación, poros generados por la actividad de la macrofauna o por desarrollo radicular de los frutales de pepita.

Los ensayos manifestaron diferencias notables en la velocidad de percolación del agua durante el tiempo de muestreo, donde el primer ensayo fue más rápido y el segundo se prolongó más en el tiempo, por ello se concluye que existe variabilidad en el espacio poroso de los sitios, principalmente en formas, tamaños y conectividades de las grietas de desecación y macroporos.

Por consiguiente, se pudo verificar que los sitios del perfil del suelo seleccionado dentro del interfilar de la superficie del monte frutal resultaron muy variables. Esto se corroboró con el modelo conceptual desarrollado en ambos ensayos donde que evidenciaron situaciones de velocidad de percolación muy diferente con respecto al flujo preferencial (movimientos rápidos del agua).

Por ello, podemos deducir que los suelos agrícolas de la región del Alto Valle con estas características morfológicas (franco limoso, ubicado en una terraza aluvial subreciente, con relieve plano y pendiente suave del 1%) y el manejo cultural que se desarrolla en la parcela en estudio, le confieren una acentuada heterogeneidad en las propiedades físicas del perfil del suelo, principalmente en la estructura y porosidad. Esto facilita que el flujo por vías preferenciales sea el mecanismo predominante en la infiltración, percolación del agua y lixiviación de plaguicidas.

Con respecto a la retención en el perfil, se pone en evidencia que los plaguicidas presentaron un comportamiento muy diferente a lo largo de los horizontes del suelo, señalando una notable diferencia en el tipo y cantidad de plaguicida retenido. Se produjo mayor retención en el primer horizonte, lo cual señala una clara relación con el contenido de materia orgánica.

Los lixiviados de carbaril en los dos ensayos (diferentes sitios) expresaron un comportamiento similar a la distribución del percolado de agua durante todo el proceso, registrando una mayor tasa de recuperación en los lixiviados.

En cuanto a clorpirifos y metidation, tuvieron una muy baja movilidad con el percolado del agua, produciendo una mayor retención en el perfil del suelo principalmente en el primer horizonte. Por ello, debe destacarse que la naturaleza hidrofóbica de estos plaguicidas y el mayor contenido de materia orgánica contribuyen al aumento en la retención en el perfil del suelo.

La información sobre el riesgo de lixiviación de los plaguicidas estimado por el índice GUS, estuvo en concordancia con los resultados obtenidos experimentalmente en los dos ensayos, evidenciando un elevado riesgo de lixiviación para el carbaril y un bajo riesgo para los organofosforados respectivamente (metidation y clorpirifos).

Por lo antes expuesto, quedan confirmadas las hipótesis planteadas inicialmente. Los comportamientos de los diversos plaguicidas agrícolas empleados, manifestaron comportamientos diferentes en los procesos de percolación y de lixiviación a través del perfil del suelo, una vez que se definía y concretaba el momento de riego por inundación. La retención de los contaminantes en el perfil del suelo, estuvo relacionada con la naturaleza química del residuo de plaguicida y las propiedades fisicoquímicas e hidráulicas del suelo.

10. RECOMENDACIONES

Dada la confirmación de las hipótesis planteadas, corresponde recomendar en sintonía con las mismas, a saber:

Se sugiere que el momento de riego por inundación no sea inmediatamente de finalizadas las aplicaciones de los plaguicidas como comúnmente ocurre. Es necesario que transcurran algunos días desde la aplicación química para realizar el riego por inundación, esto favorece la degradación química y/o biológica en superficie y por consiguiente disminuye la lixiviación de los plaguicidas y contaminación del acuífero

Otro aspecto relevante es aumentar el contenido de materia orgánica en los primeros horizontes del perfil del suelo, para contribuir a la retención de plaguicidas de naturaleza hidrofóbica. Esto se logra, minimizando el uso de maquinarias agrícolas de labranza, agregando estiércol o implementando la siembra de pasturas invernales en el interfilar del monte frutal con su posterior incorporación al suelo.

Por otro lado, la implementación en forma fehaciente del control integrado de plagas, como el uso de la técnica de confusión sexual, uso de trampas, monitoreo de frutos, el manejo cultural de los árboles frutales (poda, limpieza de corteza, agregado de cartón corrugado, eliminación de frutos una vez finalizado la cosecha entre otras), contribuirían a disminuir el número de aplicaciones químicas durante la primera generación de carpocapsa.

Si bien este trabajo es un aporte a la comprensión del comportamiento de los plaguicidas en suelos agrícolas y en el agua subterránea, es necesario ampliar la mirada a nuevas investigaciones a los fines de mejorar la relación entre producción y medio ambiente.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N. L., y Di Masi, S. N., (2018). Nuevas búsquedas desarrollo y construcción de conocimientos, mediante estrategias y tecnologías apropiadas, para un riego sustentable en frutales de pepita en el Alto Valle de Río Negro. XIX Jornadas Nacionales de Extensión Rural y XI del Mercosur. Luján Cuyo, Mendoza. 19, 20 y 21 septiembre 2018. p.586-599.
- Álvarez Palau, E., (2012). La colonización del Alto Valle del Río Negro y Neuquén en Argentina: ferrocarril, obras hidráulicas y electricidad y consolidar del poblamiento. Simposio internacional globalización, innovación y construcción de redes técnicas urbanas en América y Europa, 1890-1930. Brazilian Traction, Barcelona Traction y otros conglomerados financieros y técnicos (pp. 1-20).
- Anguiano, O. L., Lascano C. I., (2011). Capítulo 3: Modo de acción de los plaguicidas. En: Clasificación y Toxicología de Plaguicidas. Editores: Anguiano O. L. y Montagna M. C. Pp: 187–233. Neuquén: Educo. Editorial Universitaria.
- Anguiano, O. L., Souza, M., Ferrari, A., Soleño, J., Pechen, A., Montagna, C., (2005). Conociendo los efectos adversos de los plaguicidas podremos cuidar nuestra salud y la del ambiente. Argentina: Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Escuela Superior de Salud y Ambiente.
- Aruani, M. C., Gili, P., Machuca, Y., y Spera, N., (2012). Evaluación de las características físico-químicas y biológicas en dos suelos superficiales cultivados con pera (*Pyrus communis* L.) cv. Williams bajo manejo convencional. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 44(1), 77-84.
- Avellá, B., Landriscini, S. G. y Preiss, O., (2018). Complejo frutícola de Río Negro y Neuquén. Exportaciones, principales competidores y factores que condicionan la competitividad. Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios, 48, 93-126.
- Bandieri, S. y Blanco, G., (1991). "La fruticultura en el Alto Valle del río Negro. Auge y crisis de una actividad capitalista intensiva. Revista de Historia n° 2, - Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. Pp. 127-141.
- Bates, R.G., (1954). Electromemetic pH determinations. John Wiley and sons, Inc. New York. 23pp.
- Bouyoucus, G.W., (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. Soil Sci. 23:343-353.
- CAR, Censo Provincial de Agricultura Bajo Riego. (2005). Secretaría de Fruticultura, Ministerio de Producción. Gobierno de la provincia de Río Negro. Argentina.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L.W., (1994). Hidrología Aplicada. 1a. ed. Mc Graw Hill Interamericana. Santafé de Bogotá. Colombia. 584 p.

- Ciarallo, A., Vecchia, T., y Grosso, J., (2011). Procesos de Territorialización de trabajadores rurales migrantes en el Alto Valle del Río Negro. Pampa: Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales, (7), 47-68.
- Cichón, L., (2013). Evolución de los programas sanitarios en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 72:38-43.
- Cichón, L., Fernández D., Montagna M., (2006). Evolución del control de carpocapsa en los últimos 25 años. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 51:22-34.
- Cichón, L., Garrido S., (2012). Implicancia en los cambios en el manejo sanitario de frutales de pepita en Alto Valle. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 67:8-15.
- Cichón, L., Garrido S., (2019). Balance fitosanitario 2018/2019. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 83:22-27.
- Cogliati, M.G. & Mazzeo, N.A. (2006) . Air flow analysis in the upper Río Negro Valley (Argentina). Atmospheric Research, 80(4), 263-279.
- Consejo Federal de Inversiones, Provincia de Río Negro, Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Instituto de suelos-CIRN-INTA. (2008). Estudio de suelos para evaluar el impacto de la producción frutícola sobre la calidad de los suelos del Alto Valle del Río Negro. Informe de avance. Área Piloto 1. Río negro. Argentina.
- Copes, W., (2013). Evaluación de barreras vegetales para mitigar la deriva de pulverizaciones. Tesis de Magíster en Intervención Ambiental con orientación en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue. 79-84.
- Curetti, M., Raffo, D., (2017). Metamitrona, un nuevo raleador químico para manzano y peral. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 79:18-21.
- Curetti, M., Raffo, D., Rodríguez, A., Reeb, P., (2020). Raleo químico con Metramitrona en manzano Galaxy. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 85:5-9.
- Dalpiaz, M. J., y Andriulo, A., (2017). Comparación de índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas. Ciencia del suelo, 35(2), 365-376.
- De Jong, G. M., (2008). Análisis regional, estructuras agrarias y estrategias de desarrollo regional en la fruticultura del Alto Valle de la Cuenca del Río Negro, publicación. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.
- De Jong, G. M., (2010). La fruticultura patagónica del Alto Valle: conflictos de una actividad económica ineficiente en la era del capital tecnológico. Buenos Aires, Ed. La Colmena. 234 p.
- Demin, P., (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1a. ed. - San Fernando del Valle de Catamarca. Ediciones INTA. 28p.
- Di Prinzi, A., Behmer S., Magdalena, J. C. y Giulietti, J., (1998). Pérdidas provocadas por pulverizadoras hidroneumáticas en fruticultura. *In:*

- Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano. Ed. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 214-220.
- Dousset S., Thévenot M., Schrack D., Gouy V., Carluer, N., (2010). Effect of grass cover on water and pesticide transport through undisturbed soil columns, comparison with field study (Morcille watershed, Beaujolais) *Environmental Pollution* 158. 2446-2453.
- Duflho, A. C., (2015). Caracterización y modelación del transporte preferencial de plaguicidas organofosforados en suelos productivos bajo riego. Aplicación al Distrito Colonia Centenario, Patagonia Argentina. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. 176 p.
- El Imache, A., Dahchour, A., Elamrani, B., Dousset, S., Pozzoni, F. y Guzzella, L., (2009). Leaching of Diuron, Linuron and their main metabolites. in undisturbed field lysimeters. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 44, 31–37.
- FAO, (1986). Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides.
- FAO, (2009). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Guía para la descripción de perfiles de suelos. cuarta edición.
- FAO, (2015). Proyecto FAO UTF ARG 017. Desarrollo Institucional para la Inversión. Informe de Diagnóstico de los Principales Valles y Áreas con Potencial Agrícola de la Provincia de Río Negro. Documento de Trabajo N°8 Infraestructura de Riego. 125pp.
- Fernández, D. E., (2012). *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas. Tesis Doctoral Universidad de Lleida, España: 195 p.
- Ferraro, A. F., (2012). La importancia de las economías regionales. El caso de la evolución de la fruticultura en la región del valle de Río Negro.
- Galeazzi, J., Muñiz, J., Melideo, C. y Montenegro, A., (2002). Puente la S: Experiencia de participación de los regantes en la implementación de prácticas racionales de manejo del agua. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar (2018). Edición EDUCO-Editorial Universitaria del Comahue. Neuquén. 448p.
- Galeazzi, J., Pesan, P., Muñiz, J., Signorelli, V., Quiroga, J., (2007). Reconocimiento de la dinámica freática mediante el monitoreo de un área piloto del Alto Valle de Río Negro. XXI Congreso Nacional del Agua (CONAGUA 2007) Tucumán.
- Giancola, S. I., Di Masi, S. N., Aguilar, N. L., Kiessling, J. R., y Calvo, S. C., (2016). Problemáticas que dificultan innovaciones en riego en la pequeña y mediana producción de pera y manzana en el alto valle de Río Negro y Neuquén. XVIII Jornadas Nacionales de Extensión Rural y X del Mercosur. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue. Río Negro.
- Gil, Y. y Sinfort, C., (2005). Emisión de plaguicidas al aire durante la aplicación del pulverizador: revisión bibliográfica. *Ambiente atmosférico* , 39 (28), 5183-5193.

- Gittins, C., Calvo, P., (2013). La manzana y la pera en el Alto Valle. Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 72: 6-11.
- Gustafson, D. I., (1989). Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 8(4), 339-357.
- Heath, Ralph C., (1983). Basic ground-water hydrology: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220, 86 p.
- Holzmann, R. D. L., (2010). Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo de montes de pera manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el Alto Valle de Río Negro. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Comahue-Universitá di Bologna. 92 p.
- INTA, Estación Experimental Alto Valle. Coordinadores: Villarreal, P., Sánchez, E., (2012). Programa Nacional Frutales: cadena frutales pepita. p. 1-14.
- Irisarri, J. M., y Mendía, J., (1995). Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal. Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición. EEA Alto Valle. Rio Negro. Argentina.
- Lal, R., Shukla, M. K., (2004). Principles of soil physics. The Ohio State University. University Columbus, Ohio, U.S.A. Marcel dekker.
- Latini, L. A., Indaco, M. M., Aguiar, M. B., Monza, L. B., Porolo, M. E., Melideo, C. F., Savini M., Loew, R. M., (2018). Un enfoque integrado para evaluar el comportamiento migratorio de clorpirifos y carbarilo en la zona de suelo insaturado. *Revista de Ciencias Ambientales y Salud, Parte B*, 53 (7), 469-475.
- Laurencena, P. C., Kruse, E. E., y Deluchi, M., (2013). Dinámica freática de la llanura aluvial en los alrededores de la ciudad de Neuquén, Argentina. In VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea.
- Liotta, M. A., (2015). Drenaje de suelos para uso agrícolas. Manual de capacitación. 1ª ed. Edición especial-Rivadavia: Marta Laura Paz. 22 p.
- Loewy, R. M., Carvajal, L. G., Novelli, M., Pechen de D'Angelo, A. M., (2006). Azinphos metil residues in shallow groundwater from the fruit production region of Northern Patagonia, Argentina. *J. Environ. Sci. Heal. B*. 41, 869-881.
- Loewy, R. M., Monza, L. B., Kirs, V. E y Savini, M. C., (2011). Pesticide distribution in an agricultural environment in Argentina, *Journal of Environmental Science and Health, B* 46:8, 662-670.
- Loewy, R., & de D'ANGELO, A. M. P. (2000). Plaguicidas en aguas subterráneas del Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Tesis de Maestría en Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Comahue, Buenos Aires).
- López Ordieres, M. C., (2016). Determinación de la calidad química del agua de la baja cuenca del río Neuquén asociadas a las actividades hidrocarburífera y agrícola. Tesis de grado. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias del ambiente y la Salud. 100 p.
- Magdalena, C., (2004). Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica, Borkh*). (Tesis

- doctoral) Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria). 35-47.
- Magdalena, C., Benitez Piccini, E., Di Prinzio, A., Behmer, S., Mignone C., (2013). Historia de la mecanización en los valles irrigados de la Norpatagonia. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 72:44-49.
- Magdalena, C., Di Prinzio, A., Behmer, S., (2010). Tecnología de aplicación de agroquímicos. Capítulo 8 Equipos para la aplicación de agroquímicos-Denominación y clasificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 97-103.
- Malato Rodríguez, S., Blanco Gálvez, J., Estrada Gasca, C., Bandala, E., (2001). Degradación de plaguicidas. En: Eliminación de contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, Red CYTED VII-G, pp. 269-281.
- Miglioranza, K., (2021). Capítulo 2: Principales familias de contaminantes, fuentes, distribución y destino ambiental. En: Principios de ecotoxicología. Coordinación general: Pedro Carriquiriborde. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; EDULP. Editorial Universitaria.
- Ohaco P., Vitulich, G., Cuevas, M., Zanetta, V., Ruiz, C., Iglesias, N., (2012). Estudio preliminar de residuos de metabolitos de ddt en suelos y cultivos hortícolas en la provincia de Neuquén. INTI. Neuquén.
- Polla, G., (2020). Metodología para mejorar la eficiencia de aplicación de riego en un distrito del Alto Valle de Río Negro. Semiárida, Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 30(1), 41-48.
- Polla, G., Pavese, J., Elissalde, M., & Horne, F. (2013). Evaluación del comportamiento del acuífero del Alto Valle de Río Negro para control de heladas en un distrito de riego. In VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Termas Actuales de la Hidrología Subterránea.
- PPDB, (Pesticide Properties Data Base), 2015. Pesticide Properties DataBase. Agriculture & Environmental Research Unit. University of Hertfordshire.
- Quintana, M. M., Vera, B., Magnarelli, G., Guiñazú, N., y Rovedatti, M. G., (2017). Neonatal, placental, and umbilical cord blood parameters in pregnant women residing in areas with intensive pesticide application. Environmental Science and Pollution Research, 24(25), 20736-20746.
- Regional Salinity Laboratory Staff (US). (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). US Department of Agriculture. 172pp.
- Requena, A. y Toranzo, J., (2015). Manejo del riego. Colección de divulgación. INTA EEA Alto Valle.
- Requena, A., (2005). Red de distribución interna del agua de riego. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 45:38-43.
- Requena, A., (2011). Reseña histórica del riego en el Alto Valle del Río Negro. En Revista Fruticultura y Diversificación. Edición INTA-EEA Alto Valle. 65:7-9.
- Requena, A., (2013). Freatímetro con flotador. Construcción, instalación, operación y mantenimiento. Colección de divulgación. INTA EEA Alto Valle.
- Rodriguez, A. y Muñoz, A., (2005). Características climáticas del Alto Valle. Área Agrometeorología. EEA Alto Valle INTA. 1-28.

- SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Anuarios Estadístico 2016. Centro Regional Patagonia Norte.
- Soil Taxonomy, (2006). Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
- Storti, M., (2008). Determinación de parámetros hidrofísicos–químicos de los suelos relacionados con los procesos de degradación salina y drenaje restringido. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud. 110 p.
- Tosi, A. P., Pechen D'angelo, A. M., Savini, M. C. y Loewy, R. M. (2009). Evaluación de Riesgo por Plaguicidas sobre Aguas Superficiales de la región Norpatagónica Argentina. LIBIQUIMA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina. 17 (1): 1-6.
- USDA, (2017). Soil Survey Manual. Revised Edition, United States Department of Agriculture Handbook No. 274. Washington, DC. 638 p.
- Vapnarsky, C. A., Pantelides, E. A., (1987). La formación de un área metropolitana en la Patagonia. Población y asentamiento en el Alto Valle. Informes de investigación del Centro de Estudios Urbanos y Regionales. Instituto Torcuato di Tella. Buenos Aires. CEUR.
- Vermeulen, J., Cichón L., Parra, E., (1989). Sistema de alarma termoacumulativo para el control de carpocapsa (*Cydia pomonella* L.) para el Alto Valle del Río Negro y Neuquén. INTA 16 pp.
- Villalba, J., Hetz, E., (2010). Capítulo 3: Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales. En: Tecnología de aplicación de agroquímicos. Edición INTA-EEA Alto Valle. 45-54.
- Walkley, A., & Black, I. A., (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(1), 29-38.
- Zunino, N., (2009). Trayectorias, condicionamiento y estrategias de productores familiares frutícolas de los valles irrigados del norte de la Patagonia. M. Sc. Tesis Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ciudad de Buenos Aires, Argentina. 88 p.