

MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN
SUELOS DE CULTIVO DE ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D
EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

DAYANA MILENA MORENO PABON

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017

MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN
SUELOS DE CULTIVO DE ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D
EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

DAYANA MILENA MORENO PABON

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero
ambiental

Directora

Lic. PhD. María Esther Rivera

Codirectores

Geól., MSc. Jesús Ramón Delgado Rodríguez

Ing. PhD. Mario Javier Vargas Cañas

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pamplona, Norte de Santander, 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía, mi luz y compañía a lo largo de mi carrera, por darme las fuerzas en momentos de dificultad y por bendecirme para llegar a hacer realidad este sueño anhelado.

Gracias a mis padres José Moreno y Nury Pabón, y a mi hermana María José Moreno por el apoyo que me han brindado en todo momento, por estar incondicionalmente conmigo durante todos estos años, por creer en mí hasta el último momento, por los valores que me han inculcado y sobre todo por la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sin duda alguna son mi ejemplo a seguir. También agradezco a mi novio Herson Guerra quien ha estado a mi lado compartiendo mis alegrías y angustias, por el estímulo para que me supere día a día, por su apoyo y las fuerzas necesarias para llegar hasta el final.

Especialmente a mi directora y codirectores de tesis María Esther Rivera, Jesús Ramón Delgado y Mario Javier Vargas por su esfuerzo, apoyo, confianza y dedicación, quienes con sus conocimientos, experiencias y motivación han hecho fácil lo difícil y me han permitido desarrollar mi tesis profesional. Gracias por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Agradezco al Doctor Alfonso Quijano Parra por haberme brindado su tiempo y la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional, por el apoyo y facilidades que me fueron otorgadas en el laboratorio.

También me gustaría agradecer a mis profesores que durante toda mi carrera profesional han aportado un granito de arena a mi formación, en especial al profesor Janer Cantillo por su apoyo incondicional y por brindarme sus conocimientos en todo momento.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros de carrera, especialmente a mi compañera Paola Bacheloth por esos buenos momentos que compartimos, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en el proceso de aprendizaje.

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por estar conmigo en cada paso que doy y por poner en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mi carrera.

Mi padre José Moreno, por los ejemplos de superación y entrega que lo caracterizan, porque en gran parte gracias a él hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que siente por mí fue lo que me hizo ir hasta el final.

Mi madre Nury Pabón, por haberme apoyado en todo momento, por enseñarme el camino de la vida, por sus consejos, por ser mi mejor amiga y por haber sabido formarme con buenos sentimientos, principios y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en todo momento, pero más que nada, por el amor que me das.

Mi hermana María José Moreno, que con su amor me ha enseñado a salir adelante, por estar conmigo en esta etapa tan importante de mi vida, por preocuparse por su hermana mayor y por el cariño que me brindas siempre.

Mi novio Herson Guerra, por permitirme formar parte de tu vida, por ser el hombre con los mejores sentimientos que he conocido, por presionarme para terminar este trabajo, por ayudarme con las correcciones, por aguantarme en los momentos de dificultad y sobre todo por enseñarme a creer en mí y motivarme a hacer las cosas de la mejor manera.

Los amo con toda mi alma, esto va dedicado a ustedes porque es el resultado de lo que me han enseñado en la vida, por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	19
6. MARCO REFERENCIAL	20
6.1 MARCO CONTEXTUAL	20
6.2 ANTECEDENTES	23
6.3 MARCO TEORICO	26
6.3.1 Hidrometeorología, Geología y Suelos	26
6.3.2 Agentes contaminantes del suelo	38
6.3.3 Modelación de contaminantes en el suelo	45
6.4 MARCO LEGAL	50
7. METODOLOGIA	56
7.3 ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE ENCUESTA PARA IDENTIFICAR LOS PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS UTILIZADOS EN LOS CULTIVOS DE ARVEJA.	56
7.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.	57
7.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO	60
7.4 DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN SUELOS	63
7.5 MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS	65
8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFIA	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de localización de la zona de estudio.	20
Figura 2. Mapa de localización de los cultivos de arveja en la vereda el Escorial.	21
Figura 3. Mapa de localización del suelo no contaminado en la vereda el Escorial.	22
Figura 4. Esquema del modelo de Green-Ampt.....	32
Figura 5. Tipos de estructura del suelo y sus efectos sobre la permeabilidad.	35
Figura 6. Posibles mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente.	42
Figura 7. Ventana principal de Hydrus 1D	48
Figura 8. Condiciones iniciales en Hydrus 1D.	49
Figura 9. Dominio en capas 3D en Hydrus 2D/3D.	50
Figura 10. Encuesta para cultivo de arveja.....	56
Figura 11. Manejo del dron en la vereda el Escorial.....	57
Figura 12. Manejo del dron en la vereda el Escorial.....	58
Figura 13. Método sistemático como el de transecto fijo con la ayuda adicional de un posicionador global (GPS).	59
Figura 14. Triangulo de texturas.	62
Figura 15. cromatografo de gases Agilent Technologies 6890.	64
Figura 16. Cromatograma patrón.....	64
Figura 17. Excavación en el suelo del cultivo de arveja 1.....	66
Figura 18. Excavación en el suelo del cultivo de arveja 2.....	66
Figura 19. Ubicación de los puntos de muestreo en los cultivos de arveja.....	69
Figura 20. Ubicación del punto de muestreo en el suelo no contaminado.....	70
Figura 21. pH del suelo.....	71
Figura 22. Color del suelo.....	72
Figura 23. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	73
Figura 24. Humedad del suelo.....	74
Figura 25. Granulometría del suelo.....	75
Figura 26. Textura del suelo.	79
Figura 27. Triangulo de textura del suelo.....	79
Figura 28. Permeabilidad del suelo.....	82
Figura 29. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo superficial arveja1.	87
Figura 30. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 15 cm arveja1.....	87
Figura 31. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 30 cm arveja1.....	88
Figura 32. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo superficial arveja2.	89
Figura 33. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 15 cm arveja2.....	89

Figura 34. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 30 cm arveja	2.90
Figura 35. Infiltración potencial en superficie del cultivo de arveja 1.	91
Figura 36. Curvas de transporte del contaminante Beta-BHC en arveja 1.	91
Figura 37. Curvas de transporte del contaminante Gamma-Clordano en arveja 1.	92
Figura 38. Curvas de transporte del contaminante Endosulfan en arveja 1.....	93
Figura 39. Curvas de transporte del contaminante Metoxicloro en arveja 1.	94
Figura 40. Infiltración potencial en superficie del cultivo de arveja 2.	95
Figura 41. Curvas de transporte del contaminante Beta-BHC en arveja 2.	96
Figura 42. Curvas de transporte del contaminante Gamma-Clordano en arveja 2.	97
Figura 43. Curvas de transporte del contaminante Endosulfan en arveja 2.....	98
Figura 44. Curvas de transporte del contaminante Metoxicloro en arveja 2.	99

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva granulométrica del cultivo de arveja 1 predio Juan Gómez.....	76
Gráfica 2. Curva granulométrica del cultivo de arveja 2 predio Juan Gómez.....	76
Gráfica 3. Curva granulométrica del suelo no contaminado.....	77
Gráfica 4. Infiltración del cultivo de arveja 1.....	85
Gráfica 5. Infiltración del cultivo de arveja 2.....	85
Gráfica 6. Infiltración del suelo no contaminado.....	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ubicación de los predios y cultivos.	20
Tabla 2. Principales tipos de fallas.....	29
Tabla 3. Valores orientativos de la porosidad total de un suelo y su interpretación.	30
Tabla 4. Tipos de suelos más comunes.....	34
Tabla 5. Horizontes del suelo.....	36
Tabla 6. Presión de vapor de un plaguicida.....	37
Tabla 7. Persistencia de un plaguicida.	38
Tabla 8. Adsorbentes más utilizados en SPE.	44
Tabla 9. Tratados, protocolos y convenios internacionales sobre el medio ambiente.	50
Tabla 10. Normativa colombiana sobre el uso y consumo de plaguicidas.	53
Tabla 11. Datos de campo para el software.	65
Tabla 12. Parámetros de reacción de los contaminantes.	67
Tabla 13. Propietarios de los cultivos encuestados en la zona de estudio.	68
Tabla 14. pH del suelo.	71
Tabla 15. Color del suelo.	72
Tabla 16. Capacidad de intercambio	73
Tabla 17. Humedad del suelo.	74
Tabla 18. Granulometría del suelo.....	75
Tabla 19. Textura del suelo.	78
Tabla 20. Permeabilidad del suelo.....	80
Tabla 21. Infiltración del suelo.	83
Tabla 22. Destino y toxicidad de los contaminantes organoclorados.....	100
Tabla 23. Manejo y métodos alternativos de los plaguicidas e insecticidas.....	101

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Porosidad.....	29
Ecuación 2. Conductividad hidráulica.....	30
Ecuación 3. Ley de Darcy.....	31
Ecuación 4. Método de Gilg-Gavard.....	31
Ecuación 5. Permeámetro de carga constante	31
Ecuación 6. Método de Green-Ampt.....	32
Ecuación 7. Método de Horton.....	33
Ecuación 8. Método de Kostiaikov.....	33
Ecuación 9. Ecuación de Richards.....	47
Ecuación 10. Ecuación de Fickian.....	48
Ecuación 11. Humedad.....	61

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 1.	108
Anexo 2. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 2.	109
Anexo 3. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 3.	110
Anexo 4. Cultivos de arveja 1 y 3 predio Juan Gómez tomada con el drone.	111
Anexo 5. Cultivo de arveja 2 predio Juan Gómez tomada con el drone.	111
Anexo 6. Medición de pH en las muestras de los cultivos.	112
Anexo 7. Determinación del color en las muestras de los cultivos.	112
Anexo 8. Determinación de la CIC en las muestras de los cultivos.	113
Anexo 9. Determinación de granulometría en las muestras de suelo.	113
Anexo 10. Determinación de la textura en los suelos por el método de Bouyoucos.	114
Anexo 11. Medición de permeabilidad e infiltración en el suelo de los cultivos. ..	114
Anexo 12. Muestras de suelo con los reactivos para la extracción.	115
Anexo 13. Limpieza del extracto orgánico de las muestras de suelo.	115
Anexo 14. Extracto del suelo reducido a 1 ml.	116

RESUMEN

En el municipio de Pamplona así como en otros municipios de Colombia actualmente no existe un diagnóstico de manejo, regulación y supervisión del uso de agroquímicos con el cual se pueda prevenir la degradación del suelo, ya que debido a su sobreexplotación por diversas actividades tales como la agricultura, se usa de manera excesiva productos químicos como plaguicidas e insecticidas, utilizados durante las distintas fases de los cultivos, con el fin de obtener un buen rendimiento en sus cosechas. Sin embargo, estos compuestos químicos utilizados en la agricultura por lo general llegan al suelo, ya sea directa o indirectamente, causando problemas de contaminación. En la presente investigación se modeló el transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de arveja en la vereda el Escorial, mediante el software Hydrus 1-D. Para ello, se realizaron salidas de campo para identificar las etapas del cultivo, los pesticidas e insecticidas utilizados por medio de una encuesta a los propietarios, los puntos de muestreo del suelo teniendo en cuenta el tipo de muestreo, el número y toma de muestras. Así mismo, se recopiló información meteorológica suministrada por el IDEAM, con el fin de identificar el nivel de precipitación y la infiltración que se presenta en la zona de estudio, se realizaron análisis físicos y químicos del suelo para conocer su condición actual y determinar si existen cambios significativos en su composición debido al uso de agroquímicos, donde se encontró suelos ácidos de 5,5 a 6,5, color predominante marrón rojizo, alto contenido de humedad, permeabilidad moderada y textura areno francosas; además se determinó el comportamiento de estos compuestos químicos y su afectación al medio por el método de cromatografía de gases con detector de captura de electrones (GC-ECD) y extracción por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), determinándose en los suelos de los dos cultivos de arveja pesticidas organoclorados tales como Beta BHC, gamma clordano, endosulfan y metoxicloro. También se modeló el transporte de estos contaminantes, encontrando que el metoxicloro es el que más se transporta, con una profundidad de 60 cm para el primer cultivo y 49 cm para el segundo. Finalmente se realizó una propuesta para brindar información a los propietarios de los cultivos, para un uso adecuado de estas sustancias y nuevos métodos viables y económicos para su debido tratamiento.

PALABRAS CLAVES: Agricultura, agroquímicos, contaminación, cromatografía, Hydrus, insecticidas, modelación, plaguicidas, software, suelo.

ABSTRAC

In the municipality of Pamplona as well as in other municipalities of Colombia there is currently no diagnosis of management, regulation and supervision of the use of agrochemicals with which soil degradation can be prevented, since due to its over-exploitation by various activities such as agriculture, chemicals are used excessively as pesticides and insecticides, used during the different phases of crops, in order to obtain a good yield in their crops. However, these chemical compounds used in agriculture usually reach the soil, either directly or indirectly, causing pollution problems. In the present investigation the transport of pesticides and insecticides was modeled in pea cultivation soils in El Escorial, through the Hydrus 1-D software. For this, field trips were made to identify the stages of the crop, the pesticides and insecticides used by means of a survey of the owners, the sampling points of the soil taking into account the type of sampling, the number and sampling. Likewise, meteorological information supplied by the IDEAM was collected, in order to identify the level of precipitation and infiltration that occurs in the study area, physical and chemical analyzes of the soil were made to know its current condition and determine if there are significant changes in its composition due to the use of agrochemicals, where acid soils of 5.5 to 6.5 were found, predominantly reddish brown color, high moisture content, moderate permeability and sandy loamy texture; In addition, the behavior of these chemical compounds and their affectation to the environment was determined by the gas chromatography method with electron capture detector (GC-ECD) and extraction by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), being determined in the soils of the two crops of pea organochlorinated pesticides such as Beta BHC, gamma chlordane, endosulfan and methoxychlor. The transport of these pollutants was also modeled, finding that methoxychlor is the most transported, with a depth of 60 cm for the first crop and 49 cm for the second. Finally, a proposal was made to provide information to the owners of the crops, for an adequate use of these substances and new viable and economical methods for their proper treatment.

KEY WORDS: Agriculture, agrochemicals, pollution, chromatography, Hydrus, insecticides, modeling, pesticides, software, soil.

INTRODUCCION

En las últimas décadas por causa del crecimiento demográfico, se ha incrementado la actividad agrícola, requiriendo de una mayor producción para satisfacer las necesidades de la población. Desde entonces son evidentes los beneficios del uso de compuestos químicos para prevenir, mitigar y controlar plagas de origen animal o vegetal en la agricultura ya que el resultado se percibe en el mantenimiento y aumento de las cosechas, pero a su vez el uso de estos compuestos permanecen inalterados por largo tiempo en el ambiente debido a que son sustancias poco solubles en agua y terminan evaporándose en el aire o uniéndose a las partículas del suelo, causando así daños de gran magnitud al ambiente.

Como bien se sabe, la contaminación del suelo es la presencia de sustancias químicas causadas por cualquier actividad humana y a partir de una cierta concentración se considera como no deseable, alterando la superficie terrestre, afectando gravemente al medio ambiente y generando efectos nocivos para los organismos del suelo, sus consumidores o inclusive transmitirse a otros sistemas (Sánchez, 2005).

El uso de los plaguicidas e insecticidas en cultivos alteran el balance de la naturaleza, el cual desequilibra los sistemas ecológicos y a causa de esto producen varios fenómenos que probablemente afectan muchos de los elementos biológicos del suelo (Camazano, 1984). Por otro lado, a través de los años se han realizado diversas investigaciones sobre la simulación y modelación enfocadas al análisis de cultivos, en los cuales se han vertido agentes químicos con el fin de obtener una mejor producción, evitando la proliferación de plagas y enfermedades; mediante estos softwares se pueden modelar la contaminación del suelo y determinar el cambio de sus características físicas, químicas y permiten realizar estudios e investigaciones que nos benefician para el futuro.

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo modelar el transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de arveja mediante el software HYDRUS-1D en la vereda el Escorial, municipio de Pamplona, Norte de Santander. La importancia de estudio radica en determinar las concentraciones de estos contaminantes presentes en el suelo y así poder simular y modelar el transporte de estos mediante el software anteriormente mencionado y finalmente presentar una propuesta para el buen manejo de los plaguicidas e insecticidas que beneficie a los campesinos y al recurso suelo de dicha vereda; así mismo poder aportar con esta investigación a la falta de estudios sobre el tema de contaminación en el suelo producido por los plaguicidas e insecticidas aplicados a los cultivos de arveja en el municipio de Pamplona.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Pamplona, Norte de Santander se caracteriza por su actividad agrícola, siendo la principal fuente económica para los habitantes de la zona en estudio. Además, se conoce que hoy día, el uso intensivo del suelo ha generado una problemática de gran interés no sólo en éste municipio sino en Colombia y el mundo, debido al uso excesivo de plaguicidas e insecticidas, los cuales han provocado contaminación en el suelo, por el ingreso de sustancias químicas no deseables o perjudiciales para la estabilidad del mismo.

Por otro lado, existe gran preocupación sobre los efectos que producen los plaguicidas sobre el suelo, en los seres humanos, sobre los productos alimenticios como legumbres, hortalizas, frutas, entre otros. Así mismo, se ha confirmado que los plaguicidas afectan la fauna y la flora del suelo, dependiendo de los cambios en este medio, de las condiciones ecológicas y de las técnicas agrícolas en uso. Por ello, es de suma importancia tener en cuenta que al hacer uso de cualquier plaguicida e insecticida comienza un proceso de interacción entre éste y el medio, hasta que finaliza su efecto y así mismo desaparece en un tiempo determinado.

De esta manera, existen dos problemáticas principales en el municipio de Pamplona, primero es la falta de estudios sobre la contaminación en el suelo producido por los plaguicidas e insecticidas aplicados a los cultivos de arveja, y segundo que estos contaminantes generan un riesgo potencial sobre el ecosistema, los alimentos, el suelo y el suministro de agua.

Por consiguiente se realiza esta investigación para determinar si en la ciudad de Pamplona se utilizan de manera excesiva pesticidas e insecticidas que generan problemáticas por falta de conocimiento de los campesinos en la aplicabilidad de los químicos sobre las plantas, como también puede presentarse que se esté aplicando más químicos de los que requieren dichos cultivos y que a raíz de esto no permitan su debida producción.

Por lo tanto, se propone la siguiente pregunta: ¿Será que con la ejecución del proyecto podrá determinarse si el suelo de los cultivos está contaminado por el uso de plaguicidas e insecticidas, para de ésta manera plantear una solución que beneficie a los campesinos y al recurso suelo?

3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., (1992), el suelo es un recurso de la biosfera, controlando el transporte de elementos y sustancias químicas a la atmósfera, la hidrosfera y la biota. Así mismo, se considera como un recurso vital para el medio ambiente en desarrollo de actividades como producción, ambiente biótico, regulación climática e hidrológica, almacenamiento de nutrientes, control y manejo de residuos, análisis y control de la contaminación; y con respecto al ámbito social y económico el espacio vital, archivo patrimonial y espacio conectivo, entre otras.

Dentro de las características que se tienen en cuenta en los estudios de determinación de pesticidas o de modelación del comportamiento del pesticida en el suelo mediante software, son: intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones, tipo y uso del suelo, la capacidad de almacenaje, filtración, amortiguación y transformación en el suelo, por lo tanto esta investigación brindará información a las entes pertinentes de la región, a la academia sobre la modelación del comportamiento del pesticida e insecticida en el suelo utilizados para la producción de arveja. Además, será de utilidad para los campesinos y propietarios de cultivos en cuanto al uso de agroquímicos, con el fin de evitar un uso excesivo y desmedido de estos agentes químicos que pueden causar alteración del recurso suelo. De igual manera, el resultado de éste proyecto servirá de base para investigaciones futuras por parte de entidades o corporaciones ambientales, como es el caso de CORPONOR y que abarquen más a fondo ésta problemática, ya que en la actualidad no hay suficiente información o estudios enfocados a la contaminación del suelo por uso de productos químicos en los cultivos.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Modelar el transporte de plaguicidas e insecticidas mediante el software Hydrus-1D en suelos de cultivo de arveja en la vereda el Escorial ubicado en el municipio de Pamplona Norte de Santander.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar y aplicar encuesta para identificar los plaguicidas e insecticidas utilizados en los cultivos de arveja.
- Identificar los puntos de muestreo de suelo en la zona de estudio.
- Realizar la caracterización física y química de los suelos en cada cultivo de la zona de estudio.
- Determinar los plaguicidas e insecticidas que están siendo utilizados en la zona de estudio.
- Modelar y simular mediante el software HYDRUS-1D el transporte de estos contaminantes en el suelo.
- Presentar una propuesta para el manejo de estos contaminantes.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

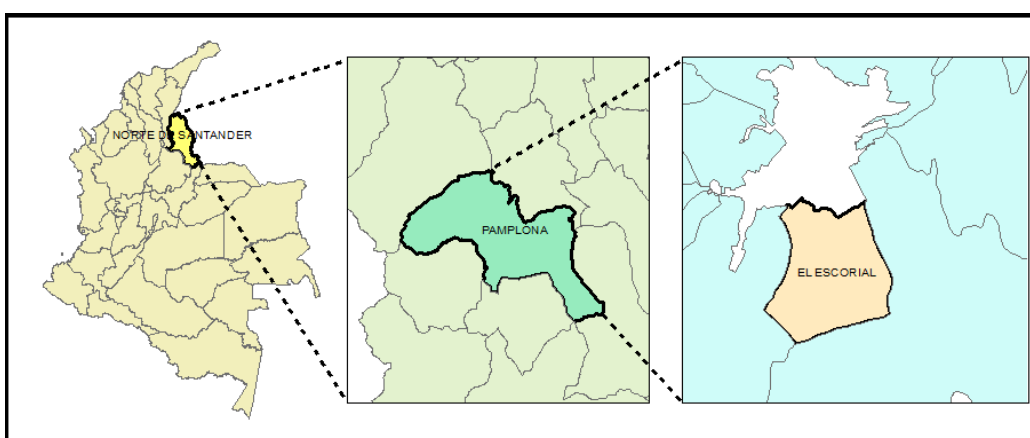
- se desea simular el transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de arveja en la vereda del Escorial, mediante el software Hydrus 1-D y determinar el comportamiento de compuestos químicos y su afectación al medio. A partir de esto se podrá sugerir recomendaciones a los propietarios de los cultivos.
- Por motivos de retraso de la columna y porque la columna solo es utilizada para pesticidas organoclorados, se tuvo que determinar solamente ese tipo de pesticidas en los cultivos de arveja, por lo que las encuestas realizadas a principio de la investigación no concuerdan con los plaguicidas e insecticidas nombrados por los propietarios.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONTEXTUAL

El presente proyecto se realizará en la vereda el Escorial ubicada en el municipio de Pamplona Norte de Santander (Figura 1), pamplona está situada en las coordenadas 72°39' de longitud al oeste de Greenwich y a 7° y 23' de latitud norte a 2.200 metros sobre el nivel del mar (Alcaldía de Pamplona, 2016).

Figura 1. Plano de localización de la zona de estudio.



Fuente: ESRI, (2016) editado por Moreno (2017).

La vereda el Escorial se encuentra ubicada en las coordenadas 07°21'23.09" N y 072°38'45.06" O a una elevación de 2475 metros respectivamente. De acuerdo con Corponor, (2009) los principales productos agropecuarios de la vereda son la papa, fresa, hortalizas, arveja, bovinos y ovinos. El área de la zona de estudio se distribuye en 3 parcelas de cultivos de arveja, pertenecientes a 1 predio alrededor de la cuenca el Espejito (Tabla 1), tomando los puntos de muestreo georeferenciados con GPS, necesarios para el análisis de muestras del suelo y desarrollo de la investigación (Figura 2 y 3).

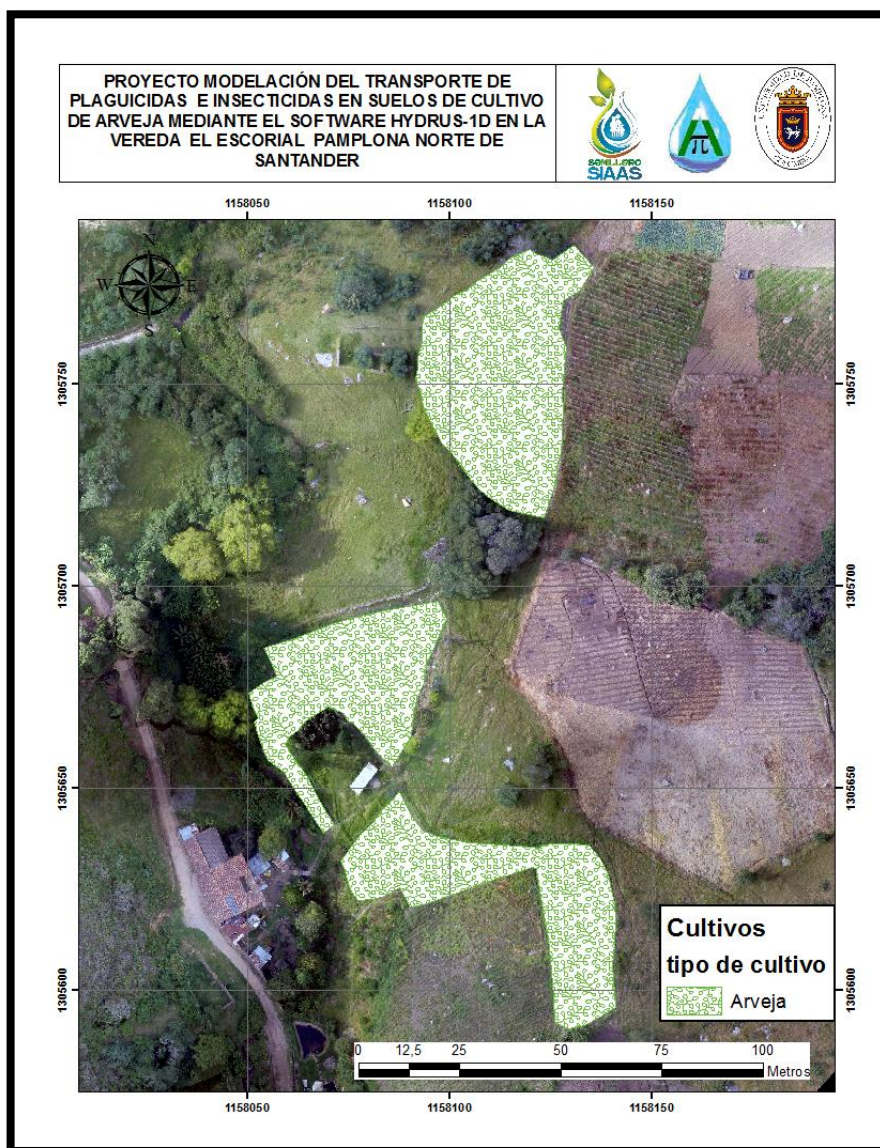
Tabla 1. Ubicación de los predios y cultivos.

NOMBRE DEL PREDIO	TIPO DE CULTIVO	COORDENADAS	ALTITUD
Juan Gómez	Arveja 1	N: 07° 21' 30.4" W: 072° 38' 43.8"	2459 m
Juan Gómez	Arveja 2	N: 07° 21' 27.7" W: 072° 38' 45.4"	2463 m

Juan Gómez	Arveja 3	N: 07° 21' 28.6" W: 072° 38' 46.0"	2450 m
El Escorial	(No contaminado)	N: 07° 21' 09.7" W: 072° 38' 43.4"	2510 m

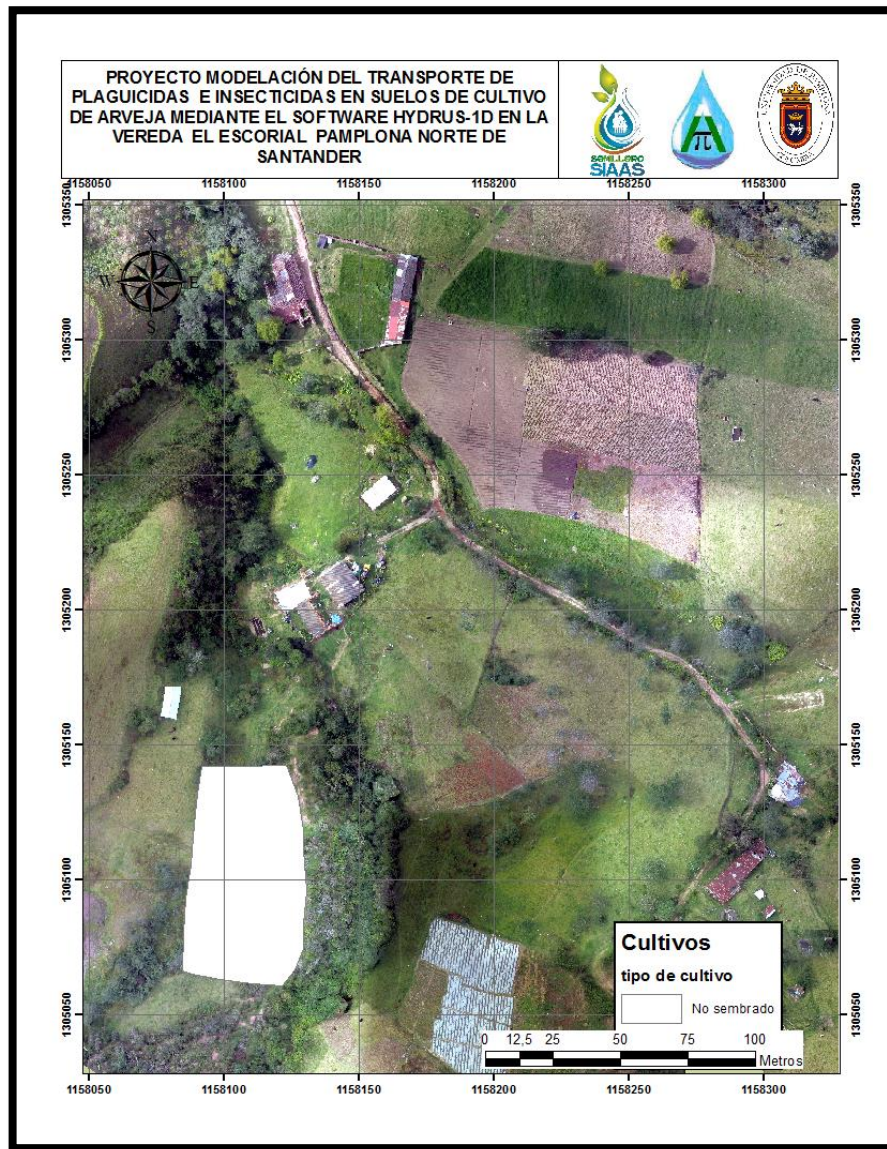
Fuente: Moreno (2017).

Figura 2. Mapa de localización de los cultivos de arveja en la vereda el Escorial.



Fuente: Moreno (2017).

Figura 3. Mapa de localización del suelo no contaminado en la vereda el Escorial.



Fuente: Moreno (2017).

El área de estudio establecida se escogió con base en la ubicación de los cultivos de arveja de la zona de estudio, debido a que se cuenta con agricultores dedicados a la producción de dichos cultivos, además por el acceso para realizar las visitas de campo, toma de muestras entre otras actividades.

6.2 ANTECEDENTES

En el estudio realizado por Müller (1940) muestra que el desarrollo de los plaguicidas marca una fase importante en el descubrimiento de las propiedades del DDT (1, 1,1- tricloro-2,2-bis (p-clorofeniletano), aunque este compuesto había sido sintetizado y descrito químicamente a finales del siglo pasado no se conocían sus propiedades insecticidas. Después del descubrimiento de la acción insecticida del DDT en Suiza, se descubría simultáneamente en Francia y en el Reino Unido la del HCH (hexaclorociclohexano) y algunos años más tarde Schrader (1941) sintetizaba los primeros compuestos organofosforados y descubría su acción insecticida. Posteriormente, con la ayuda de los estudios científicos sobre plantas e insectos, se marca una nueva etapa en el desarrollo de nuevos herbicidas e insecticidas.

Pero las investigaciones recientes de Smith y Secoy (1986) del Centro de Investigación Agrícola de Canadá en Regina han demostrado que el origen de algunos de los actuales métodos de lucha contra las plagas se conocía hace dos mil años. Gogerty (1978) considera que estos investigadores han dedicado varios años a analizar la naturaleza biológica y química de los medios de lucha contra las plagas usados en la Antigüedad y Smith concluye en sus investigaciones que resulta difícil calibrar a tan largo plazo el valor de las prácticas plaguicidas de las que fueron pioneros los agricultores mediterráneos.

Según Boroukhovitch (1992), el uso inadecuado de los plaguicidas puede provocar problemas bioecológicos y contaminación ambiental. Entre los primeros menciona la eliminación de enemigos naturales de plagas y enfermedades, resistencia a las mismas, surgimiento de nuevas especies como plagas y eliminación de fauna útil, entre otros. Algunas poblaciones de organismos controladas naturalmente, al ser eliminados sus parásitos o depredadores por los plaguicidas, aumentan su número hasta niveles de importancia económica, constituyéndose en una plaga. Por otra parte, la aplicación masiva de plaguicidas puede generar resistencia de las plagas, lo que provoca que al cabo de algunos años el producto sea ineficiente, aún a dosis más elevadas o aplicaciones más frecuentes.

Es de recalcar que cuando un plaguicida es aplicado a un cultivo, solamente alcanza el organismo "blanco" aproximadamente el 1%, mientras que el 25 % es retenido en el follaje, el 30 % llega al suelo y el 44 % restante es exportado a la atmósfera y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación (Brady y Weil, 1996). Posteriormente el compuesto puede ser transportado desde el suelo hacia el aire, agua o vegetación, pudiendo entrar en contacto por inhalación o ingestión con una amplia gama de organismos, incluyendo los seres humanos (Wesseling, 1997).

De acuerdo con Carmona, Henao y Garcés (2000) la progresiva contaminación y degradación del ambiente en el nivel local y global, la reducción de la biodiversidad,

los evidentes daños a la salud de los trabajadores expuestos a los riesgos que implica el uso de plaguicidas para la población en general han impulsado a diversas organizaciones no gubernamentales, agrupaciones de trabajadores y consumidores, universidades y personas participantes en este seminario a investigar durante las últimas décadas sobre los efectos de los plaguicidas y de los cultivos en la salud y el ambiente.

A continuación se presentan diversas investigaciones que han sido realizadas a través de los años y en las que han sido aplicados la modelación y simulación del comportamiento de los plaguicidas, insecticidas entre otros:

- Para Evangelista y Morell (1998) en su investigación sobre la Adsorción de herbicidas en suelos y la aplicación al estudio del comportamiento de Imazamethabenz – Methyl en suelos de cultivo, describe la metodología para el estudio de la adsorción de herbicidas en suelos de cultivo. Como aplicación se presenta la cinética de adsorción, la modelización del equilibrio de adsorción y el estudio de la histéresis en la desorción de Imazamethabenz - Methyl (IMZ) en suelos.
- En la determinación de plaguicidas organofosforados en vegetales producidos en Colombia realizada por Murcia y Stashenko (2008) se determinó los plaguicidas organofosforados: clorpirifos, diazinon, disulfotón, metil paratión, malatión, profenofos, y etión, en muestras de papa, cebolla, tomate, manzana, fresas y uvas; con el fin de conocer los niveles residuales de estos plaguicidas en vegetales producidos y consumidos en Colombia, mediante la implementación de un método multiresiduo con posterior análisis de muestras adquiridas en el mercado local de Bucaramanga, Colombia. En dicha determinación, se observó que el total de las muestras analizadas (35), contiene residuos de más de dos plaguicidas organofosforados (el 6 % de las muestras contiene residuos de 2 plaguicidas, el 17 % de 3, el 20 % de 4, el 46% de 5 y el 11 % de 6); además para el plaguicida profenofos se excede el MRL (Límite Máximo Residual) en más del 50 % de los casos.
- Según Cancaviri y Guaygua (2015) en su estudio denominado modelación matemática de contaminantes (metales pesados y pesticidas) en columnas de suelo, consistía en modelar el proceso de transporte de metales pesados y pesticidas a través del perfil del suelo (columnas) y obtener los parámetros de transporte, se tomaron cuatro muestras en distintos sectores de Cochabamba, luego de una caracterización física y química se montaron las columnas experimentales y se realizaron las pruebas de rotura y se calibraron los parámetros de dispersión y velocidad (D y v) con el CDE-model. Finalmente, se realizaron migraciones de tanto metales pesados como pesticidas y se calibro el coeficiente de distribución K_d y la retardación R . Los resultados de la modelación en Hydrus-1d con los parámetros

calibrados se ajustan a los datos obtenidos en laboratorio con unas eficiencias superiores a 0.97 en todos los casos.

- En la modelación matemática del transporte de oxadixyl en suelos de cultivo de cebolla elaborado por Martínez Cordón (2015), se llevó a cabo a través de columnas de suelo (30 cm de longitud y 14 cm de diámetro) en condiciones de laboratorio, utilizando un suelo de cultivo de cebolla del lago de Tota (Boyacá, Colombia). Para ello, inyectaron un pulso de solución de CaCl_2 0,01 M, que contenía un trazador (bromuro) y oxadixyl en la superficie del suelo de la columna, luego se aplicó lluvia simulada a una intensidad de 0,034 cm h⁻¹. Después de 2,13 volúmenes relativos de poro, en 30 días, el porcentaje de oxadixyl recuperado en la parte inferior de la columna fue de 92,1%. La curva experimental de elución de oxadixyl se analizó utilizando el programa Stanmod (problema inverso) para obtener los parámetros de transporte. El factor de retardo calculado para el fungicida fue de 3,94 y el coeficiente de partición, K_d , fue cercano a 1Kg L⁻¹, lo que indica una baja adsorción en este suelo. Bajo estas condiciones experimentales, oxadixyl es móvil en este suelo y presenta un riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas.
- En el estudio sobre la Contaminación de suelos y aguas Subterráneas por pesticidas Orgánicos realizada por Germann (2015), donde realiza una descripción del nivel de la técnica de los modelos disponibles para el destino y el transporte de los plaguicidas, centrándose en el suelo y las aguas subterráneas como medios contaminados. Se ha investigado cómo estos modelos, por ejemplo el PESTAN, trabajan y cómo de adecuados y realistas son los resultados. Para la aplicación se usó datos de la plana de Valencia. Para probar la funcionalidad de PESTAN como programa de modelación se analiza la aplicación de los datos de ejemplo en base a las circunstancias reales en la plana de Valencia, se aplican y se analizan las variaciones debido a los cambios ligeros aparentes en el tipo de suelo (arena arcillosa a franco arenoso), también se estudia la sensibilidad y variaciones en los datos de salida debido al aumento y la disminución de cantidad de pesticida descargada.
- El objetivo del estudio realizado por A. Quijano, Portilla., M. Quijano (2016) sobre la identificación de carbamatos en el cultivo de durazno fue identificar en los suelos del cultivo de durazno y en el fruto un pesticida toxico como es el carbofurano, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria de un fruto muy consumido en la provincia de Pamplona, Colombia. El carbofurano estudiado en el suelo y el fruto del cultivo de durazno fue extraído por ultrasonido utilizando como solvente hexano-acetona. La identificación del carbofurano se realizó por cromatografía de gases utilizando un detector de microcaptura de electrones (μECD). Se encontró en el suelo del cultivo de

durazno la presencia de carbofurano, uno de los pesticidas de carbamatos más tóxicos, no obstante, en el fruto (durazno) no se encontró la presencia del carbofurano. Al no detectarse la presencia de carbofurano en el fruto del durazno, se garantiza que el fruto no absorbe este toxico y de esta manera se garantiza su seguridad alimentaria.

6.3 MARCO TEORICO

6.3.1 Hidrometeorología, Geología y Suelos

➤ Variables hidrometeorológicas

En el foro peruano Global Water (2011), se determinó que las variables hidrometeorológicas son las que intervienen en el proceso del ciclo hidrológico, las cuales deben ser analizadas para así poder interpretar correctamente su incidencia en el comportamiento de los contaminantes en suelo, entre los cuales tenemos:

- ❖ **Caudal**, según Soriano (2011) es el volumen de fluido que atraviesa una sección del ducto por unidad de tiempo, generalmente se mide en m^3/s y está directamente influido por la precipitación sobre la cuenca, la cobertura vegetal y las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca.
- ❖ **Evaporación** - proceso por el cual las moléculas en estado líquido se hacen gaseosas espontáneamente, la evaporación puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se expone a un volumen significativo de gas. Así mismo existen factores que influyen en este proceso, como la concentración de la sustancia que se evapora en el aire, tasa de flujo de aire, concentración de otras sustancias en el líquido (impurezas), temperatura de la sustancia, fuerzas intermoleculares, área superficial y el calentamiento (Pérez, 2012).
- ❖ **Transpiración**. Para la Universidad Complutense de Madrid (2017), la transpiración es el transporte y evaporación de agua desde el suelo a la atmosfera a través de las plantas. Las variables que influyen son las altas temperaturas ya que produce una mayor pérdida de agua por parte de los cultivos, el exceso de la radiación solar debido a que incrementa la transpiración por la apertura estomática, la humedad relativa porque el bajo contenido de humedad en la atmosfera facilita la transpiración y la velocidad del viento ya que arrastra el vapor de agua que rodea a la superficie de las hojas e incrementa la transpiración.

- ❖ **Evapotranspiración** es la suma de dos fenómenos sobre la relación cultivo-suelo, la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo, constituyendo así mismo la pérdida de agua. La evapotranspiración está influida por el tipo de cobertura vegetal, la disponibilidad de humedad en el suelo, la profundidad del manto freático, la radiación solar y la temperatura (EcuRed, 2017).
- ❖ **Humedad del aire** es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera; está directamente influida por la temperatura, radiación solar, el viento, disponibilidad de humedad en el suelo y el tipo de vegetación (Fallas, 2011).
- ❖ **Interceptación.** Según Pérez (2012) es la precipitación que intercepta el follaje de las plantas y las copas de los arboles, es decir, agua que finalmente de evapora y vuelve a la atmosfera; está influida por el tipo de vegetación.
- ❖ **Neblina.** fenómeno meteorológico y según Fink (2015) consiste en la suspensión de pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200micrómetros de diámetro que reducen la visibilidad horizontal de un kilómetro o más.
- ❖ **Nubes.** La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2017) define nube como un hidrometeoro consistente en una suspensión en la atmósfera de partículas minúsculas de agua líquida o de hielo.
- ❖ **Precipitación** es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra y está directamente influida por los vientos, la topografía del área, presión atmosférica, presencia de frentes y temperatura (Pérez, 2012).
- ❖ **Presión atmosférica,** para Aranda (1998) es el aire, como cualquier otro cuerpo, pesa y se llama presión atmosférica en un lugar determinado, al peso del aire que gravita sobre una unidad de área de tal lugar. Así mismo varía para un mismo sitio con la naturaleza de las diferentes capas de aire que gravitan sobre dicho lugar, ya que el aire caliente pesa menos que el frío y el húmedo menos que el seco.
- ❖ **Radiación solar** es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas provenientes del sol. El sol emite un amplio espectro de radiaciones, desde rayos gamma hasta longitudes de onda largas y de tipo

infrarrojo, pero la radiación solar ocupa todo el espectro de la luz visible, es decir desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. (Ecoadmin, 2012).

- ❖ **Temperatura**, según Fernández (2016) es una magnitud física de la materia que expresa las nociones de calor y frío de manera cuantitativa, es medible con un termómetro, los cuales pueden ser calibrados a diferentes escalas de temperatura.
- ❖ **Viento** considerado por Roth (2014) es uno de los principales investigadores que ha basado su trabajo en este fenómeno y explica que el viento es la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos separados por distancias de gran variedad. Está directamente influido por la presencia de frentes.

➤ **Características geológicas del suelo**

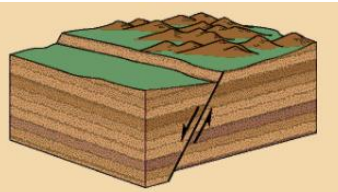
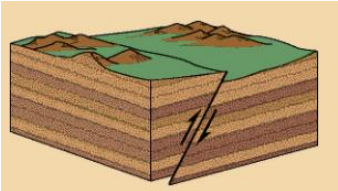
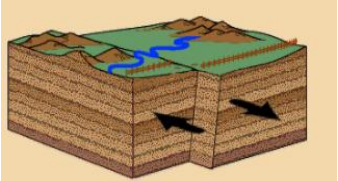
La formación geológica del suelo cumple un papel muy importante al momento de analizar el comportamiento de los agroquímicos en este medio, ya que factores como la permeabilidad, infiltración, tipo de suelo, topografía del terreno, entre otros, influyen en la velocidad de transporte de estos agentes, así como en su permanencia o incidencia en el ambiente.

Por tal motivo fue de vital importancia realizar un análisis geológico en la zona de estudio que permita establecer las características propias del terreno y pueda lograrse el desarrollo satisfactorio de la investigación.

Según Torres (1994) una formación geológica es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencias de las adyacentes, las cuales pueden asociarse en unidades mayores (grupos), subdividirse (miembros) o diferenciarse unidades menores significativas (capas).

Por otro lado, para Russell (2010) una falla geológica es una grieta en la corteza terrestre y están asociadas con los límites entre las placas tectónicas de la tierra. El tipo de movimiento a lo largo de una falla depende del tipo de falla (Tabla 2)

Tabla 2. Principales tipos de fallas

<p>Fallas normales</p> 	<p>Se producen en áreas donde las rocas se están separando de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar más espacio.</p>
<p>Fallas inversas</p> 	<p>Ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio.</p>
<p>Falla de transición</p> 	<p>Las fallas de desgarre no dan origen a precipicios o fallas escarpadas porque los bloques de roca no se mueven hacia arriba o abajo en relación al otro.</p>

Fuente: Russell (2010)

Así mismo, se resalta que el suelo es un recurso natural importante para la actividad económica, dado su papel de insumo esencial en actividades como la agricultura, sin embargo es altamente vulnerable, por su sobreutilización por parte de dichas actividades puede llegar a afectarlo irreversiblemente. Esto puede generar, como consecuencia, la pérdida de sus funciones ambientales y, por ende, la disminución de sus bienes y servicios (Silva y Correa, 2009).

A continuación se abordan algunas bases teóricas importantes que están relacionados con la investigación actual.

Autores como Rucks, Garcia, Kaplan y Ponce de León (2010) opinan que la propiedad del suelo como la **Porosidad** pueden ser macroscópicos y microscópicos; los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares.

El término para describir la cantidad de espacio poroso se muestra en la ecuación 1.

$$p = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde, P– Porosidad total, Da – Densidad aparente y Dr – Densidad real.

En la tabla 3 se presentan los valores de porosidad total e interpretación. Generalmente, los suelos bajo sistemas de producción agrícola intensiva tienden a compactarse, y al reducir su porosidad pierden parte de su potencialidad de producción.

Tabla 3. Valores orientativos de la porosidad total de un suelo y su interpretación.

Porosidad total (%)	Interpretación
< 30	Muy baja
30 – 40	Baja
40 – 50	Media
50 – 60	Alta
> 60	Muy alta

Fuente: Delgadillo y Martínez (2010)

- **Conductividad hidráulica.** Para determinar el coeficiente de conductividad hidráulica se utiliza el modelo de Richards presentado en la ecuación 2.

$$Kw = a * (Ua - Uw) + b \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde, Kw - Conductividad hidráulica, a y b – Constantes, (Ua – Uw) - Succión matricial.

Frankie (2013) considera que la **Permeabilidad** es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que permitan un paso fácil del fluido a través del material. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material. (Frankie, 2013).

De la ley de Darcy (Ecuación 3) se deriva una fórmula que relaciona el volumen de agua que atraviesa una muestra con su permeabilidad teniendo en cuenta el diferencial de presión

$$Q = K * I * A \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde, Q - Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo (cm³/h), K - Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (cm/h), I - Gradiente piezométrico disponible (m/m), A - Sección transversal por donde se filtra el agua en la muestra (cm²).

Así mismo, se tuvo en cuenta el Método de Gilg-Gavard, en el cual se introduce un caudal constante, Q, para mantener el nivel del agua dentro del sondeo estabilizado a una altura hm.

La permeabilidad (o conductividad hidráulica) K se obtiene por la ecuación 4.

$$K = \frac{Q}{600 * A * hm} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde, K - permeabilidad (cm/seg), Q - caudal inyectado (litros/minuto), hm - altura constante del agua por encima del nivel inicial (metros), A - factor de forma, según Custodio (1983):

$$A = (1,032 * L + 30 d) \quad (\text{Si } L > 6 \text{ m})$$

$$A = (1,032 * L + 30 d) * (-0,014 L^2 + 0,178 L + 0,481) \quad (\text{Si } L < 6 \text{ m})$$

Donde, L - longitud de la zona filtrante (metros), d - diámetro de la zona filtrante (metros).

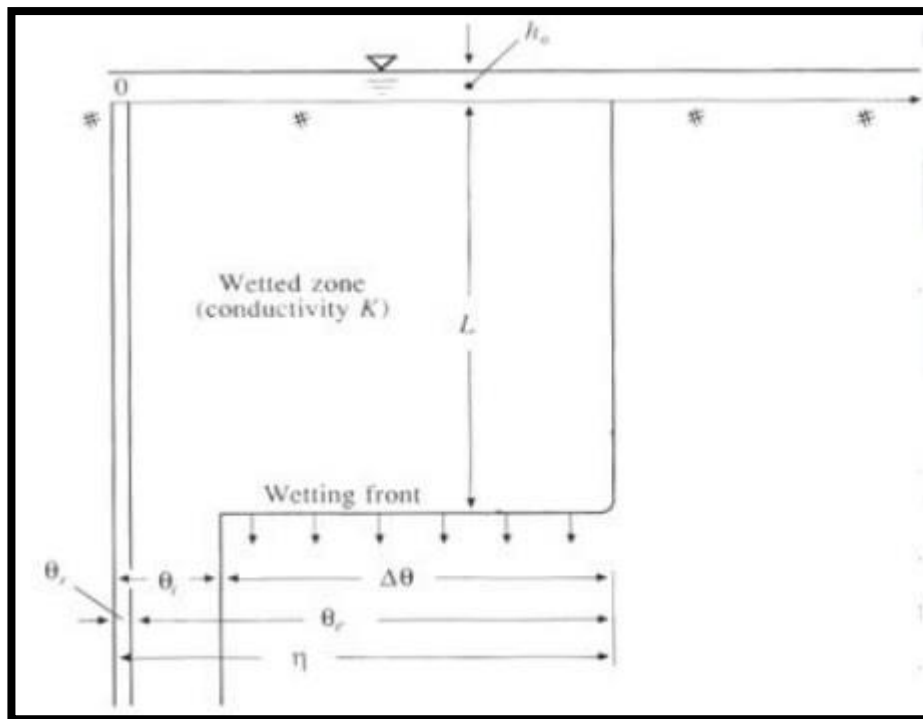
Otro ensayo utilizado es el Permeámetro de Carga Constante. Este ensayo consta de dos reservorios donde los niveles de agua son mantenidos constantes. Manteniendo la carga h, durante un cierto tiempo, el agua filtrada es colectada y su volumen es medido. Conociendo la filtración y las dimensiones del cuerpo de prueba (longitud L y el área de la sección transversal A), se calcula el valor de la permeabilidad, k, a través de la ecuación:

$$K = \frac{q * L}{A * h * t} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde, q - es la cantidad de agua medida en la probeta (cm^3), L - es la longitud de la muestra medida en el sentido del flujo (cm), A - área de la sección transversal de la muestra (cm^2), h - diferencia del nivel entre el reservorio superior e inferior (cm), t - es el tiempo medido entre el inicio y el fin del ensayo (seg).

Método de Green-Ampt. Este método es un modelo físico sencillo (Figura 4) basado en hipótesis heurísticas que tiene una solución exacta. Se asume que el frente de mojado está determinado por una transición brusca que separa el suelo inferior con humedad θ_i del suelo superior (saturado) con contenido de humedad $\theta_0=n$, donde n es la porosidad. El frente de mojado ha penetrado hasta una profundidad $L(t)$. En la superficie ($z=0$), el suelo se encuentra encharcado con superficie libre en $z=h_0$.

Figura 4. Esquema del modelo de Green-Ampt.



Fuente: Chow et al (1994).

La ecuación 6 es conocida como la ecuación de Green-Ampt para la infiltración acumulada.

$$F(t) - \phi \Delta\theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\phi \Delta\theta} \right) = Kt \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde, K - conductividad hidráulica, φ - carga de succión de suelo en el frente de mojado, F - Tasa de infiltración.

Otro proceso de gran importancia en el movimiento de los pesticidas, insecticidas en el suelo es la **Infiltración**, la cual permite que el agua penetre en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada por la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Esta parte del proceso recibe distintas denominaciones: percolación, infiltración eficaz, infiltración profunda, etc. (Mijares, 1999).

De esta manera, se tuvo en cuenta el método de Horton, el cual estudia la capacidad de infiltración de la siguiente forma:

$$fp = fc + (fo - fc) * e^{-kt} \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde, fp – capacidad de infiltración (mm/día), fc – capacidad final o equilibrio (mm/día), fo – capacidad inicial (mm/día), K – coeficiente de decrecimiento de la capacidad de infiltración en el tiempo.

Otro ensayo utilizado es el método de Kostiakov, una ecuación empírica basada en un modelo exponencial:

$$f = a * t^b \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde, f – velocidad de infiltración (mm/min), a y b – parámetros de ajuste, t – tiempo (min).

Sin duda alguna, otra variable de analizar es el **Tipo de suelo**, que según Flores (2009) esta formado por partículas de diferente tamaño, producto de la desfragmentación de las rocas. De acuerdo al diametro y orden creciente de las partículas se pueden clasificar según su forma física y su estructura.

Los suelos se pueden clasificar según su evolución, composición, capacidad de uso en la agricultura y textura (Tabla 4). Las partículas minerales que constituyen el suelo poseen diferentes tamaños denominados arena, limo y arcilla, de mayor a menor; es por eso que la textura del suelo depende de la partícula mineral de mayor abundancia en él. (Ortega, 2014).

Tabla 4.Tipos de suelos más comunes.

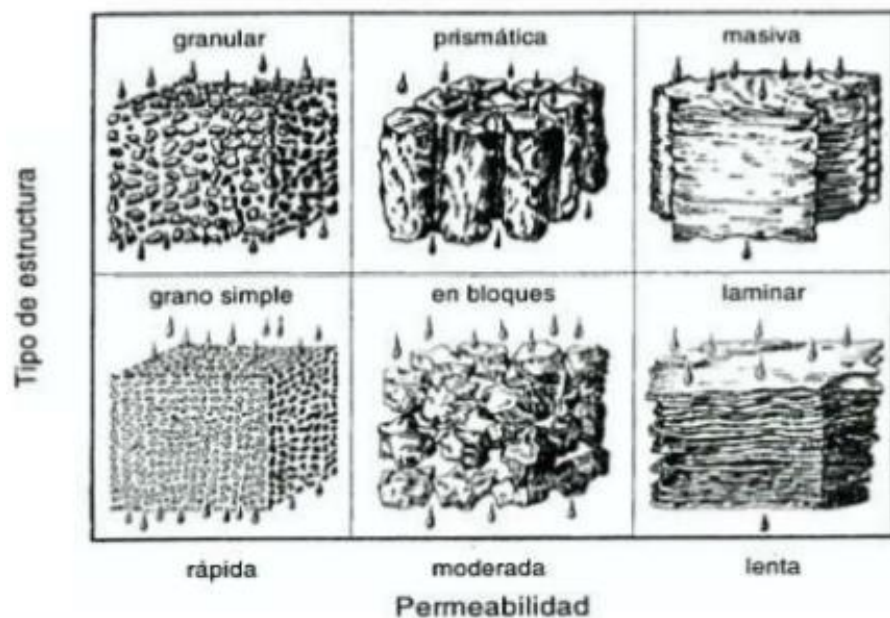
<p style="text-align: center;">Gravas</p> 	<p>Rocas formadas por clastos de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros, originados por la fragmentación de diferentes rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial.</p>
<p style="text-align: center;">Arenas</p> 	<p>Por el tamaño grande de sus partículas, estos suelos no retienen el agua que baja a zonas profundas, son de color claro y debido a que no tiene mucha materia orgánica no son útiles para la agricultura.</p>
<p style="text-align: center;">Limos</p> 	<p>Partículas de tamaño mediano, por ello son suelos que no filtran el agua de manera rápida, contiene buena materia orgánica pero se compacta mucho al secarse.</p>
<p style="text-align: center;">Arcillas</p> 	<p>Partículas de menor tamaño, casi impermeable pero muy compacto en ausencia de agua, contienen mucha materia orgánica pero cuando están secos no permiten el crecimiento de las raíces.</p>
<p style="text-align: center;">Combinados</p> 	<p>Aquellos que tienen aproximadamente la misma proporción de las tres clases de partículas minerales y por ello tiene propiedades que lo hacen ideal para la agricultura.</p>

Fuente: Ortega (2014).

La formación de la estructura implica aglutinar y cementar las partículas individuales que componen los sólidos del suelo en unas de tamaño más grandes denominadas agregados las cuales se mantienen unidas en el tiempo. Es de gran importancia saber que un suelo con buena estructura es fácil de cultivar debido a que no es arrastrado por la lluvia ni el viento, en cambio, un suelo con mala estructura hace que el aire no penetre en él y lo convierte en una masa húmeda (Campos, 2013).

En la figura 5 se observa la permeabilidad del suelo con relación a su estructura y textura.

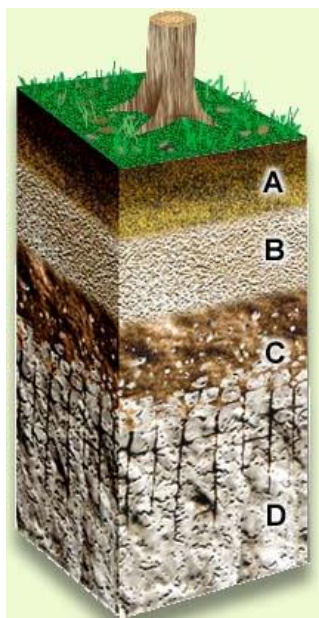
Figura 5. Tipos de estructura del suelo y sus efectos sobre la permeabilidad.



Fuente: Campos (2013)

Según Herrera (2014), los **horizontes** del suelo son una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes caracteres de composición, textura, adherencia, etc. El perfil del suelo es la organización vertical de todos estos horizontes. Clásicamente, se distingue en los suelos completos o evolucionados cuatro horizontes fundamentales, ilustrados en la tabla 5.

Tabla 5. Horizontes del suelo.



A	Es el más superficial y en él enraíza la vegetación herbácea, su color es oscuro, de fragmentos finos y compuestos solubles.
B	Carece de humus por lo que su color es más claro (pardo o rojo), en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba como materiales arcillosos.
C	Está constituido por la parte más alta del material rocoso in situ, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química
D	Es el material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa.

Fuente: Barbudo (2012).

Según Rojas (2016) el suelo generalmente se contamina de diversas formas:

- a) Cuando se rompen tanques de almacenamiento subterráneo,
- b) Cuando se aplican pesticidas, por filtraciones del alcantarillado y pozos ciegos, o por acumulación directa de productos industriales o radioactivos. Los productos químicos más comunes incluyen derivados del petróleo, solventes, pesticidas y otros metales pesados.

Este fenómeno está estrechamente relacionado con el grado de industrialización e intensidad del uso de productos químicos. Específicamente, el uso de sustancias tóxicas, como los plaguicidas, insecticidas, entre otros, pueden llegar a generar efectos negativos en el recurso suelo, debido a que sus características fundamentales como persistencia, vida media y toxicidad, entre otras, pueden destruir los componentes de este recurso y llevarlo a su destrucción.

➤ **Factores físico y químicos que influyen en el destino de los contaminantes y en el transporte ambiental**

La **Volatilización** representa la tendencia del plaguicida a pasar a la fase gaseosa. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado

dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente. La volatilidad se mide a partir de la constante de Henry que depende de la presión de vapor en estado líquido y de la solubilidad en agua (Gentile, 2017).

Entiéndase por **Presión de Vapor** como un parámetro fisicoquímico que define en mayor medida la capacidad de una sustancia para volatilizarse, también se puede decir que es una magnitud termodinámica que corresponde a la presión que ejerce un gas en equilibrio con su fase pura condensada más estable a la temperatura indicada (Doménech, 2006).

Además es una medida de volatilidad de una sustancia química (plaguicida) en estado puro y es un determinante importante de la velocidad de volatilización al aire contaminado (Tabla 6). La presión de vapor varía; se incrementa la presión cuando se incrementa la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura (Cicoplafest, 1998).

Tabla 6. Presión de vapor de un plaguicida.

PRESIÓN DE VAPOR DEL PLAGUICIDA	AFINIDAD DEL PLAGUICIDA AL SUELO O AGUA	PLAGUICIDA
$< 1.0 \times 10^{-8}$	Alta	BAJO POTENCIAL PARA VOLATILIZARSE Se puede solubilizar en agua o ser retenido en suelo.
$< 1.0 \times 10^{-3}$	Baja	ALTO POTENCIAL PARA VOLATILIZARSE

Fuente: Cicoplafest (1998).

Sin duda alguna, otra variable importante es la **Persistencia**, entendida como la capacidad de cualquier plaguicida para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio en el cual es transportado o distribuido, durante un período limitado después de su emisión (Cicoplafest, 1998).

Los plaguicidas que persisten más tiempo en el ambiente, tienen mayor probabilidad de interactuar con los diversos elementos que conforman los ecosistemas (Tabla 7).

Tabla 7. Persistencia de un plaguicida.

PERSISTENCIA	TIEMPO
Ligeramente persistente	Menor de 4 semanas
Poco persistente	De 4 a 26 semanas
Moderadamente persistente	De 27 a 52 semanas
Altamente persistente	De 1 a 20 años
Permanentes	Mayor de 20 años

Fuente: Cicoplafest (1998).

Para Sancho (2005), la **vida media** de un contaminante es el periodo de tiempo que puede permanecer en el suelo como tal o participando en variadas y a veces complejas reacciones químicas. También es definida como el tiempo (en días, semanas o años) requerido para que la mitad del plaguicida presente después de una aplicación se descomponga en productos de degradación. La descomposición depende de varios factores incluidos la temperatura, el pH del suelo, los microorganismos presentes en el suelo, clima, exposición del plaguicida a la luz, agua y oxígeno (Cicoplafest, 1998).

Según Ramirez y Lacasaña (2003), la vida media de los plaguicidas se clasifican en permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes; además que por su estructura química los plaguicidas se clasifican en diversas familias que incluyen desde los compuestos organoclorados y organofosforados hasta compuestos inorgánicos. Así mismo, Jenkins y Thomson (1999) señalan que muchas sustancias resultantes de la descomposición de un plaguicida pueden ser también tóxicas y tener vidas medias significativas. Existen diferentes tipos de clasificar a la vida media de un plaguicida, como son:

- ❖ **Vida media en suelo** - tiempo requerido para que un plaguicida se degrade en el suelo. La vida media está determinada por el tipo de organismos presentes en el suelo, el tipo de suelo (arena, arcilla, limo), pH y temperatura, entre otros.
- ❖ **Vida media por Fotólisis** - tiempo requerido para que la mitad de un plaguicida aplicado expuesto a la luz del sol se degrade.
- ❖ **Vida media por Hidrólisis** - tiempo requerido para que la mitad de un plaguicida aplicado se degrade por la acción del agua.

6.3.2 Agentes contaminantes del suelo

Los diferentes agentes contaminantes, utilizados en la producción de cultivos son la fuente más importante de contaminación difusa hacia las aguas subterráneas, y su

descarga en la superficie del agua puede ser un factor que contribuye a la disminución de los recursos vivos y el deterioro de los ecosistemas (FAO, 1990).

Como sistema abierto, el suelo está sujeto a adición o remoción de compuestos antropogénicos y naturales entre ellos los insecticidas y plaguicidas, que son un grupo de compuestos estudiados ampliamente dados sus efectos secundarios en la microflora del suelo. Los pesticidas son compuestos orgánicos utilizados en la agricultura y en la protección de los ambientes con el fin de interrumpir el crecimiento de organismos como insectos o hierbas denominados plagas. Si no se llegara a aplicar el decreto 775 del 16 de abril de 1990 referente al uso y manejo de plaguicidas en Colombia, los niveles elevados de pesticidas en ambientes acuáticos o terrestres podrían causar numerosos problemas al ambiente, vida silvestre y salud humana. (Betancur, 2013).

➤ **Insecticidas y plaguicidas aplicados en cultivos**

Los **Insecticidas** se encuentran incluidos en la clasificación general de los plaguicidas. Son aquellas sustancias u organismos que matan a los insectos por medio de su acción química, física o biológica. Son importantes para el control de plagas de insectos en la agricultura o para eliminar todos aquellos que afectan la salud humana y animal (Metcalf y Flint, 1979). Según Acevedo (2015), en la mayoría de los casos, los insecticidas hacen referencia a productos químicos que matan a los insectos, los cuales pueden ser agrupados en venenos estomacales, venenos de contacto y fumigantes.

Características ideales de un insecticida:

- ❖ **Gran especificidad.** El producto solo afecta al organismo al que daña, dejando indemnes al resto de seres vivos y al medio ambiente.
- ❖ **Baja toxicidad en humanos.** El producto reviste un riesgo bajo tanto para sufrir intoxicaciones agudas como a exposiciones a bajas dosis.
- ❖ **Baja toxicidad para resto de fauna.** Se contempla habitualmente su toxicidad para la fauna dulce acuícola y la fauna polinizadora (abejas).
- ❖ **Baja dosis letal.** El insecticida es efectivo con poca cantidad.
- ❖ **Bajo coste.** El producto tiene que ser barato de bajo costo.

- ❖ **De característica latente.** El insecticida permanece en el lugar durante un período de tiempo suficiente para interactuar y matar a la población constituyente de plaga a combatir.
- ❖ **No persistente ni acumulable.** Debe degradarse sin producir subproductos tóxicos, es decir no ser persistente ni acumularse en los tejidos de los animales de la cadena trófica tras haber actuado.
- ❖ **Insecticida biológico** también denominados bioinsecticidas, productos de origen natural o incluso organismos vivos que sirven para el control de insectos, son un componente clave en los programas de control integrado de plagas, recibiendo además gran importancia como medio de reducir la cantidad de insecticidas sintéticos utilizados en el control de plagas y enfermedades en los cultivos. En la mayoría de los sistemas de producción no se contemplan como sustitutos totales de los pesticidas e insecticidas sintéticos si no como un complemento y una forma de poder rotar los productos utilizados de modo que retrase o elimine la aparición de resistencias a los insecticidas. En agricultura ecológica los bioinsecticidas pueden suponer una herramienta valiosa para suplementar la rica variedad de prácticas culturales que eviten los daños en las cosechas. (Bonet, 2009).

Existen ventajas y desventajas de los pesticidas biológicos, las cuales se especifican a continuación:

Las ventajas de los pesticidas biológicos son: a) No producen residuos peligrosos, b) Reduce significativamente el impacto sobre las especies que no son objeto de los tratamientos, c) Cuando son producidos localmente pueden ser más económicos que los insecticidas químicos, d) A largo plazo también pueden ser más efectivos que los pesticidas sintéticos.

Dentro de las Desventajas, se tienen: a) Alta especificidad, que hace necesaria una identificación exacta de la plaga y su patógeno y puede hacer necesario utilizar muchos bioinsecticidas. Esto solo se da en casos de parasitismo, por ejemplo hongos que ataquen insectos, en los que hay de por medio procesos de coevolución. Pero en relaciones con alta cercanía taxonómica, por ejemplo hongos contra hongos, existen procesos de competencia, los que son de baja especificidad; b) A menudo, su velocidad de actuación es lenta por lo que en casos de plagas cuyos daños pueden ser elevados en muy poco tiempo, pueden no ser interesantes de usar; c) Su efectividad es variable debido a la influencia de diversos aspectos bióticos y abióticos debido a que los bioinsecticidas son organismos vivos. Esto es debido principalmente al bajo conocimiento de las condiciones ecológicas del control.

Plaguicidas

Según el ICA (2002) los pesticidas son sustancias o mezcla de sustancias de origen químico o biológico, destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, o las especies de plantas o animales indeseables que causan perjuicio, o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera. Incluye las sustancias utilizadas como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes y las que se aplican a los cultivos, antes o después de la cosecha, para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte.

Agustín (2011) plantea que el uso de plaguicidas trae consigo una serie de preocupaciones ambientales. Más del 98% llegan a un objetivo no deseado, tal como el aire, el agua y el suelo. La dispersión de los plaguicidas se produce cuando son suspendidos en el aire como partículas y son transportadas por el viento a otras áreas, potencialmente contaminantes. Los plaguicidas son una de las causas más importantes de contaminación del agua y del suelo.

Según Ochoa (2015) algunas ventajas y desventajas de los plaguicidas, son:

- Ventajas: Tienen efecto casi inmediato sobre la plaga, causan una reducción de la población plaga, son fáciles de obtener para los usuarios, el productor decide cuando lo aplica y no requiere de equipos complicados para su aplicación.
- Desventajas: Eliminación de enemigos naturales, surgimiento de nuevas plagas, contaminación al medio ambiente e intoxicación de los usuarios y animales domésticos o silvestres.

➤ **Mecanismos de transporte ambiental de los plaguicidas**

La forma en que se mueven los plaguicidas en el medio ambiente, desde la fuente emisora del plaguicida hasta los puntos donde existe exposición para el ser humano o biota se conoce como mecanismos de transportes de plaguicidas según Stoorvogel, Jaramillo, Merino y Kosten (1997).

En la Figura 6 se observa el transporte ambiental involucra los movimientos de gases, líquidos y partículas sólidas dentro de un medio determinado y a través de las interfaces entre el aire, el agua, sedimento, suelo, plantas y animales.

Figura 6. Posibles mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente.



Fuente: Valderrama (2015).

Difusión - movimiento de moléculas debido a un gradiente de concentración. Este movimiento es al azar pero trae como consecuencia el flujo de materiales desde las zonas más concentradas a las menos concentradas. Para medir la difusión de un compuesto en el suelo hay que considerar la interacción conjunta de parámetros tales como la porosidad, los procesos de adsorción, la naturaleza del compuesto, etc. (Dorronsoro y García , 2010 y Maldonado, 2012).

Evaporación - es la tasa de pérdida de un plaguicida por volatilización depende de su presión de vapor, de la temperatura, de su volatilidad intrínseca y de la velocidad de difusión hacia la superficie de evaporación (Dorronsoro y García , 2010 y Maldonado, 2012).

Lixiviación - parámetro más importante de evaluación del movimiento de una sustancia en el suelo. Está ligado a la dinámica del agua, a la estructura del suelo y a factores propios del plaguicida. Los compuestos aplicados al suelo tienden a desplazarse con el agua y lixiviar a través del perfil, alcanzando las capas más profundas y el acuífero, que en consecuencia resulta contaminado (Dorronsoro y García, 2010 y Maldonado, 2012).

En consecuencia al uso de agentes químicos y a su efecto en el medio ambiente, en la actualidad se han implementado diferentes mecanismos para el estudio de la contaminación del suelo, entre otras problemáticas, una de ellas es la modelación, ya que mediante la aplicación de esta metodología se pueden predecir y simular sucesos, brindando información y posibles soluciones, dependiendo de la investigación que se esté realizando. Este campo de la modelación es muy amplio y se utiliza en áreas como Hidrología, Geología, Contaminación atmosférica,

Cambio climático, Contaminación del suelo, entre otras, siendo de esta manera una herramienta de gran ayuda y de gran utilidad.

➤ **Métodos para extracción e identificación de plaguicidas e insecticidas**

En la actualidad la determinación de estos contaminantes son de suma importancia debido a que los campesinos no cumplen con las leyes establecidas, y es por eso que se debe realizar principalmente una extracción de diferentes matrices presentes en los plaguicidas e insecticidas por medio de varios métodos, luego que son extraídos se requiere de una identificación que son realizadas por técnicas cromatografías.

Así mismo se emplean métodos de limpieza con técnicas de extracción en fase solida (SEP) o permeación en gel.

❖ **Extracción asistida por ultrasonido**

En el año 1917 surgió la primera extracción asistida por ultrasonido y desde entonces se ha venido desarrollando con el paso del tiempo, este método utiliza sonidos de alta frecuencia permitiendo desprender el compuesto buscado del material vegetal. Según Gao&Lui (2005) las partículas líquidas y sólidas vibran y aumentan la aceleración ante el ultrasonido, permitiendo pasar rápidamente el soluto de la fase solida al solvente. Es uno de los métodos más económicos y sus requerimientos instrumentales son totalmente bajos entre todas las técnicas de extracción desarrolladas en los últimos años (Rostagno et al 2003).

❖ **Extracción soxhlet**

Al lavado repetitivo de una mezcla sólida y un solvente, el cual va extrayendo de la mezcla sus componentes más solubles. Además es importante limpiar las impurezas que acompañan al analito y concentrarlo haciendo uso de técnicas como la extracción en fase sólida. La extracción Soxhlet presenta las siguientes ventajas como a) Es un método que no depende de la matriz, b) La muestra está en contacto repetidas veces con porciones frescas de disolvente, c) No es necesaria la filtración después de la extracción, d) La extracción se realiza con el disolvente caliente, así se favorece la solubilidad de los analitos, e) La metodología empleada es muy simple.

Por otra parte, presenta las desventajas como a) No es posible la agitación del sistema, la cual podría acelerar el proceso de extracción, b) El tiempo requerido para la extracción normalmente está entre 6-24 horas, c) La descomposición térmica de los analitos termolábiles, ya que la temperatura del disolvente orgánico está próxima a su punto de ebullición, d) Es necesaria una etapa final de evaporación del disolvente para la concentración de los analitos, e) Esta técnica no es fácilmente automatizable.

❖ Extracción en fase sólida (SPE)

Técnica utilizada por un analista para limpiar la muestra previa, la cuantificación y concentración futura del analito. La extracción en fase sólida se debe a que el material que se encuentra de soporte es un sólido y que a través de este pasa un líquido o un gas; en el soporte son absorbidos los analitos y luego son eluidos dependiendo de sus diversas afinidades entre la fase móvil utilizada y el material absorbente. El adsorbente más utilizado en la técnica de extracción en fase sólida es la sílica debido a su bajo precio y alta disponibilidad. Actualmente la sílica se encuentra vinculada con otros compuestos para ayudar a mejorar su polaridad. Existen otros tipos de adsorbentes como el magnesio, titanio y los óxidos de aluminio similares a la función que cumple la sílica (Serna, 2011).

Tipos de extracción en fase sólida

- Fase normal: Adsorbente sólido es polar, fase líquida es apolar o poco polar. Los analitos polares son los retenidos en la fase sólida, mediante interacciones hidrofílicas (polar-polar, puente de H, dipolo-dipolo).
- Fase de reserva: Adsorbente sólido apolar, fase líquida polar. Los analitos apolares o poco polares son retenidos en la fase sólida, la cual es una fase sílica.
- Fase intercambio iónico: La fase sólida tiene grupos cargados. Fase líquida generalmente acuosa. El tipo de interacciones entre el analito y la fase sólida son electrostáticas. El intercambio aniónico permite aislar compuestos ácidos, mientras que el catiónico se aplica para compuestos básicos.

En la tabla 8 se presentan los adsorbentes más utilizados según el tipo de extracción en fase sólida:

Tabla 8. Adsorbentes más utilizados en SPE.

	Adsorbente	Código	Estructura
Fase normal	Silica gel	Si	-SiOH
	Silicato de magnesio	Florisil	Mg ₂ SiO ₃
	Alumina (neutra)	Al-N	Al ₂ O ₃
Fase normal enlazada	Cianopropil	Ciano (CN)	-(CH ₂) ₃ CN
	Propilamino	Amino (NH ₂)	-(CH ₂) ₃ NH ₂
	Diol	(COHCOH)	-(CH ₂) ₃ -O-CHOHCH ₂ OH
	Octadecil	C-18	-(CH ₂) ₁₇ CH ₃
	Octil	C-8	-(CH ₂) ₇ CH ₃

Fase reversa	Fenilpropil	Fenil	-CH ₂ CH ₂ CH ₂ -ph
	Etil	C-2	-CH ₂ CH ₃
Intercambio catiónico o aniónico	Diamino	NH/NH ₂ (WAX)	-(CH ₂) ₃ NHCH ₂ CH ₂ NH ₂
	Amina Cuaternaria	(N ⁺)	-(CH ₂)N ⁺ (CH ₃) ₃
	Acidopropilsulfónico	(SO ₂ OH)	-(CH ₂) ₃ SO ₂ OH

Fuente: Mosquera (2012).

❖ Cromatografía de gases

Según la definición oficial de la International Unión of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), la cromatografía es un método físico de separación y distribución de los componentes entre dos fases, la fase estacionaria y la fase móvil.

La cromatografía de gases es la más utilizada a nivel mundial para la separación y análisis de compuestos volátiles. Esta técnica volatiliza la muestra y la inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica, la elución se genera por el flujo de una fase móvil de gas inerte y a comparación de otras cromatografías, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito sino que lo transporta a través de la columna (Parrales, Vera y Tovar, 2012)

Existen dos tipos de cromatografía de gases:

- Cromatografía gas-sólido (GSC): La fase estacionaria es sólida y la retención de los analitos es producido por el proceso de adsorción. Este proceso de adsorción ha provocado que este tipo de cromatografía sea aplicada limitadamente, debido a que la retención del analito es semipermanente obteniendo picos de elución con colas.
- Cromatografía gas-líquido (GLC): También llamada simplemente como cromatografía de gases, utiliza como fase estacionaria moléculas de líquido inmovilizadas sobre la superficie de un sólido inerte. Este consta de diferentes componentes como el sistema de inyección de muestra, el gas transportador, la columna y el detector.

6.3.3 Modelación de contaminantes en el suelo

A través de la historia se han desarrollado herramientas que permiten modelar y simular sucesos, con el fin de brindar posibles soluciones o alternativas a las diferentes problemáticas que se puedan generar en cualquier área de estudio,

dentro de las cuales se destaca la contaminación del suelo por el uso de agentes químicos, para la cual existen múltiples software los cuales aportan herramientas de apoyo para su estudio.

En la actualidad hay un gran número de software que permite la simulación y modelación no sólo de contaminantes en el suelo sino de otras problemáticas que a diario se presentan. En el contexto de la ingeniería, especialmente en las dos últimas décadas, ha cobrado importancia la implementación del modelado y la simulación como una herramienta indispensable y transversal para resolver problemas científicos y tecnológicos planteados desde las ingenierías de sistemas, civil, química, industrial, biomédica, mecánica y otras. (Vitery, 2017 y Pérez, 1996).

➤ **MODFLOW y CHEMFLUX**

MODFLOW es un modelador de flujo por diferencias finitas desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el cual consiste de un código fuente que resuelve mediante interacciones la ecuación de flujo del agua subterránea. Se usa en hidrogeología para simular el flujo subterráneo de cualquier acuífero (Vizcaino, 2012).

Considerando lo dicho por Harbaugh (2005), Modflow-2005 simula el flujo estable e inestable en un sistema de flujo de forma irregular en la que las capas de acuíferos pueden limitarse, no confinada, o una combinación de confinado y no confinado. Fluya desde las tensiones externas, como el flujo de pozos, recarga de área, evapotranspiración, fluya hacia los desagües, y el flujo a través de lechos de ríos, puede ser simulado.

CHEMFLUX es capaz de modelar el destino y transporte a través de las zonas saturadas e insaturados. El proceso de advección, difusión, adsorción y descomposición puede ser modelado. ChemFlux también es capaz de refinar la malla solución basada en cualquier variable problema. Los niveles de saturación pueden ser importados desde SVFlux. Las capacidades de refinamiento de malla de adaptación de ChemFlux permiten al usuario especificar malla refinamiento que sigue al frente del contaminante. La malla luego se relaja dinámicamente a medida que es necesario, al optimizar el tiempo de solución. (SoilVision Systems , 2004).

➤ **BIO1D y PRZM3**

BIO1D es un dimensional de un código de modelado que simula la biodegradación y de sorción en el transporte de contaminantes. BIO1D proporciona un paquete de software fácil de usar interactivo para servir como una herramienta educativa para la comprensión de la importancia relativa de los diversos procesos físico-químicos y bioquímicos. El código BIO1D es especialmente útil para el análisis de los datos de laboratorio a partir de experimentos de columna. BIO1D incluye un

preprocesador que permite al usuario para preparar los datos de entrada de forma interactiva. (Scientific software group, 2015).

PRZM3 es un sistema de modelado que une dos modelos subordinados, PRZM y VADOFT, con el fin de predecir el transporte de pesticidas y la transformación a través de la raíz de los cultivos y la zona no saturada. PRZM es un modelo unidimensional, de diferencias finitas que representa el pesticida y el destino de nitrógeno en la zona radicular del cultivo. PRZM3 incluye capacidades de modelado de fenómenos tales como la simulación de la temperatura del suelo, la volatilización y el transporte en fase de vapor en los suelos, la simulación de riego, la transformación microbiana, y un método de las características (MOC) algoritmo para eliminar la dispersión numérica. PRZM es capaz de simular el transporte y la transformación del compuesto original. (Scientific software group, 2015).

En el caso de la presente investigación se utilizara el software HYDRUS

➤ HYDRUS

Es un conjunto de software de modelado basado en Windows que se puede utilizar para el análisis del flujo de agua, el calor y el transporte de solutos en medios porosos de forma variable saturados (por ejemplo, suelos). HYDRUS es un paquete de software se apoya en una interfaz interactiva basada en gráficos para datos de procesamiento previo, discretización del perfil del suelo, y la presentación gráfica de los resultados (Šimůnek, 1998).

Hydrus 1D, según Šimůnek (1998) tiene sus raíces en los primeros trabajos de van Genuchten y sus modelos de Sumatra y WORM, así como trabajo posterior por Vogel (1987) y Kool y Van Genuchten (1978) y sus modelos SwMi y Hydrus, respectivamente. Mientras cúbicos hermitianos elementos finitos esquemas numéricos se utilizaron en Sumatra y elementos finitos lineales en WORM y el más viejo código HYDRUS para solución de tanto el flujo de agua y las ecuaciones de transporte de solutos, SWMI utiliza diferencias finitas para resolver la ecuación de flujo.

El programa resuelve numéricamente la ecuación de Richards (ver ecuación 9) para el flujo de agua insaturada-saturada y las ecuaciones de dispersión de advección basada en Fickian (ver ecuación 10) para el transporte de calor y solutos.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad \text{Ec. (9)}$$

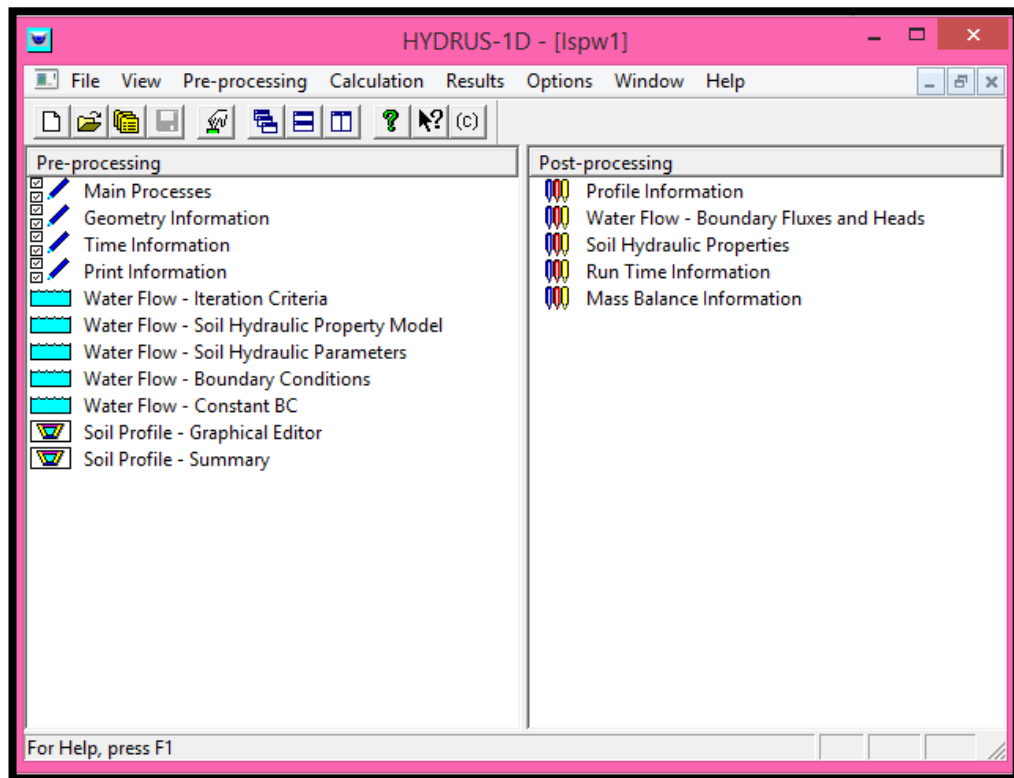
Dónde, K - Conductividad hidráulica, h - Cabezal matricial inducido por la acción capilar, z - Elevación sobre un punto de referencia vertical, θ - Contenido volumétrico de agua, t - Tiempo.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} E_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - R \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde, c – Concentración, t – Tiempo, U_i - Velocidad media, R - Tasa de reacción, E_i - Coeficiente de difusión.

En la figura 7 se observa la ventana principal del software, en el que contiene diferentes pretratamientos para los procesos que se deseen realizar.

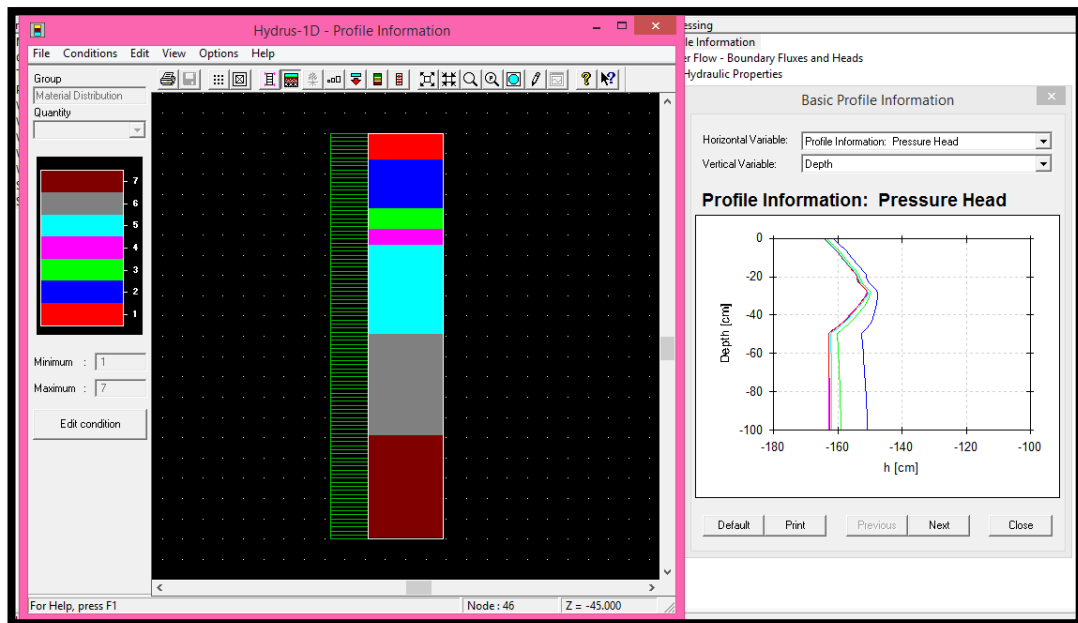
Figura 7. Ventana principal de Hydrus 1D



Fuente: Hydrus, elaborado por Moreno (2017).

La ecuación de flujo incorpora un término de sumidero para tener en cuenta la absorción de agua por las raíces de las plantas, la ecuación de transporte de calor considera la conducción así como la convección con flujo de agua y las ecuaciones de transporte de Solute consideran el transporte advectivo-dispersivo en la fase líquida y la difusión en la fase gaseosa. En la figura 8 se observan las condiciones iniciales (PROGRESS, 2008).

Figura 8. Condiciones iniciales en Hydrus 1D.



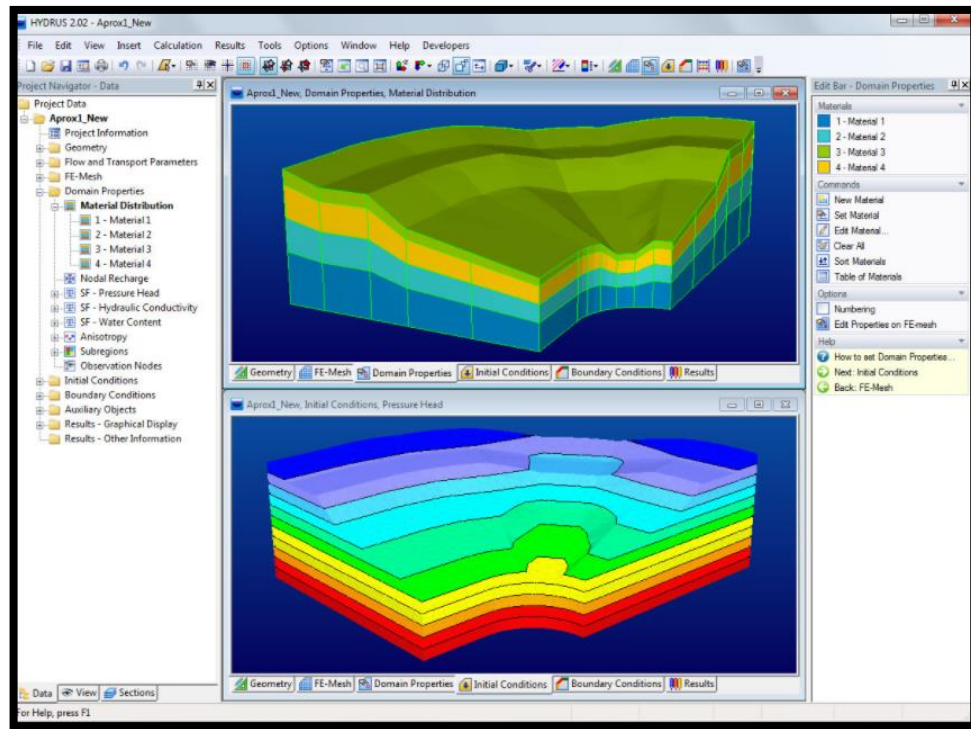
Fuente: Hydrus, elaborado por Moreno (2017).

Hydrus 2D/3D

El origen de estos modelos se remonta a los primeros trabajos del Dr. Shlomo Neuman y colaboradores como por ejemplo Neuman (1972), quien desarrolló su modelo UNSAT en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica de Technion - Instituto de Tecnología de Israel, en Haifa, Israel, mucho antes de la introducción de los ordenadores personales. UNSAT era un modelo de elementos finitos simular el flujo de agua en los dominios de saturados variable bidimensionales como se describe con la ecuación de Richards. La captación modelo adicionalmente considerado raíz agua, así como una gama de condiciones de contorno pertinente requerida para asegurar una amplia aplicabilidad del modelo. UNSAT fue posteriormente modificado por Davis y Neuman (1972) de la Universidad de Arizona, Tucson, de manera que el modelo podría ser ejecutado en ordenadores personales.

Hydrus-2D/3D es un entorno de modelado basado en Microsoft Windows para el análisis del flujo de agua y el transporte de solutos en medios porosos saturados de forma variable. El paquete de software incluye el modelo bidimensional de elementos finitos HYDRUS2 para simular el movimiento de agua, calor y solutos múltiples en medios saturados de forma variable. El modelo incluye un algoritmo de optimización de parámetros para la estimación inversa de una variedad de parámetros de transporte hidráulico y / o de solutos del suelo, Simulando también capas en 3D como se observa en la figura 9. (PROGRESS, 2008).

Figura 9. Dominio en capas 3D en Hydrus 2D/3D.



Fuente: PROGRESS (2008).

6.4 MARCO LEGAL

En el ámbito internacional, la normativa ambiental es un tema que se ha venido desarrollando desde hace mucho tiempo, como se observa en la tabla 9 se han firmado convenios, protocolos y tratados en naciones, entre ellas Colombia, las cuales se han comprometido en la búsqueda de estrategias que ayuden a la conservación y protección del medio ambiente y su biodiversidad.

Tabla 9. Tratados, protocolos y convenios internacionales sobre el medio ambiente.

NORMA	ALCANCE
Convenio sobre humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas (RAMSAR). Febrero 2 de 1971	Es un acuerdo internacional que tiene como finalidad la protección de las zonas húmedas del planeta. Fue en Ramsar (Irán) en 1971 cuando se instituyó el convenio, tendiente a proteger su riqueza en flora, fauna y su valor económico (Aprobada por Colombia mediante la Ley 357 de 1997)

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC)	El objetivo primordial del Convenio sobre Cambio Climático que se firmó el 9 de mayo de 1992 en Nueva York, (Estados Unidos), es el de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a niveles que no produzcan cambios peligrosos para el sistema climático.
El Protocolo de Kioto	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, aprobado por Colombia con la Ley 629 de 2000 y establece medidas para la formulación de programas nacionales y regionales que mejoren la información científica y técnica sobre emisiones para ser incluida en los inventarios nacionales de emisiones; así como promueve la formulación de programas encaminados a la mitigación del cambio climático y la adaptación de los efectos del mismo; la cooperación en el desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales, relacionadas con el cambio climático, entre otras.
Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)	Aprobada por el Gobierno Colombiano mediante Ley 17 de 1.981, por el cual se establece el compromiso de los estados miembros de adoptar las medidas administrativas y técnicas necesarias para que el aprovechamiento excesivo causado por el comercio internacional no afecte la supervivencia de dichas especies.
Convenio Marco sobre la Diversidad Biológica	La cual fue aprobada por el Congreso de la República, mediante la Ley 165 de 1994, y tiene como propósito promover la conservación y uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica, la participación justa y equitativa que se derive de la utilización de los recursos genéticos, mediante su acceso adecuado y de una transferencia apropiada de las tecnologías, entre otras.
Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación	El Convenio de Basilea adoptado el 22 de marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992, es un tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente en lo referente a su disposición.
Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes	El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos y Persistentes (COP), también conocido como el "Convenio de COP's", fue firmado por representantes de más de cien países de todo el mundo en mayo del 2001 en Estocolmo, Suecia. El Convenio es un instrumento internacional para el control y eliminación de 12 compuestos peligrosos que han sido agrupados bajo el calificativo de "la Docena sucia".
Tratado internacional sobre recursos genéticos de plantas para la alimentación y la agricultura	Su objetivo es la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven del aprovechamiento de dichos recursos, un acceso adecuado y una transferencia apropiada de las tecnologías necesarias para su conservación y aprovechamiento.
	Aprobada por el Gobierno Colombiano mediante Ley 461 de 1998, tiene como propósito el compromiso de países

<p>Convenio de Naciones Unidas de lucha contra la desertificación</p>	<p>afectados por estos fenómenos, para preparar y ejecutar programas de acción y prevenir la degradación de las tierras, luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía, en especial de las zonas subhúmedas secas, semiáridas y áridas. Se fomenta la participación popular y en prestar asistencia a las poblaciones locales para que se ayuden a sí mismas a prevenir y revertir al empobrecimiento de la tierra.</p>
---	---

Fuente: Ecoestrategia (2017).

Normatividad sobre el uso del suelo

-Ley 134 de 1994. Indica los mecanismos de participación ciudadana como el cabildo abierto, derecho de petición, tutela, entre otras. (Secretaría del Senado, 2017)

- Ley 388 de 1997. Tiene como objetivo atender los procesos de cambio en el uso del suelo, procurando su utilización racional con la función social y ecológica de la propiedad y por el desarrollo sostenible, el mejoramiento de la calidad de vida de la población y la preservación del patrimonio natural. (D.C, 2017)

Acuerdos y regulación Internacional sobre plaguicidas de uso agrícola

Decisión Andina 436 de 1998, para el Registro y Control de plaguicidas Químicos de Uso Agrícola. Tiene como objetivo establecer requisitos y procedimientos armonizados para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola, orientar su uso y manejo correctos para prevenir y minimizar daños a la salud y el ambiente en las condiciones autorizadas, y facilitar su comercio en la subregión Andina. Reglamentada en Colombia a través del Decreto 502 de 2003 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, de conformidad con lo establecido en el artículo 4 de la Decisión 436, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, o la entidad que haga sus veces, es la Autoridad Nacional competente para llevar el registro y control de los plaguicidas químicos de uso agrícola y el responsable de velar por el cumplimiento de la Decisión, su Manual Técnico y el presente Decreto. (Secretaría General de la Comunidad Andina, 1998)

Normatividad Colombiana relacionada con plaguicidas

Con el objeto de ejercer control y vigilancia en el uso y manejo de Plaguicidas, para evitar que afecten la salud humana, las especies animal y vegetal o que causen deterioro del ambiente, el uso y manejo de Plaguicidas estarán sujetos a las disposiciones contenidas en la Ley 09 de 1979, el Decreto 2811 de 1974, Reglamento Sanitario Internacional, decreto 775 de 1990 y las demás normas complementarias que dicten los Ministerios de Salud y de Agricultura o sus institutos

adsritos. En la tabla 10, se demuestran las principales normas expedidas en Colombia, relacionadas con los plaguicidas.

Tabla 10. Normativa colombiana sobre el uso y consumo de plaguicidas.

NORMA	ALCANCE
Ley 9 de 1979. Código Sanitario Nacional	Contiene normas a cerca de la producción, formulación, distribución, almacenamiento, movilización y aplicación de los plaguicidas.
Resolución 243 de 1982 del ICA	Prohíbe la importación, producción y venta en el territorio nacional, de los plaguicidas de uso agrícola que contengan el compuesto DBCP.
Resolución 366 de 1987 y 531, 540, 723, 724 y 874 de 1988 del ICA	Cancelan las Licencias de Venta de los insecticidas Organoclorados que contengan los ingredientes activos: Aldrin, Heptacloro, Dieldrin, Clordano y Canfecloro en su composición.
Resolución 3028 de 1989 del ICA	Prohíbe la aplicación por vía aérea en el territorio nacional de los herbicidas que contienen el Ingrediente Activo PARAQUAT.
Resolución 4863 de 1989 del ICA	Cancela licencia de venta correspondiente al funguicida de uso agrícola denominado Dithane M-22 (Maneb).
Resolución 5052 de 1989 del ICA	Cancela licencias de venta a los plaguicidas de uso agrícola denominados Manzate D y Manzate.
Decreto 775 del 16 de abril de 1990	Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.
Decreto 1843 de 1991	Del objeto del control y vigilancia epidemiológica. El control y la vigilancia epidemiológica en el uso y manejo de plaguicidas, se efectúa con el objeto de evitar que afecten la salud de la comunidad, la sanidad animal y vegetal o causen deterioro del ambiente.
Resolución 2471 de 1991 del ICA	Restringe los usos de PARATHION, únicamente a plagas de algodón y pastos tecnificados y del METIL PARATHION únicamente a plagas del algodón y arroz tecnificado.
Ley 99 de 1993	Otorga al Ministerio del Medio Ambiente la función de expedir Licencia Ambiental para la importación y producción de plaguicidas, teniendo en cuenta los Estudios de Impacto Ambiental, y de reglamentar lo concerniente a la ubicación de las plantas de producción de los mismos.

Ley 101 de 1993 y Decreto 1840 de 1994	El ámbito de aplicación del presente Decreto cubre todas las especies animales y vegetales y sus productos, el material genético animal y las semillas para siembra existentes en Colombia o que se encuentren en proceso de introducción al territorio nacional, como también los Insumos Agropecuarios.
Decreto 1753 de 1994	En su artículo 7º establece los casos en los cuales se requiere de licencias ambientales y en su ordinal 8º, se especifica esta licencia para la producción, importación de plaguicidas y aquellas sustancias, materiales y productos sujetos a controles por virtud de tratados, convenios y protocolos internacionales ratificados por Colombia.
Resolución del ICA 926 de 1994	Cancela la Licencia de Venta No. 1205, 1980 y 1465 correspondientes a los productos GORGORICIDA AGRICENSE, LEXAGRO, 10% AGRICENSE Y LEXAGRO 3% AGRICENSE cuyo titular es la firma AGRICENSE LIMITADA, por contener en su composición el ingrediente activo LINDANO.
Resolución del ICA 929 de 1994	Cancela la Licencia de Venta No. 1666 correspondiente al producto BRAVO WP, cuyo titular es la firma BIO-AGRICOLA VALCAB LTDA. Por contener MANEB y ZINEB.
Resolución del ICA 3079 de 1995	Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo, plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines.
Resolución del ICA 1068 de 1996	Por la cual se adopta el manual técnico en materia de aplicación de insumos agrícolas, así como las definiciones correspondientes, los requisitos para la acreditación en aplicación de insumos agrícolas, las obligaciones de las empresas de aplicación de los insumos y de los profesionales asesores técnicos de las empresas.
Resolución ICA del 28 de abril de 1997 1023,	Por la cual se dictan disposiciones sobre la distribución, comercialización y venta de insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para siembra
Resolución del ICA No. 01681 del 15 de julio de 2002	Suspender el registro de venta No. 3076 del producto TESS 50 EW, por el término que dure la comprobación de su eficacia en la Polilla Guatemalteca o en otros insectos. Suspender el uso del producto LARVIN 375 SC (Registro de venta No. 1533, para el control de la Polilla Guatemalteca), por el término que duren las pruebas postregistro para comprobar su eficacia en el control de la plaga.
Decreto 1443, del 07 de mayo de 2004	Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones.

Resolución No. 1580 del 30 de julio de 2004 del ICA	Por la cual se levanta la suspensión del producto Larvin 375 SC de Bayer Cropscience S.A. para el control de la polilla Guatemalteca de la papa (<i>T. solanivora</i>), que se había ordenado mediante los artículos segundo y tercero de la resolución No. 1681 del 15 de julio de 2002, por las razones expuestas en la parte considerativa de esta resolución.
Resolución 001973 del 15 de septiembre de 2004 del ICA	Por la cual se cancelan unos registros de venta de la empresa Dupont de Colombia S.A. Cancelar los registros de venta Nos. 1695 correspondiente al fungicida Benlate O.D y 0385 correspondiente al fungicida Benlate WP de la empresa Dupont de Colombia s.a. con nit 890.100.454-9., por las razones citadas en la parte motiva de esta resolución.
Resolución 693 del 19 de abril de 2007. Ministerio de Ambiente Vivienda y Territorial	Por la cual se establecen criterios y requisitos que deben ser considerados para los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Plaguicidas.




Fuente: Biblioteca Universidad EAN (2014).

7. METODOLOGIA

7.3 ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE ENCUESTA PARA IDENTIFICAR LOS PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS UTILIZADOS EN LOS CULTIVOS DE ARVEJA.

Se aplicó una encuesta a los propietarios de los cultivos para identificar los tipos de plaguicidas e insecticidas que utilizan (anexos 1, 2 y 3). En la figura 10 se observa el modelo de la encuesta aplicada a los propietarios de los cultivos de arveja.

Figura 10. Encuesta para cultivo de arveja.

 ENCUESTA PARA EL PROYECTO " MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN SUELOS DE CULTIVO DE ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: DAYANA MILENA MORENO PABON  	
OBJETIVO: Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de arveja.	
DEPARTAMENTO: Norte de Santander	FECHA:
MUNICIPIO: Pamplona	VEREDA:
NOMBRE DEL PREDIO	Coordenadas: N E
NOMBRE ENCUESTADO	ALTITUD:
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de arveja _____ (Ha)?	
1. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando insecticidas y plaguicidas? <input type="checkbox"/> Menos de un año. <input type="checkbox"/> Entre uno y cinco años. <input type="checkbox"/> Más de cinco años. <input type="checkbox"/> Nunca los he utilizado.	
2. ¿Cuáles son las marcas de insecticidas que usted más utiliza? Marca 1: _____ Marca 2: _____ Marca 3: _____ Marca 4: _____ Marca 5: _____	
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza? Marca 1: _____ Marca 2: _____ Marca 3: _____ Marca 4: _____ Marca 5: _____	
4. ¿Con qué frecuencia al día utiliza los insecticidas y cuántas veces en la semana? <input type="checkbox"/> 1 vez al día. <input type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
5. ¿Con qué frecuencia utiliza los plaguicidas y cuántas veces en la semana? <input type="checkbox"/> 1 vez al día. <input type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
6. ¿Qué tipo de riego utiliza? <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo	
7. ¿Cuál es el tiempo de riego para el cultivo de arveja _____?	
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de arveja _____?	
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de arveja _____?	
8. ¿Cómo aplica la dosis? <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo <input type="checkbox"/> Solución	
Observaciones: La información recolectada en esta encuesta será de uso exclusivo para la investigación en curso.	

Fuente: Moreno (2017)

7.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.

➤ GEOREFERENCIACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se llevó a campo un dron PHANTOM 3 PROFESSIONAL de marca DJI para la toma de fotografías en los diferentes cultivos (anexos 4 y 5) y se reconstruyó un área física en un ortofotomosaico para la realización del mapa de ubicación de dichos cultivos por medio de un software llamado pix4D y finalmente se trabajó en Arcgis.

Para la realización del ortofotomosaico en el software pix4D, inicialmente se creó un nuevo proyecto para cada uno de los vuelos, en este proyecto se realizaron dos vuelos, uno para los cultivos de arveja y otro para el suelo no contaminado, luego se eligió el tipo de proceso aéreo nadir debido a que las imágenes fueron tomadas con el dron, después se agregaron todas las imágenes, una vez cargadas aparece en la parte inferior tres opciones las cuales fueron activadas una por una junto con la opción de proceso completo para que el software genere los resultados, es decir un informe de calidad en el que viene incluido el ortofotomosaico. A continuación se observan las imágenes haciendo uso del dron en la vereda el Escorial.

Figura 11. Manejo del dron en la vereda el Escorial.



Fuente: Moreno (2017)

Figura 12. Manejo del drone en la vereda el Escorial.



Fuente: Moreno (2017)

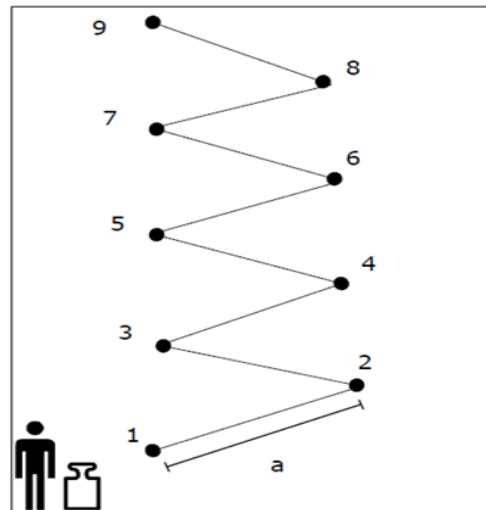
➤ **MUESTREO DE SUELO**

El muestreo se realizó en la zona ubicada en la vereda el Escorial, en la cual están ubicados los cultivos de arveja objeto del estudio, con autorización previa de los propietarios se procedió a realizar un análisis del suelo, identificando el tipo y perfil del suelo, la ubicación de la ladera y la inclinación, ya que estos factores inciden en la infiltración que se presenta en el terreno, para la realización del muestreo se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

❖ **Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo que se utilizó es en forma de zig-zag (Figura 13) teniendo en cuenta que es el más adecuado, porque permitió que la toma de las muestras se realizara de una manera fácil y con ella se logró una mejor ubicación de los puntos de muestreo.

Figura 13. Método sistemático como el de transecto fijo con la ayuda adicional de un posicionador global (GPS).



Fuente: Mejias (2015).

❖ Puntos de muestreo

Teniendo en cuenta la topografía y área del terreno se identificaron los puntos para la toma de muestras en cada uno de los cultivos. Para la caracterización física y química del suelo se tomaron cinco puntos de muestreo en los dos cultivos y un punto en el suelo no contaminado, para la determinación de contaminantes en suelo por medio de la cromatografía se tomó un punto de muestro en cada cultivo.

Para la elección del área de muestreo se tuvieron en cuenta criterios como: Grado de pendiente, grado de erosión, tipo de vegetación (edad de la explotación, cultivos anteriores), manejo previo (fertilización, preparación del suelo) y presencia de rocas, cuerpos de agua, entre otros factores.

❖ Número de muestras

De cada uno de los cinco puntos de muestreo se tomó una muestra a una profundidad de 10 cm para la caracterización física y química del suelo, para el punto de muestreo en la determinación de contaminantes por cromatografía se tomaron tres muestras a diferentes profundidades, la primera superficial, la segunda de 0-15 cm, la tercera de 15-30 cm.

❖ Toma de muestras

La toma de muestras se realizó en la vereda el Escorial en los cultivos de arveja del predio Juan Gómez, el total de muestras se tomaron de acuerdo al número de puntos de muestreo a profundidades que oscilen entre 0-30 cm, esto debido a que las concentraciones de agentes químicos se localizan generalmente con mayor intensidad en la parte superficial del suelo. En la toma de muestras para la determinación de contaminantes por cromatografía, las tres muestras se recolectaron a las 24 horas después de haber sido fumigado el cultivo.

7.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

Para el análisis de parámetros físicos y químicos se tuvo en cuenta la determinación de:

- **pH.** Se pesaron 10 g de suelo, luego, se colocaron en un vaso de precipitado de 50 ml, agregando 10 ml de agua destilada, y se agitó hasta disolver totalmente, después se dejó reposar por un día, pasado un día se agitó nuevamente y se midió el pH con el multiparametro de marca Inolab WTW, multilevel 1 (anexo 6).
- **Color.** Se tomaron 5 g de suelo, se depositaron en las copas de aluminio y se llevaron a la mufla de marca Vulcan TM 3-550 a 110°C por 2 horas, se sacaron las muestras y se colocaron dentro de un desecador para que se enfríen, en una hoja de papel se colocaron las muestras de suelo y se compararon con los colores de la tabla Munsell hasta elegir el más semejante (anexo 7).
- **Capacidad de intercambio catiónico.** Se Pesaron 5 g de suelo y se depositaron en vasos de 250 ml, luego se adicionaron 25 ml de solución de acetato de amonio y se agitó mecánicamente en el Shaker durante 30 minutos, se dejaron en reposo durante la noche, después se filtraron con la bomba de vacío de marca Vacumbrand MZ2C por medio de un embudo Buchner, se extrajo la muestra con 20 ml de alcohol etílico, luego se agregó 50 ml de cloruro de sodio y lo que se filtró se depositó en el vaso de 250 ml y se agregó 10 ml de formaldehído. Para titular se llenó la probeta con hidróxido de sodio hasta llegar a cero, a la muestra que se tenía en el vaso se agregó 3 gotas de fenolftaleína y se abrió la probeta poco a poco hasta que cambió de color (anexo 8).

- **Humedad.** Se pesaron las copas de aluminio, luego se pesó 5 g de muestra, se colocaron las muestras sobre las copas de aluminio y se pesó nuevamente, luego se colocaron las muestras dentro de la mufla de marca Vulcan TM 3-550 a 110°C por 2 horas, después se sacaron las muestras de la mufla y se colocaron dentro de un desecador para que se enfríen, finalmente se pesaron las muestras con las copas de aluminio y se calcularon (ecuación 11) los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos.

$$\%H = \frac{(P2-P3)}{(P3-P1)} * 100 \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde, P1 - Peso de la copa, P2 – Peso de muestra húmeda más copa y P3 – Peso de muestra seca más copa.

- **Granulometría.** A partir del material traído de campo se obtuvo una muestra representativa de la masa del suelo y se secó en el horno, reduciendo los terrones de la muestra a tamaños de partículas elementales con un rodillo, se pesaron los tamices y las bandejas de aluminio con la balanza digital de 15000 gr, se formó un cono con la muestra para seleccionarlos por cuadrante, para esto se revolvió primero todo el material hasta que presentó un aspecto homogéneo; traspaleando de un lugar a otro 4 veces sobre una superficie simplemente horizontal, lisa y limpia, se mezcló el material de dos cuadrantes opuestos y con este, en caso de ser necesario, se repitió el procedimiento anterior sucesivamente, hasta que se obtuvo de la muestra el tamaño requerido.

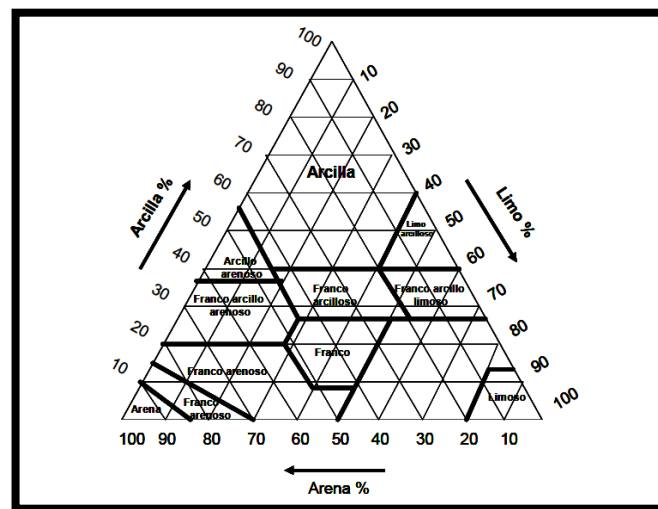
El material reducido se depositó en la bandeja y se pesó, obteniendo de esta manera el peso inicial, luego se pasó el suelo a través de los tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor, colocando al final receptáculo denominado fondo. Luego se tamizó el material colocándolo en los agitadores mecánicos, cinco minutos en el de movimiento vertical y cinco minutos en el de movimiento horizontal, si no se cuenta con agitadores mecánicos se tamiza manualmente durante diez minutos. Se recuperó el material retenido en cada tamiz asegurándonos manualmente de que las partículas hayan sido retenidas en el tamiz correspondiente. Se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz, luego con el peso retenido y el peso inicial se halló el porcentaje retenido, finalmente con el porcentaje retenido se halló el porcentaje que pasa y se procedió a graficar (anexo 9).

- **Textura.** Se realizó por el método de Bouyoucos, inicialmente se preparó 35.7 g de hexametáfosfato de sodio en 1 L de agua destilada, se tamizó 50

g de suelo y se depositaron en vasos metálicos, se agregó 20 ml de la solución preparada, después se llenó el vaso con agua destilada hasta la mitad y se agitó por 5 minutos, luego se pasaron a las probetas de 1000 ml y se llenaron con agua destilada hasta completar 1000 ml. Finalmente con el termómetro se tomó la temperatura inicial y con el hidrómetro la densidad inicial, luego de 2 horas se tomó nuevamente la temperatura final y densidad final (anexo 10).

Una vez se realizaron los cálculos con los porcentajes de arena, limo y arcilla, se hizo uso del triángulo de textura para la determinación de la textura del suelo (Figura 14).

Figura 14. Triángulo de texturas.



Fuente: Richards (1985)

- **Permeabilidad e infiltración.** En cada uno de los cultivos se tomaron dos puntos de referencia, uno para realizar la infiltración y el otro para la permeabilidad.

Para la infiltración se enterró un tubo de 60 cm y 3 pulgadas a una pequeña profundidad, luego se procedió a agregar agua dentro del tubo hasta llenarlo, se empezó a tomar el tiempo hasta una hora y a su vez se midió la profundidad con la que baja el agua, de igual manera se realizó el mismo procedimiento para la prueba de permeabilidad pero el tubo se enterró a una profundidad mayor que la de infiltración (anexo 11), finalmente para determinar el coeficiente de permeabilidad se utilizó el método de Gilg – Gavard y para infiltración se realizó por el método de Horton y Kostiaikov.

7.4 DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN SUELOS

➤ **Extracción por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)**

Se pesaron 10 gr de muestra y se agregaron 20 ml de diclorometano y se agitó treinta minutos en el shaker, se repitió con 20 ml de hexano, luego se centrifugó por diez minutos y se recogió el extracto orgánico (anexo 12). Para la limpieza de los HAPs el extracto de suelo se limpió usando una columna de plástico que contiene 2 gr de alúmina activado y 1,0 gr de sulfato de sodio, luego se eluyeron con 10 ml de n-hexano: DCM (19:1%) y después con 15 ml de n-hexano: DCM (1:2%) (anexo 13), todo el percolado se recogió y se evaporó para reducir el volumen a 1 ml (anexo 14).

➤ **Cromatografía de gases con detector de captura de electrones (GC-ECD)**

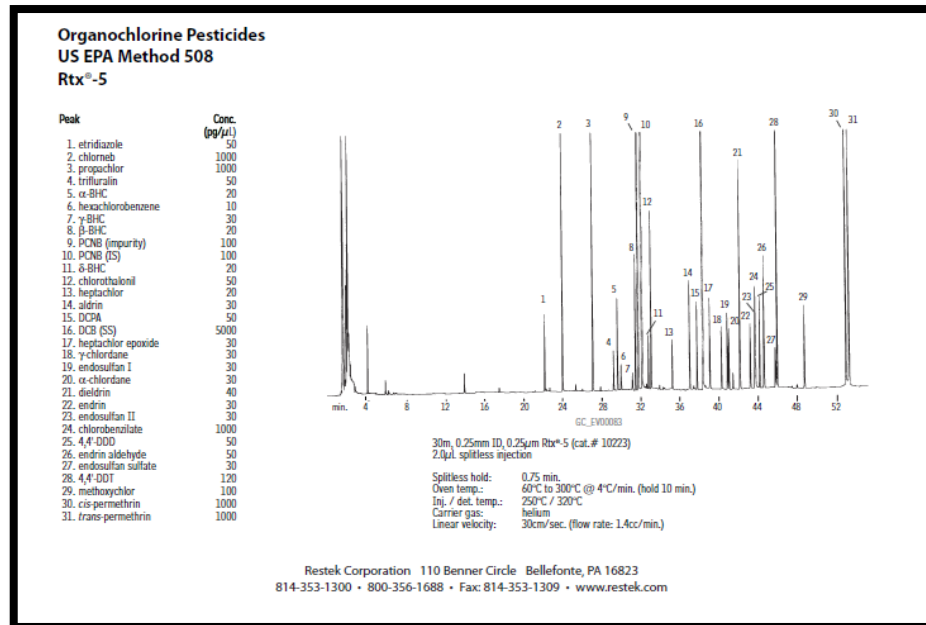
Para realizar la separación, análisis, identificación y cuantificación de los residuos de plaguicidas e insecticidas en las muestras de suelo, se utilizó un cromatografo de gases Agilent Technologies 6890, equipado con un puerto de inyección Split – splitless y detector de microcaptura de electrones (μ -ECD) (Figura 15). La temperatura del inyector es de 250 °C y la temperatura del detector se estableció en 320 °C. Inicialmente se inyectó la muestra en la cabeza de la columna cromatográfica, donde se transporta el analito a través de dicha columna, al final los componentes de la mezcla salieron separados hacia el detector, esto según el tiempo de retención en lo que constituye el cromatograma patrón de 31 pesticidas organoclorados (Figura 16). A partir del cromatograma se realizó la determinación cuantitativa y cualitativa de los componentes de la mezcla mediante la comparación de patrones.

Figura 15. cromatografo de gases Agilent Technologies 6890.



Fuente: Moreno (2017).

Figura 16. Cromatograma patrón.



Fuente: Moreno (2017).

7.5 MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS

La modelación en el software Hydrus-1D, requiere la aplicación de los siguientes aspectos:

- **Recolección de información.** Es importante que antes de proceder al uso del software se realice una recopilación de información bibliográfica, con la cual se da a conocer los detalles del software a utilizar, los trabajos que éste puede realizar y tutoriales de ayuda para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.
- **Recolección de datos experimentales.** La recolección de datos experimentales o datos obtenidos en otras investigaciones, son necesarios para realizar una calibración y validación del modelo usado por el software y para tener una referencia del comportamiento del software en las diferentes aplicaciones que éste puede tener.
- **Recolección de datos de campo.** Se obtuvo los datos de campo necesarios para la modelación en el software, como la cantidad de material del suelo, propiedades hidráulicas y textura del suelo de cada uno de los cultivos propuestos para llevar a cabo la investigación (tabla 11). Para ello se realizó una excavación de 100 cm de profundidad (Figura 17) y (Figura 18) donde se observó la textura y se midió las diferentes capas del suelo.

Tabla 11. Datos de campo para el software.

Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez								
Material	Textura	Qr	Qs	Alpha (1/cm)	n	Ks (cm/día)	I	Densidad
1	Arenoso franco	0,057	0,41	0,124	2,28	350,2	0,5	1,4
2	Franco arenoso	0,065	0,41	0,075	1,89	106,1	0,5	1,6
Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez								
Material	Textura	Qr	Qs	Alpha (1/cm)	n	Ks (cm/día)	I	Densidad
1	Franco arenoso	0,065	0,41	0,075	1,89	106,1	0,5	1,5
2	Arcilloso	0,068	0,38	0,008	1,09	4,8	0,5	1,25
3	Arcillo limoso	0,07	0,36	0,005	1,09	0,48	0,5	1,35

Fuente: Moreno (2017)

Figura 17. Excavación en el suelo del cultivo de arveja 1.



Fuente: Moreno (2017)

Figura 18. Excavación en el suelo del cultivo de arveja 2.



Fuente: Moreno (2017)

Así mismo, se solicitó al IDEAM las variables meteorológicas tales como precipitación y evaporación del año 2016 requeridas por el software, se investigó las densidades masivas dependiendo de la textura, los coeficientes de distribución y la constante de degradación de cada uno de los contaminantes (tabla 12).

Tabla 12. Parámetros de reacción de los contaminantes.

Pesticidas	Kd	mu
Beta - BHC	0,368	0,075
Gamma - Clordano	0,278	0,07
Endosulfan	0,475	0,11
Metoxicloro	0,468	0,03

Fuente: Moreno (2017)

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

➤ ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE ENCUESTA PARA IDENTIFICAR LOS PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS UTILIZADOS EN LOS CULTIVOS DE ARVEJA.

En la tabla 13 se observan los resultados sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de arveja, obtenidos a través de la encuesta aplicada a los propietarios de los cultivos de la vereda el Escorial.

Tabla 13. Propietarios de los cultivos encuestados en la zona de estudio.

NOMBRE DEL PREDIO	NOMBRE DEL ENCUESTADO	TIPO CULTIVO	COORDENADAS Y ALTITUD	AREA (Ha)	TIEMPO DE USO	TIPOS DE INSECTICIDAS Y PLAGUICIDAS	FRECUENCIA	DOSIS
Juan Gómez	Raúl Jaimes	Arveja 1	N: 07° 21' 27.7" W: 072° 38' 45.4" 2459 m	0,125	Entre uno y cinco años	Drago, Roxion 40EC, Monitor, Lorsban 4EC, Latigo y Cymozeb.	Una vez al día y una vez a la semana.	40 CC
Juan Gómez	Carlos Andrés Jaimes	Arveja 2	N: 07° 21' 30.4" W: 072° 38' 43.8" 2463 m	0,185	Menos de un año	Fulminator, Alef, Monitor, Cymozeb y Roxion 40EC.	Una vez al día y una vez a la semana.	30 CC
Juan Gómez	Raúl Jaimes	Arveja 3	N: 07° 21' 28.6" W: 072° 38' 46.0" 2450 m	0,138	Entre uno y cinco años	Latigo, Monitor, Drago, Lorsban 4EC, Roxion 40Ec y Cymozeb.	Una vez al día y una vez a la semana.	40 CC

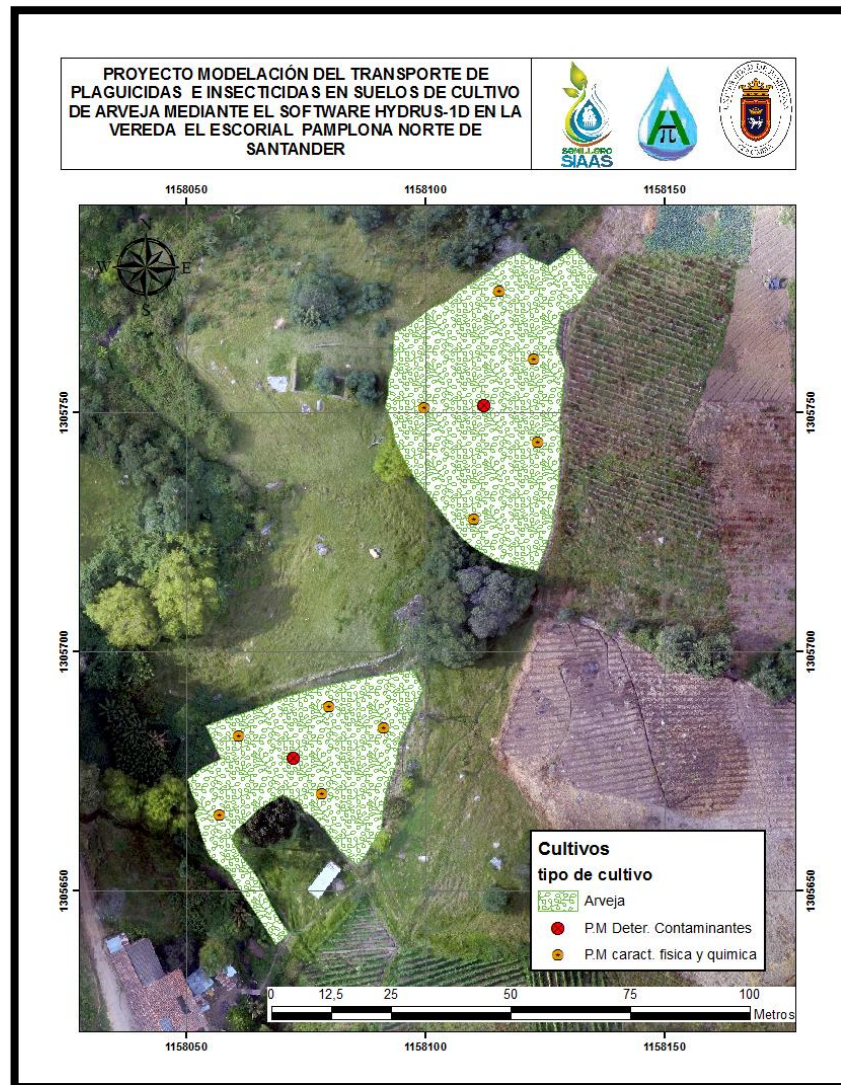
Fuente: Moreno (2017).

De la tabla 13 se deduce que los propietarios de los cultivos utilizan más el insecticida llamado Monitor y los plaguicidas cymozeb y roxion, además no los están utilizando de acuerdo con la norma vigente y no están haciendo buen uso de estos agentes químicos, es decir tienen una tasa alta de plaguicidas e insecticidas ya que ellos hacen uso de estos sin tener un control adecuado.

➤ IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.

En la figura 19 y 20 se observan la ubicación de los puntos de muestreo de suelo en los cultivos de arveja y el suelo no contaminado en la zona de estudio.

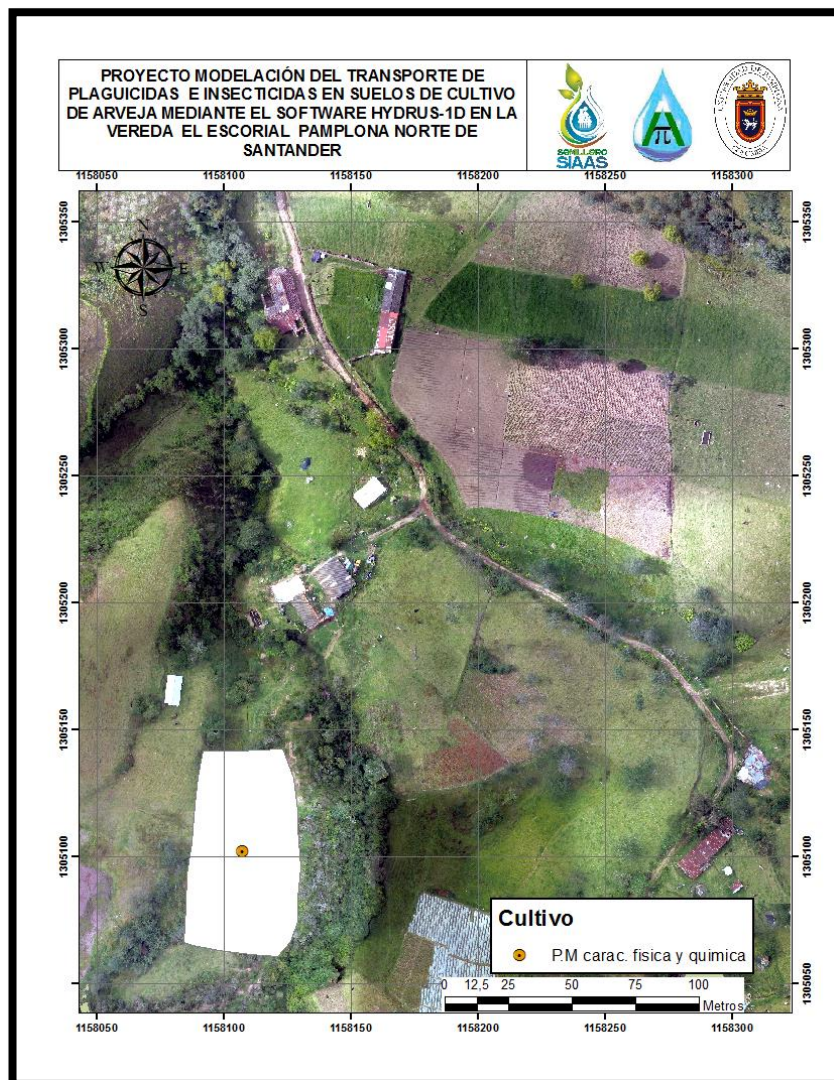
Figura 19. Ubicación de los puntos de muestreo en los cultivos de arveja.



Fuente: Moreno (2017)

De la figura 19 se observa en la parte inferior izquierda el cultivo de arveja 1 del propietario Raúl Jaimes con un área de 0,125 hectáreas y en la parte superior derecha el cultivo de arveja 2 del propietario Carlos Jaimes con un área de 0,185 hectáreas, ambos del predio Juan Gómez.

Figura 20. Ubicación del punto de muestreo en el suelo no contaminado.



Fuente: Moreno (2017)

De la figura 20 se observa en la parte inferior izquierda el suelo no contaminado con un área de 0,326 hectáreas.

➤ **CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO.**

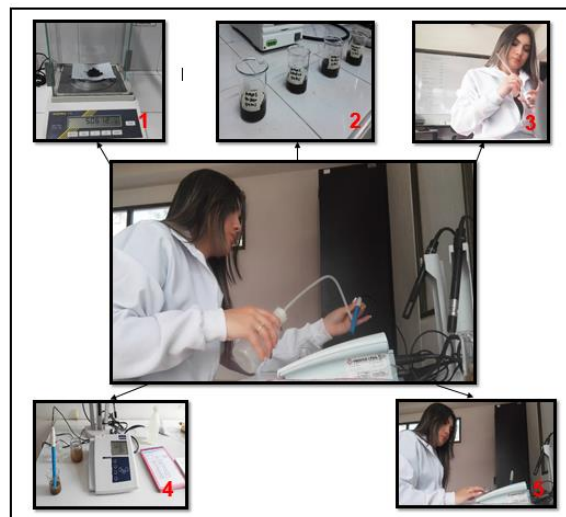
En la tabla 14 y en la figura 21 se presentan los resultados de pH del suelo de los cultivos de arveja en la vereda el Escorial realizados con el multiparámetro.

Tabla 14. pH del suelo.

N° Muestra	Peso de la muestra (gr)	Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez
		pH
1	10	5,9
2	10	6,1
3	10	5,6
4	10	6,1
5	10	5,8
N° Muestra	Peso de la muestra (gr)	Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez
		pH
6	10	5,8
7	10	6,2
8	10	6,3
9	10	6,3
10	10	6,2
N° Muestra	Peso de la muestra (gr)	Suelo N.C
		pH
11	10	5,7

Fuente: Moreno (2017)

Figura 21. pH del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 14 y la figura 21 se establece que el pH de los cultivos de arveja y el suelo no contaminado son moderadamente ácidos, es decir, que los suelos son pobres en bases como el calcio, magnesio y potasio, reduciendo de esta manera la actividad de los microorganismos y el fósforo disponible, también se debe a la presencia de agentes químicos como plaguicidas e insecticidas aplicados a los cultivos, generando dificultad en el desarrollo de la mayoría de los cultivos y dificultad en la retención de muchos nutrientes.

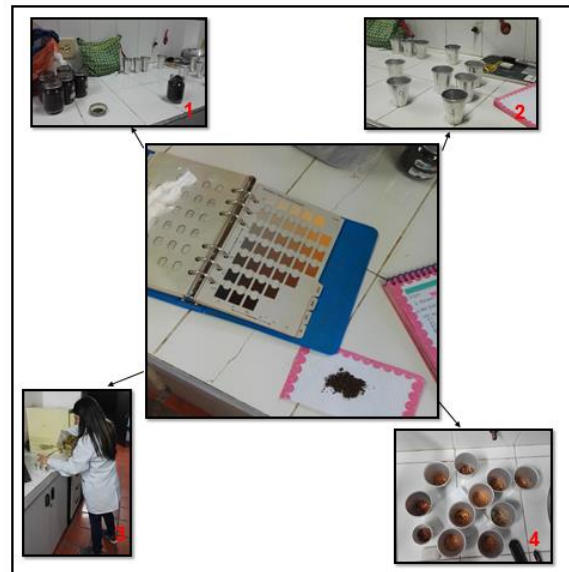
En la tabla 15 y en la figura 22 se aprecian los diferentes colores y sus valores en cada uno de los cultivos de la vereda el Escorial determinados con la tabla de colores Munsell.

Tabla 15. Color del suelo.

N° Muestra	Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez	
	VALOR	COLOR
1	10 YR - 3/4	Marrón Amarillento Oscuro
2	7.5 YR - 4/3	Marrón
3	10 YR - 5/4	Marrón Amarillento
4	10 YR - 3/4	Marrón Amarillento Oscuro
5	7.5 YR - 4/3	Marrón
N° Muestra	Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez	
	VALOR	COLOR
6	5 YR - 5/6	Amarillo Rojizo
7	5 YR - 5/4	Marrón Rojizo
8	5 YR - 4/4	Marrón Rojizo
9	5 YR - 4/6	Amarillo Rojizo
10	5 YR - 5/4	Marrón Rojizo
N° Muestra	Suelo N.C	
	VALOR	COLOR
11	5 YR - 5/4	Marrón Rojizo

Fuente: Moreno (2017)

Figura 22. Color del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 15 y la figura 22 se observa que en el cultivo de arveja 1 predominan los colores marrón y marrón amarillento oscuro, indicando estados iniciales a intermedios de alteración del suelo asociados con la ocurrencia de materia orgánica acida parcialmente descompuesta y combinaciones de óxidos de hierro más materiales orgánicos; en cambio en el cultivo de arveja 2 y en el suelo no contaminado predominan los colores amarillo rojizo y marrón rojizo, esto se debe a las condiciones de media a baja fertilidad del suelo, que están asociados a la presencia de óxidos hidratados de hierro y son indicativos de meteorización bajo ambientes aeróbicos.

En la tabla 16 y en la figura 23 se observan los resultados de la capacidad de intercambio catiónico del suelo de los cultivos.

Tabla 16. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.

N° Muestra	Peso muestras (gr)	Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez	
		Vol gastado de NaOH(ml)	CIC (meq/100 gr)
1	5	2,4	48
2	5	1,9	38
3	5	1,4	28
4	5	2,5	50
5	5	1,2	24
N° Muestra	Peso muestras (gr)	Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez	
		Vol gastado de NaOH(ml)	CIC (meq/100 gr)
6	5	1,7	34
7	5	1,7	34
8	5	1,7	34
9	5	2,1	42
10	5	1,6	32
N° Muestra	Peso muestras (gr)	Suelo N.C	
		Vol gastado de NaOH(ml)	CIC (meq/100 gr)
11	5	2,1	42

Fuente: Moreno (2017)

Figura 23. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 16 y figura 23 en el número de muestras 1 y 4 del cultivo de arveja 1 tiene un nivel alto de capacidad de intercambio catiónico, es decir que es un suelo muy rico por ende no necesita de materia orgánica. Para el número de muestras 2, 9 y 11 de los cultivos de arveja 1, arveja 2 y el suelo no contaminado tienen un nivel medio alto, quiere decir que es un suelo rico y tampoco necesita de materia orgánica. Finalmente el número de muestra 3, 5, 6, 7, 8 y 10 de los cultivos de arveja 1 y arveja 2 tienen un nivel medio, es decir que es un suelo medio, puede que necesite aporte de materia orgánica o no.

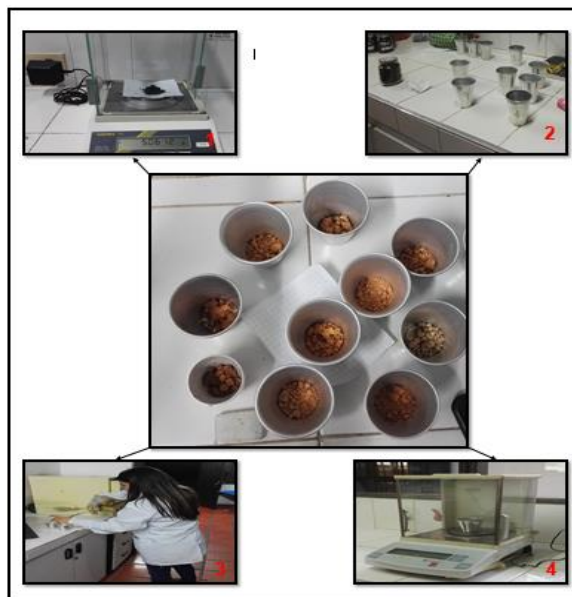
En la tabla 17 y figura 24 se indican los resultados de humedad del suelo en la zona de estudio.

Tabla 17. Humedad del suelo.

N° Muestra	Peso Muestras (gr)	Peso de la copa (gr)	Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez		
			Peso de la copa + muestra húmeda (gr)	Peso de la copa + muestra seca a 110°C (gr)	% Humedad
1	5	7,3	12,3	10.5	57.7
2	5	7,1	12,1	10.8	34.0
3	5	6,8	11,8	10.0	54.3
4	5	6,9	11,9	10.3	45.3
5	5	6,6	11,6	10.2	37.4
N° Muestra	Peso Muestras (gr)	Peso de la copa (gr)	Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez		
			Peso de la copa + muestra húmeda (gr)	Peso de la copa + muestra seca a 110°C (gr)	% Humedad
6	5	9,1	14,1	12.4	51.1
7	5	8,9	13,9	12.2	52.9
8	5	8,8	13,8	12.0	57.7
9	5	9,4	14,4	12.6	57.7
10	5	9,1	14,1	12.3	54.8
N° Muestra	Peso Muestras (gr)	Peso de la copa (gr)	Suelo N.C		
			Peso de la copa + muestra húmeda (gr)	Peso de la copa + muestra seca a 110°C (gr)	% Humedad
11	5	21,2	26,2	24,6	47.5

Fuente: Moreno (2017)

Figura 24. Humedad del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 17 y figura 24 se observa que el cultivo de arveja 2 y el suelo no contaminado, tienen un alto contenido de humedad, similar para todas las muestras, en cambio para el cultivo de arveja 1 en las muestras número 2 y 5 presentan bajo contenido de humedad a comparación de las demás muestras, es decir que la humedad del suelo influye en propiedades físicas como el color del suelo, en la tabla 15 mencionada anteriormente se indicó que dichas muestras presentaron un color marrón, esto indica que al ser un suelo oscuro, con alta energía radiante, se secará mucho más rápido que una muestra de color más clara. Los datos registrados están relacionados con las muestras tomadas en campo y en el momento en que se tomaron, pero es claro que la humedad puede variar de acuerdo a la variabilidad en las condiciones climáticas y la frecuencia de riego.

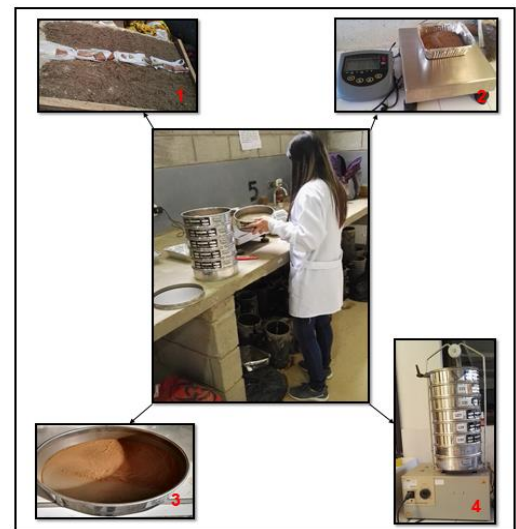
En la tabla 18 y figura 25 se presentan los resultados de granulometría por tamizado en el suelo de la zona de estudio.

Tabla 18. Granulometría del suelo.

Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez			
Muestra # 1 - Prof. (m): 0,10			
Peso inicial (gr):		600,4	
Tamiz (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
9,5	0	0	100,0
4,75	1	0,2	99,8
1,18	170	28,3	71,5
0,425	172	28,6	42,9
0,18	113	18,8	24,1
0,15	38	6,3	17,7
0,106	66	11,0	6,7
0,075	8	1,3	5,4
Fondo	30	5,0	0,4
SUMA	598		
	E =	0,40	

Fuente: Moreno (2017)

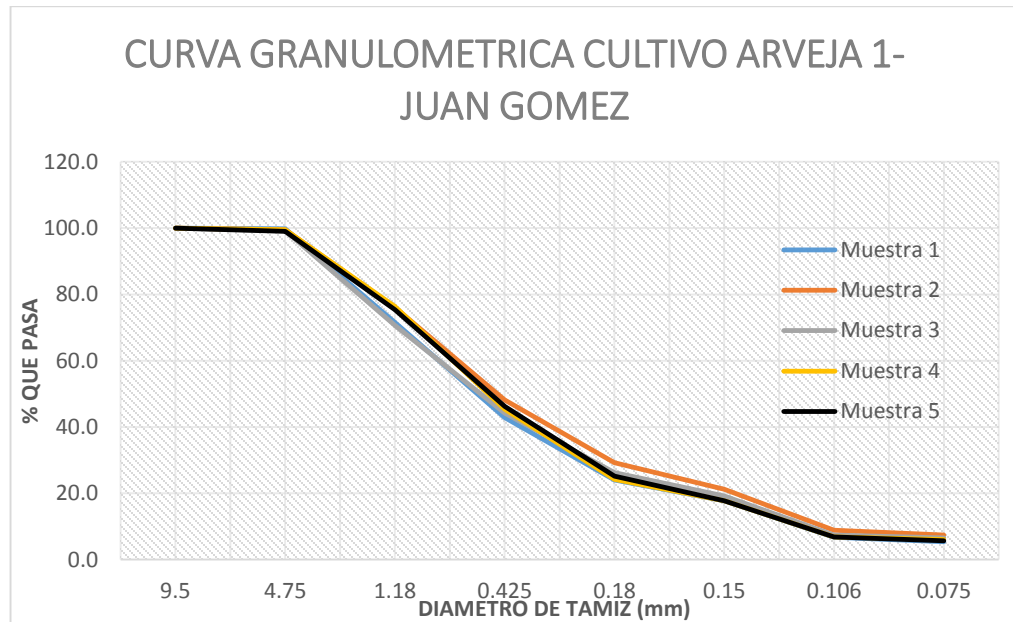
Figura 25. Granulometría del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

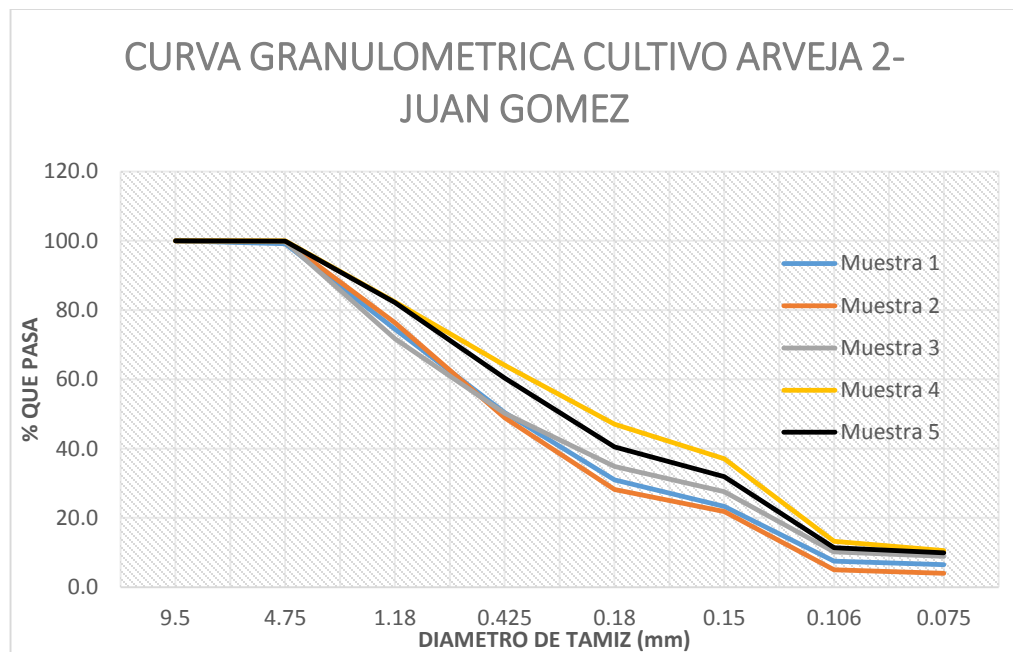
De la misma manera, el procedimiento anterior presentado en la tabla 18, se realizó para los suelos de los cultivos de arvejas y el suelo no contaminado. En las gráficas 1, 2 y 3 se muestran los resultados de las curvas granulométricas para cada uno de los cultivos.

Gráfica 1. Curva granulométrica del cultivo de arveja 1 predio Juan Gómez.



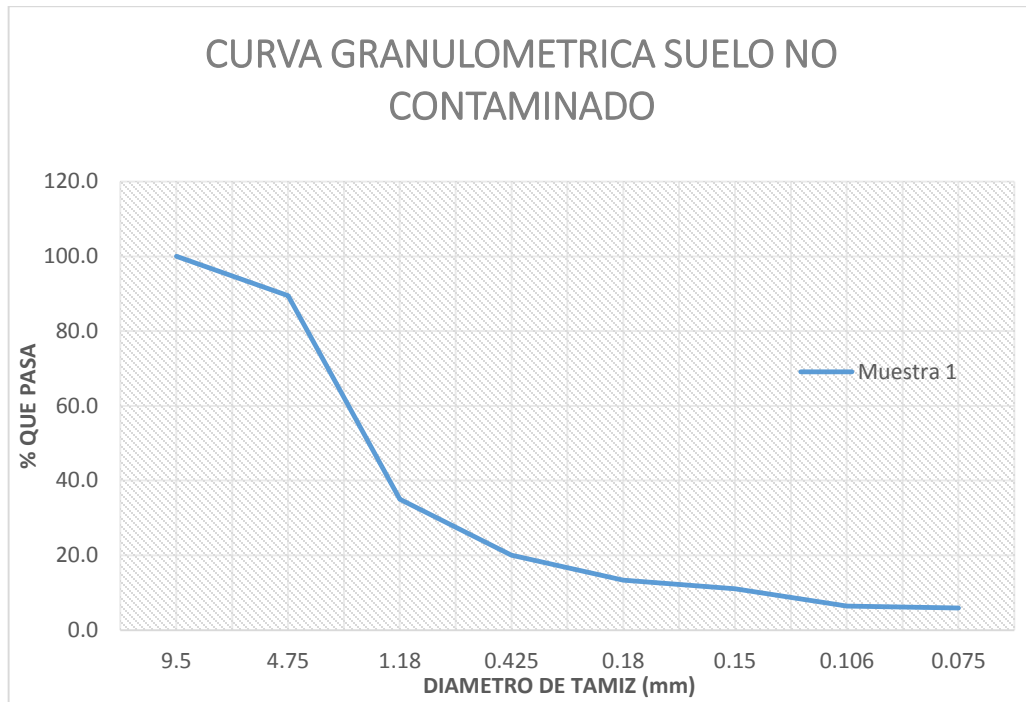
Fuente: Moreno (2017)

Gráfica 2. Curva granulométrica del cultivo de arveja 2 predio Juan Gómez.



Fuente: Moreno (2017)

Gráfica 3. Curva granulométrica del suelo no contaminado.



Fuente: Moreno (2017)

De la gráfica 1 las curvas de las cinco muestras presentan granulometría muy similar, a comparación de la gráfica 2 las curvas de las muestras 4 y 5 son mayores a las demás a partir de tamaños inferiores al 98% hasta el 17% pasante, presentando una granulometría notoriamente más fina y para la gráfica 3 del suelo no contaminado se observa que la curva empieza a disminuir desde el 38% hasta el 5.9% pasante, es decir que la granulometría no es fina. Además las curvas de las tres muestras de dichas graficas son dispersas unas con otras debido a que cerca del cultivo se encuentra la quebrada de la zona de estudio, es decir que el suelo es alterado por la quebrada.

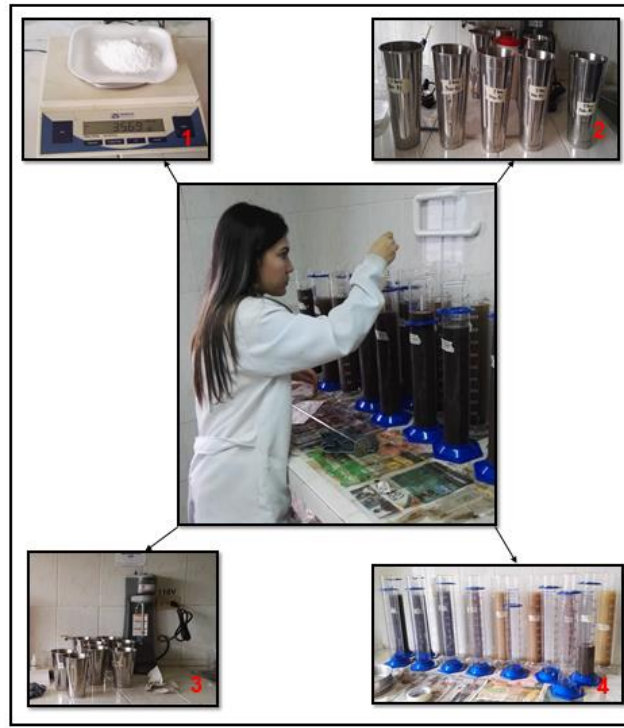
En la tabla 19 y figura 26 se presentan los resultados de la textura del suelo en la zona de estudio por el método de Bouyoucos. En la figura 27 se observa la ubicación de cada una de las cinco muestras de los cultivos de arveja y la muestra del suelo no contaminado en el triángulo de textura del suelo.

Tabla 19. Textura del suelo.

Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez												
N° Muestra	Peso muestras (gr)	T.Inicial (°C)	ρ. Inicial	T. Final (°C)	ρ. Final	X1	Mat. Suspensión	% Arenas	X2	% Arcillas	% Limos	TEXTURA
1	50	19,0	9	19	4	-0,36	17,28	83	-0,36	7	10	Arenoso Franco
2	50	19,0	10	19	4	-0,36	19,28	81	-0,36	7	12	Arenoso Franco
3	50	18,5	10	19	4	-0,54	18,92	81	-0,36	7	12	Arenoso Franco
4	50	18,5	9	18,5	3	-0,54	16,92	83	-0,54	5	12	Arenoso Franco
5	50	18,5	10	19	4	-0,54	18,92	81	-0,36	7	12	Arenoso Franco
Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez												
N° Muestra	Peso muestras (gr)	T.Inicial (°C)	ρ. Inicial	T. Final (°C)	ρ. Final	X1	Mat. Suspensión	% Arenas	X2	% Arcillas	% Limos	TEXTURA
6	50	18,5	12	18,5	5	-0,54	22,92	77	-0,54	9	14	Franco Arenoso
7	50	18,5	11	18,5	5	-0,54	20,92	79	-0,54	9	12	Arenoso Franco
8	50	18,5	14	18,5	5	-0,54	26,92	73	-0,54	9	18	Franco Arenoso
9	50	18,5	11	19	4	-0,54	20,92	79	-0,36	7	14	Arenoso Franco
10	50	18,5	13	19	6	-0,54	24,92	75	-0,36	11	14	Franco Arenoso
Suelo N.C												
N° Muestra	Peso muestras (gr)	T.Inicial (°C)	ρ. Inicial	T. Final (°C)	ρ. Final	X1	Mat. Suspensión	% Arenas	X2	% Arcillas	% Limos	TEXTURA
11	50	18,5	21	19	9	-0,54	40,92	59	-0,36	17	24	Franco Arenoso

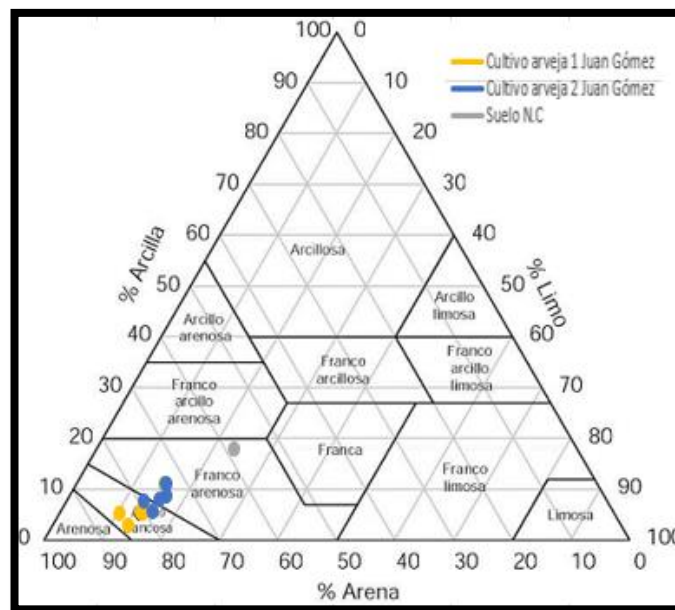
Fuente: Moreno (2017)

Figura 26. Textura del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

Figura 27. Triángulo de textura del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 19 y figura 27 se observa que para el cultivo de arveja 2 la mayor textura del suelo es el franco arenoso, para el cultivo de arveja 1 la textura para todas las muestras son suelos areno francosas y finalmente para la muestra del suelo no contaminado dio una textura franco arenoso.

En la tabla 20 y figura 28 se observan los valores obtenidos de la prueba de permeabilidad por el método de Gilg – Gavard, realizadas en el suelo de los cultivos de arveja y el suelo no contaminado.

Tabla 20. Permeabilidad del suelo.

Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 54.7 cm						
Tiempo (seg)	H (cm)	Q (cm ³ /s)	L	d	A	K (cm*seg)
0	2,9	0,00	0,097	0,076	1,189	0,00
30	3,0	0,152	0,097	0,076	1,189	7,11E-05
60	3,0	0,076	0,097	0,076	1,189	3,55E-05
120	3,1	0,076	0,097	0,076	1,189	3,44E-05
180	3,2	0,076	0,097	0,076	1,189	3,33E-05
240	3,3	0,076	0,097	0,076	1,189	3,23E-05
300	3,4	0,076	0,097	0,076	1,189	3,13E-05
360	3,5	0,076	0,097	0,076	1,189	3,05E-05
420	3,5	0,065	0,097	0,076	1,189	2,61E-05
480	3,5	0,057	0,097	0,076	1,189	2,28E-05
540	3,6	0,059	0,097	0,076	1,189	2,30E-05
600	3,6	0,053	0,097	0,076	1,189	2,07E-05
900	3,7	0,041	0,097	0,076	1,189	1,54E-05
1200	3,9	0,038	0,097	0,076	1,189	1,37E-05
1800	4,4	0,038	0,097	0,076	1,189	1,21E-05
2700	4,7	0,030	0,097	0,076	1,189	9,07E-06
3600	5,3	0,030	0,097	0,076	1,189	8,04E-06
Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 55.7 cm						
Tiempo (seg)	H (cm)	Q (cm ³ /s)	L	d	A	K (cm*seg)
0	2,2	0,00	0,097	0,076	1,189	0,00
30	3,0	1,216	0,097	0,076	1,189	5,68E-04
60	3,2	0,760	0,097	0,076	1,189	3,33E-04
120	4,1	0,722	0,097	0,076	1,189	2,47E-04
180	4,8	0,659	0,097	0,076	1,189	1,92E-04

240	5,1	0,551	0,097	0,076	1,189	1,52E-04
300	6,2	0,608	0,097	0,076	1,189	1,38E-04
360	6,6	0,557	0,097	0,076	1,189	1,18E-04
420	7,3	0,554	0,097	0,076	1,189	1,06E-04
480	7,5	0,504	0,097	0,076	1,189	9,41E-05
540	8,1	0,498	0,097	0,076	1,189	8,63E-05
600	8,2	0,456	0,097	0,076	1,189	7,80E-05
900	10,0	0,395	0,097	0,076	1,189	5,54E-05
1200	11,2	0,342	0,097	0,076	1,189	4,28E-05
1800	13,5	0,286	0,097	0,076	1,189	2,97E-05
2700	15,7	0,228	0,097	0,076	1,189	2,04E-05
3600	17,5	0,194	0,097	0,076	1,189	1,55E-05
Suelo NC - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 56.3 cm						
Tiempo (seg)	H (cm)	Q (cm ³ /s)	L	d	A	K (cm*seg)
0	1,5	0,00	0,097	0,076	1,189	0,00
30	2,0	0,760	0,097	0,076	1,189	5,33E-04
60	2,3	0,608	0,097	0,076	1,189	3,71E-04
120	2,8	0,494	0,097	0,076	1,189	2,47E-04
180	3,2	0,431	0,097	0,076	1,189	1,89E-04
240	3,6	0,399	0,097	0,076	1,189	1,55E-04
300	3,8	0,350	0,097	0,076	1,189	1,29E-04
360	4,0	0,317	0,097	0,076	1,189	1,11E-04
420	4,2	0,293	0,097	0,076	1,189	9,79E-05
480	4,5	0,285	0,097	0,076	1,189	8,88E-05
540	4,7	0,270	0,097	0,076	1,189	8,06E-05
600	5,0	0,266	0,097	0,076	1,189	7,46E-05
900	5,7	0,213	0,097	0,076	1,189	5,24E-05
1200	6,3	0,182	0,097	0,076	1,189	4,06E-05
1800	7,2	0,144	0,097	0,076	1,189	2,81E-05
2700	8,4	0,117	0,097	0,076	1,189	1,95E-05
3600	9,8	0,105	0,097	0,076	1,189	1,50E-05

Fuente: Moreno (2017)

Figura 28. Permeabilidad del suelo.



Fuente: Moreno (2017)

De la tabla 20 y figura 28 se aprecia que para los dos cultivos y el suelo no contaminado presentan una permeabilidad moderada. Para el primer cultivo de arveja se determinó que los dos últimos coeficientes de permeabilidad dieron valores más bajos que los demás; para el segundo cultivo de arveja se observa que desde el tiempo de 30 a 420 segundos los valores de permeabilidad son altos a comparación de los demás valores; y para el suelo con contaminado tiene similitud con el segundo cultivo, los valores más altos de permeabilidad se presentan en el tiempo de 30 a 360 segundos. Estas variaciones observadas del coeficiente de permeabilidad se deben a que son muestras alteradas, dejando algunas partículas libres y permitiendo que cuando el agua fluye a través del suelo las mueva y se acomoden.

En la tabla 21 se aprecian los resultados de la infiltración del suelo en la zona de estudio calculados por los métodos de Horton y Kostiaikov y en las gráficas 4, 5 y 6 se observan los resultados de la estimación de la velocidad de infiltración.

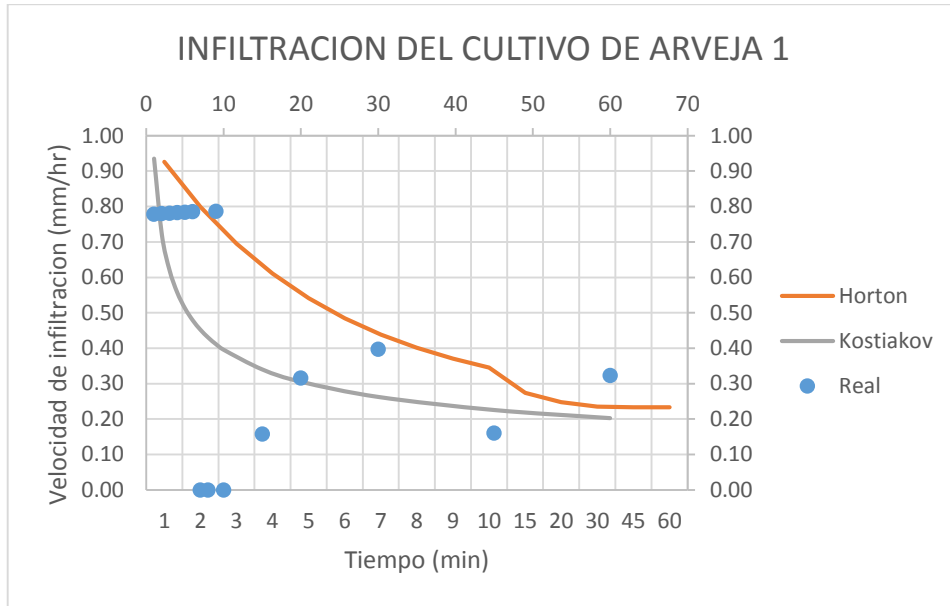
Tabla 21. Infiltración del suelo.

Cultivo: Arveja 1 Predio: Juan Gómez - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 54.7 cm				
	fc	0,23	a	0,94
	fo	1,08	b	-0,37
	k	-0,20		
tiempo (min)	Altura (cm)	f (mm/hr)	f est Horton	f est kostiakov
1	57,00	0,78	0,93	0,94
2	56,90	0,78	0,80	0,72
3	56,80	0,78	0,70	0,62
4	56,70	0,78	0,61	0,56
5	56,60	0,78	0,54	0,51
6	56,50	0,79	0,48	0,48
7	56,50	0,00	0,44	0,45
8	56,50	0,00	0,40	0,43
9	56,40	0,79	0,37	0,41
10	56,40	0,00	0,34	0,40
15	56,30	0,16	0,27	0,34
20	56,10	0,32	0,25	0,31
30	55,60	0,40	0,23	0,26
45	55,30	0,16	0,23	0,23
60	54,70	0,32	0,23	0,20
Cultivo: Arveja 2 Predio: Juan Gómez - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 55.7 cm				
	fc	1,62	a	8,47
	fo	8,53	b	-0,40
	k	-0,15		
tiempo (min)	Altura (cm)	f (mm/hr)	f est Horton	f est kostiakov
1	56,80	7,75	7,57	8,47
2	55,90	7,09	6,74	6,41
3	55,20	5,60	6,03	5,45
4	54,90	2,42	5,42	4,85
5	53,80	8,98	4,89	4,44
6	53,40	3,31	4,44	4,13
7	52,70	5,86	4,05	3,88
8	52,50	1,69	3,71	3,68

9	51,90	5,10	3,42	3,51
10	51,80	0,86	3,17	3,36
15	50,00	3,14	2,36	2,86
20	48,80	2,15	1,97	2,54
30	46,50	2,14	1,70	2,16
45	44,30	1,43	1,63	1,84
60	42,50	1,22	1,62	1,64
Suelo NC - Longitud del tubo: 60 cm - Diámetro: 3 pulg - Profundidad: 56.3 cm				
	fc	1,14	a	5,99
	fo	7,81	b	-0,58
	k	-0,37		
tiempo (min)	Altura (cm)	f (mm/hr)	f est Horton	f est kostiakov
1	57,70	6,12	5,76	5,99
2	57,20	3,87	4,34	4,00
3	56,80	3,12	3,35	3,16
4	56,40	3,14	2,67	2,67
5	56,20	1,58	2,20	2,35
6	56,00	1,58	1,87	2,11
7	55,80	1,59	1,65	1,93
8	55,50	2,39	1,49	1,79
9	55,30	1,60	1,38	1,67
10	55,00	2,42	1,31	1,57
15	54,30	1,14	1,17	1,24
20	53,70	0,99	1,15	1,05
30	52,80	0,75	1,14	0,83
45	51,60	0,68	1,14	0,65
60	50,20	0,81	1,14	0,55

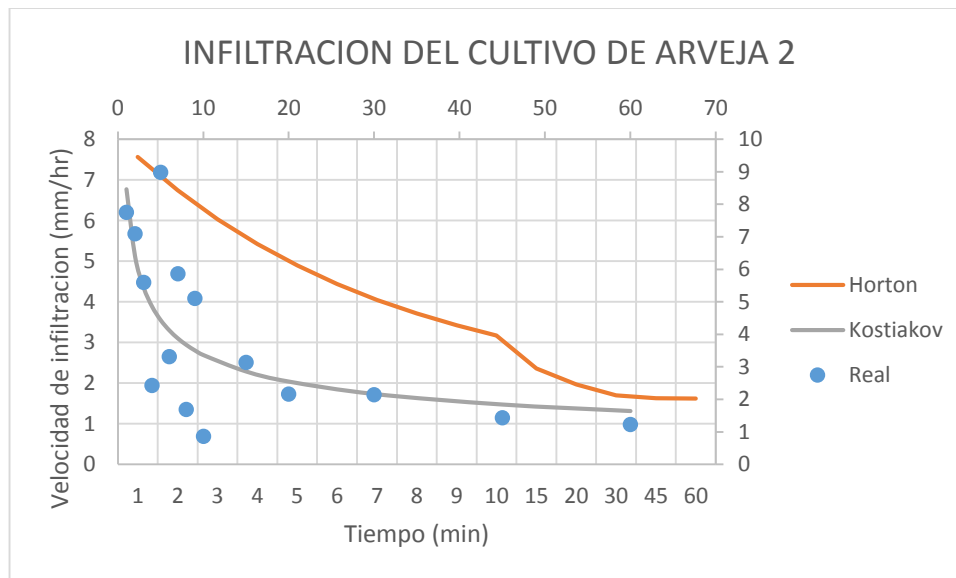
Fuente: Moreno (2017)

Gráfica 4. Infiltración del cultivo de arveja 1.



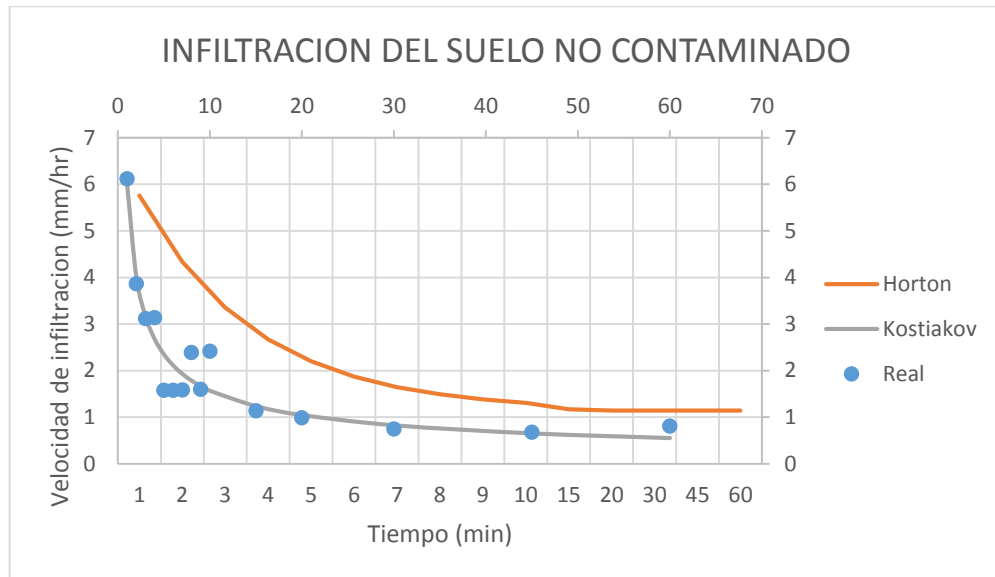
Fuente: Moreno (2017)

Gráfica 5. Infiltración del cultivo de arveja 2.



Fuente: Moreno (2017)

Gráfica 6. Infiltración del suelo no contaminado.



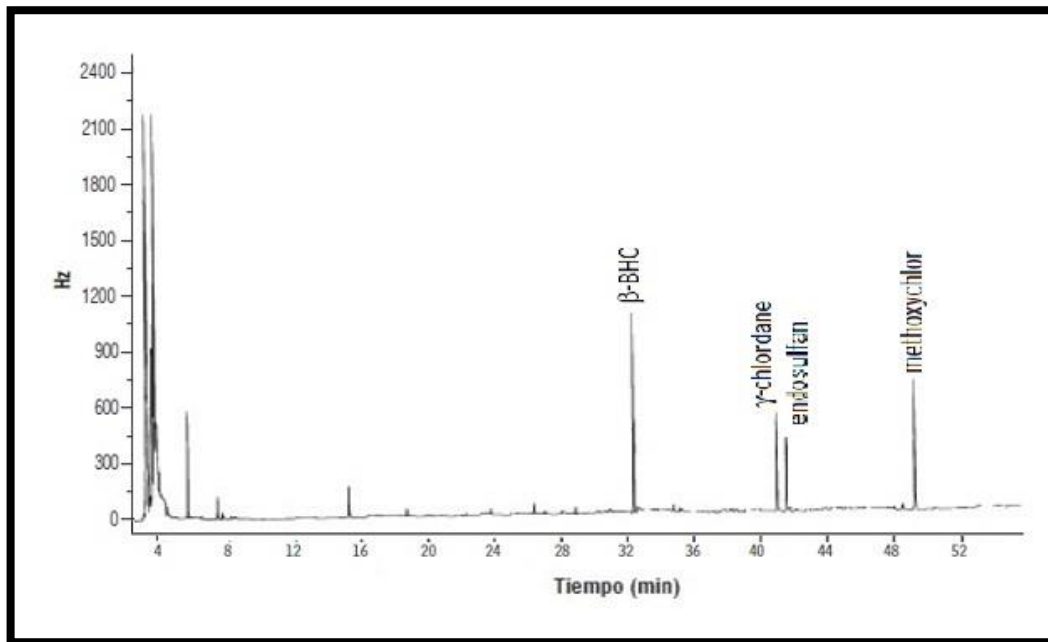
Fuente: Moreno (2017)

De la gráfica 4 se aprecia que por el método de Horton tiende a ajustar al valor de la velocidad 0,79 mm/hr en el tiempo de 9 min, con una infiltración base de 0,23 mm/hr; mientras que por el método de Kostiakov tiende a ajustar valores como el de 0,32 en el tiempo de 20 min y 0,78 mm/hr en el tiempo de 2 min, con una infiltración de 0,40 mm/hr. De la gráfica 5 del cultivo de arveja 2 se observa que los valores reales tienden a ajustar más al método de Kostiakov como lo son las velocidades de 2,14 mm/hr en 30 min, 5,60 mm/hr en 3 min, 7,09 mm/hr en 2 min y 7,75 mm/hr en 1 min, con una infiltración base de 3 mm/hr. Finalmente de la gráfica 6 para el suelo no contaminado los valores reales tienden a ajustar solo al método de Kostiakov, valores de 0,68 mm/hr en 45 min, 0,75 mm/hr en 30 min, 0,99 mm/hr en 20 min, 1,60 mm/hr en 9 min, 3,12 mm/hr en 3 min y 3,87 mm/hr en 2 min; con una infiltración base de 1,0 mm/hr.

➤ DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN SUELOS

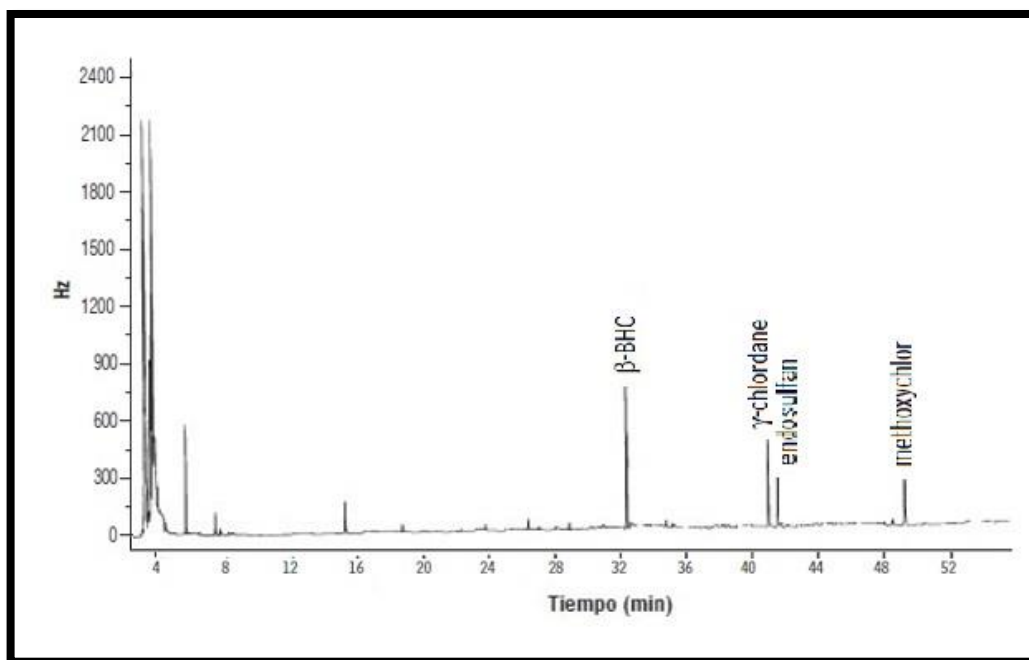
En la figura 29, 30 y 31 se observan los resultados de los pesticidas encontrados en los suelos del cultivo de arveja 1 en las diferentes profundidades a 24 horas después de haber sido fumigado el cultivo, a partir de la comparación del cromatograma patrón de 31 pesticidas.

Figura 29. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo superficial arveja1.



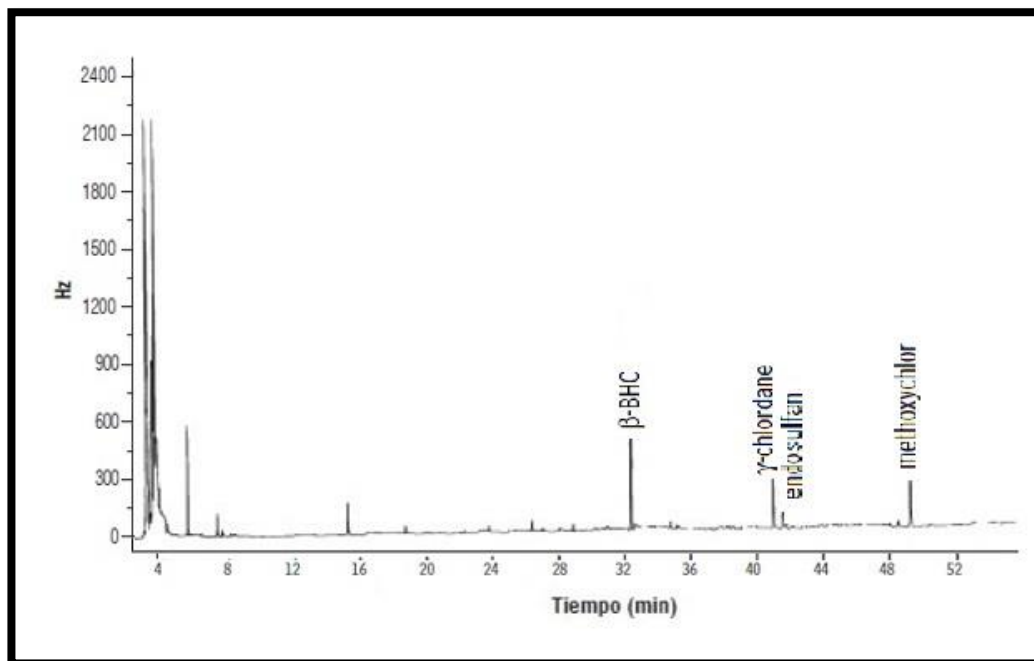
Fuente: Moreno (2017).

Figura 30. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 15 cm arveja1.



Fuente: Moreno (2017).

Figura 31. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 30 cm arveja1.

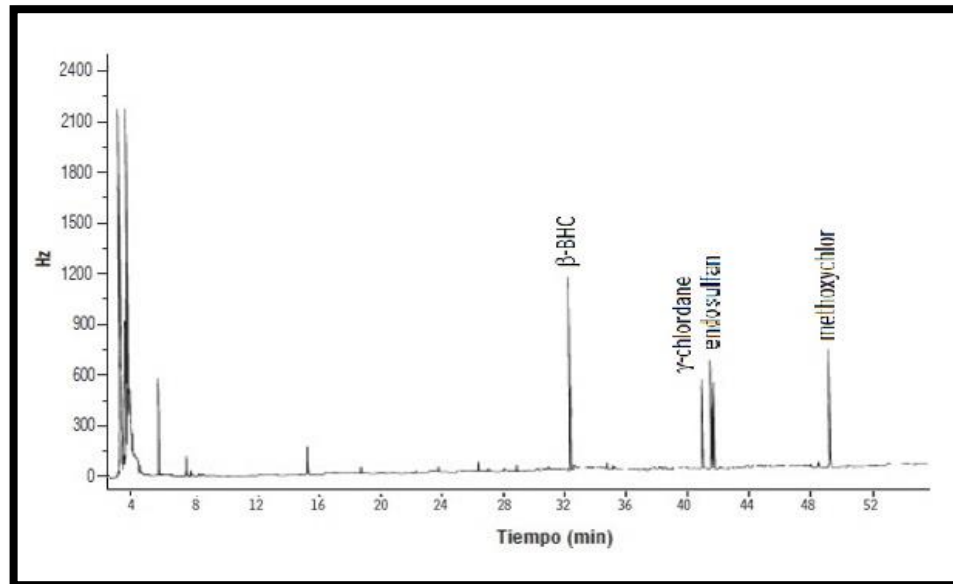


Fuente: Moreno (2017).

De las figuras anteriores, los compuestos encontrados en el suelo del cultivo de arveja 1 son beta BHC (lindano), gamma clordano, endosulfan y metoxicloro. De la figura 29 en el cromatograma de la muestra de suelo superficial se deduce que al compararlo con el cromatograma patrón de los pesticidas, aparecen cuatro picos, el mayor es el de beta BHC en el minuto 33, seguido por metoxicloro en el minuto 49, luego por gamma clordano en el minuto 42 y finalmente por endosulfan en el minuto 43, esto debido a que las concentraciones de agentes químicos se localizan generalmente con mayor intensidad en la parte superficial del suelo. De la figura 30 y 31 se observa como han disminuido la frecuencia de dichos contaminantes, donde el beta BHC presenta mayor frecuencia y el endosulfan una menor frecuencia que todos los demás; esto se debe a que el beta BHC es muy persistente a comparación de los otros contaminantes y su movilidad en el suelo está limitada por su elevada afinidad por la materia orgánica; el endosulfan tiene menor afinidad por los lípidos que otros plaguicidas organoclorados, por ello su bioacumulación y biomagnificación son menos probables; para el gamma clordano una fracción queda absorbida a las partículas de la capa cultivable donde sus residuos se acumulan y persisten por décadas, además la elevada afinidad por las partículas reduce su movilidad a través del perfil del suelo; finalmente el metoxicloro es persistente en el suelo pero en ciertos ambientes se degrada en tan solo una semana, este compuesto se une fuertemente a las partículas y por ello su movilidad es muy poca.

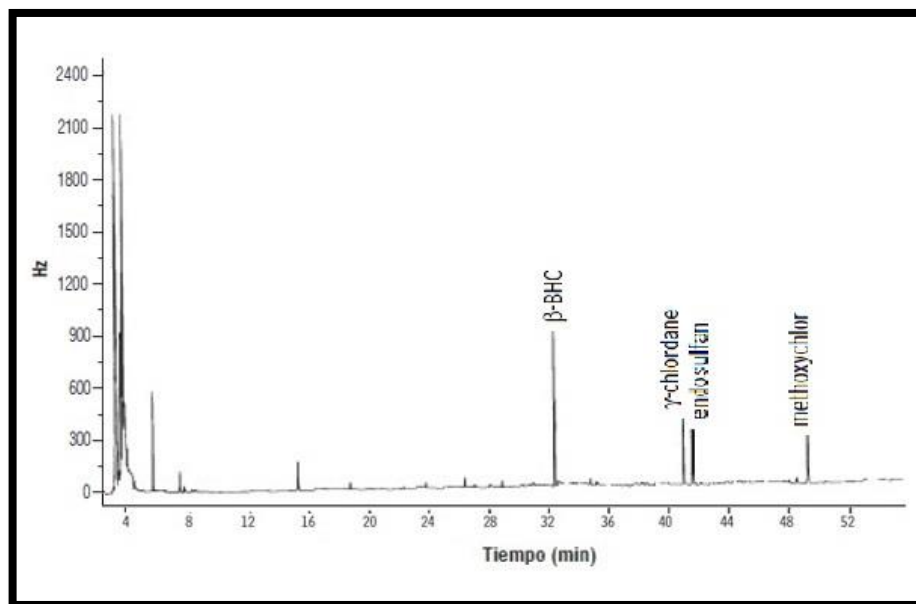
En la figura 32, 33 y 34 se observan los resultados de los pesticidas encontrados en los suelos del cultivo de arveja 2 en las diferentes profundidades a 24 horas después de haber sido fumigado el cultivo.

Figura 32. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo superficial arveja2.



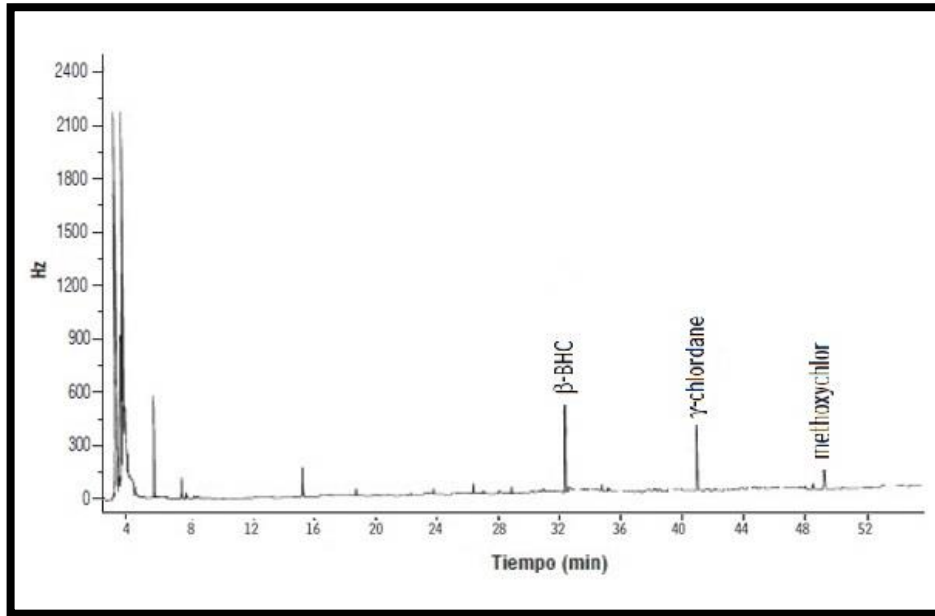
Fuente: Moreno (2017).

Figura 33. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 15 cm arveja2.



Fuente: Moreno (2017).

Figura 34. Cromatograma de pesticidas en la muestra de suelo a 30 cm arveja2.



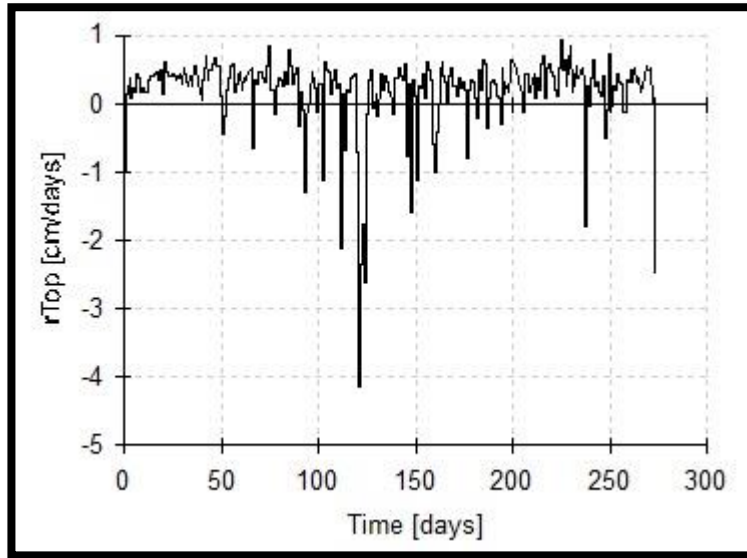
Fuente: Moreno (2017).

De la figura 32 se perciben los cuatro contaminantes con picos que coinciden con el del cromatograma patrón, lo que evidencia la presencia de beta BHC, gamma clordano, endosulfan y metoxicloro; se observa que son los mismo compuestos encontrados en el suelo del cultivo de arveja 1, esto se debe a que ambos cultivos son del mismo predio y le aplican los mismos plaguicidas e insecticidas según las encuestas realizadas. De la figura 33 el pesticida beta BHC presenta mayor frecuencia que los demás contaminantes, similar al del cultivo de arveja 1, debido a que en el suelo es moderadamente persistente sobre todo en pH acidos y que su degradación es lenta. De la figura 34 se observa que desaparece el pesticida endosulfan, lo que indica que tiene semejanza con el análisis de la figura 29, es decir que tiene una menor afinidad por los lípidos y no se acumula tanto como los demás pesticidas, además una fracción queda absorbida a las partículas y es poco propensa a lixiviarse.

➤ **MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS**

En la figura 35 se observa la infiltración potencial en superficie que se genera para el cultivo de arveja 1 a lo largo de un año.

Figura 35. Infiltración potencial en superficie del cultivo de arveja 1.

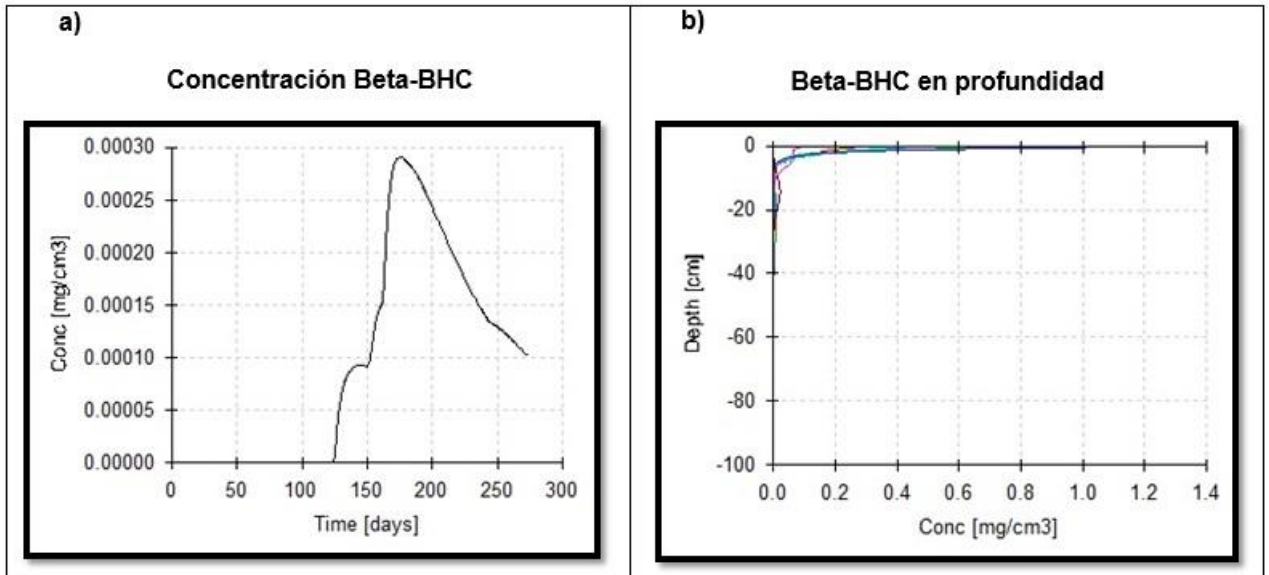


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 35 se observa que la infiltración potencial para todo un año, podría alcanzar valores de 4.1 cm/día en el mes de mayo, 2.1 cm/día en el mes de abril, 1.8 cm/día en el mes de agosto y 2.5 cm/día en el mes de octubre.

En la figura 36 se pueden apreciar las gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Beta- BHC en el suelo del cultivo de arveja 1.

Figura 36. Curvas de transporte del contaminante Beta-BHC en arveja 1.

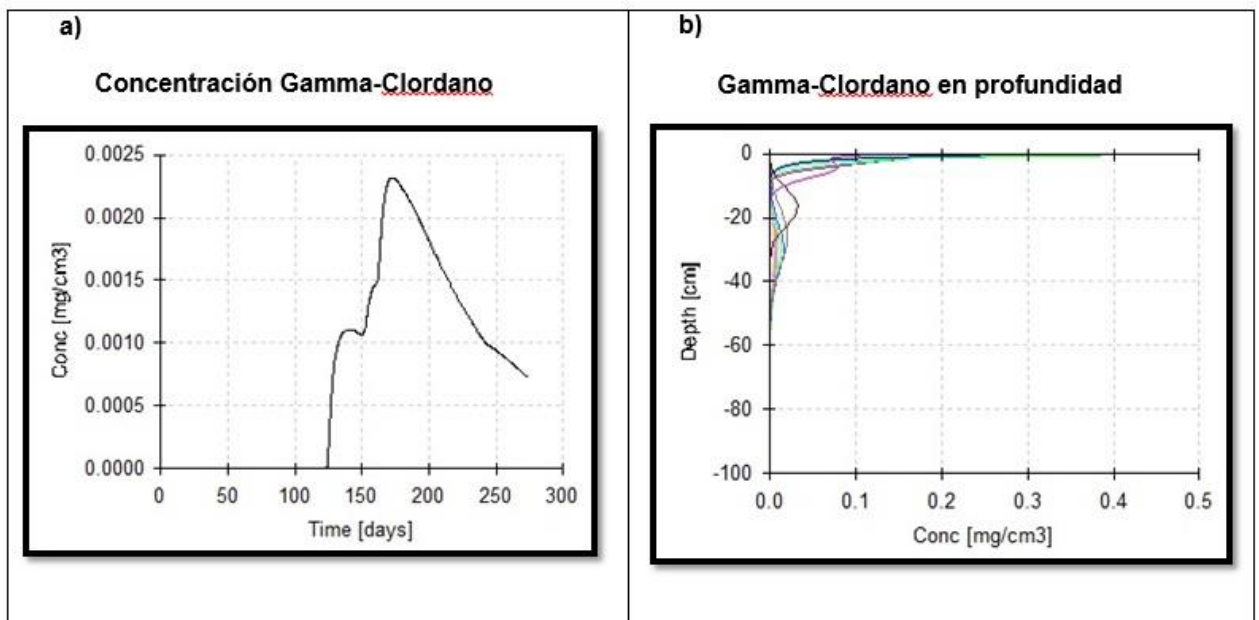


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 36-a, se observa que la concentración de Beta-BHC va aumentando desde el mes de mayo con un nivel de 0.00009 mg/cm³ hasta el mes de junio con 0.00029 mg/cm³ y empieza a disminuir hasta el mes de septiembre con concentración de 0.00010 mg/cm³. Así mismo se puede apreciar en la figura 36-b las concentraciones a lo largo del perfil del suelo en los 366 días simulados, donde la concentración de Beta-BHC comienza con 1.0 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 20 y 30 cm, lo que indica que no llegaría a contaminar las aguas subterráneas.

En la figura 37 se observan la gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Gamma-Clordano en el suelo del cultivo de arveja 1.

Figura 37. Curvas de transporte del contaminante Gamma-Clordano en arveja 1.

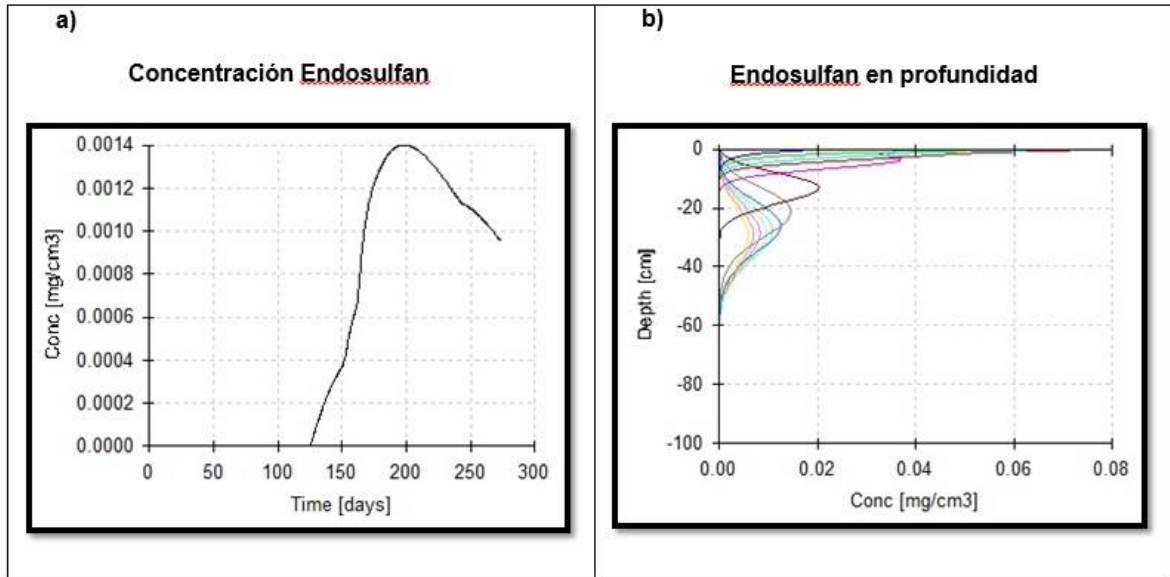


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 37-a, se observa que la concentración de Gamma-Clordano va aumentando desde el mes de mayo con un nivel de 0.0011 mg/cm³ hasta el mes de junio con 0.0024 mg/cm³ y empieza a disminuir hasta el mes de octubre con concentración de 0.00075 mg/cm³. De la figura 37-b la concentración de Gamma-Clordano comienza con 0.38 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 55 cm, es decir que tampoco alcanza a contaminar las aguas subterráneas.

En la figura 38 se observan la gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Endosulfan en el suelo del cultivo de arveja 1.

Figura 38. Curvas de transporte del contaminante Endosulfan en arveja 1.

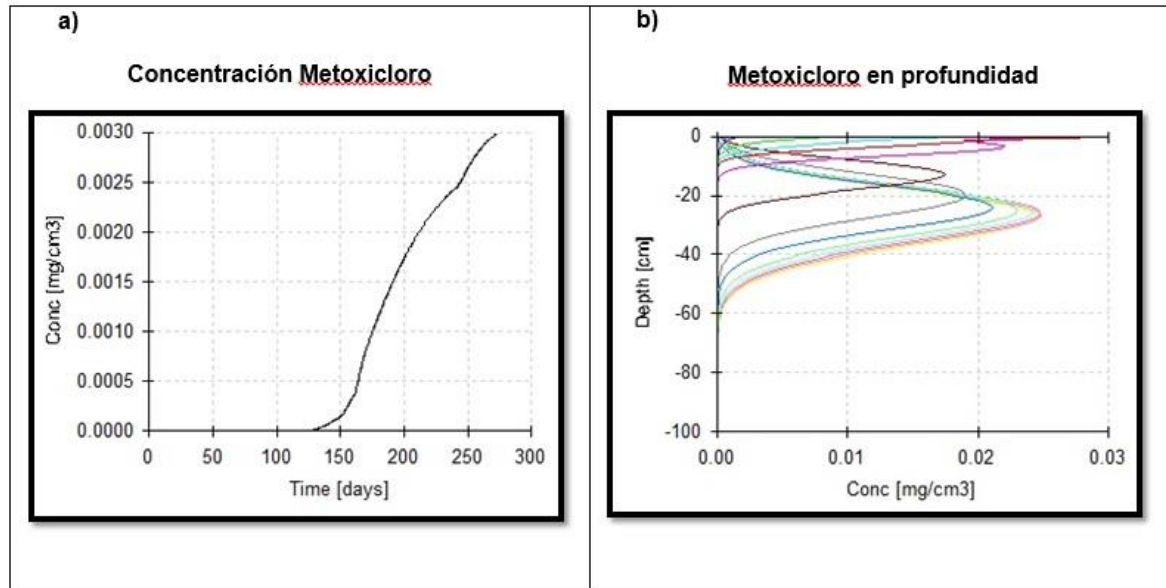


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 38-a, se percibe que la concentración de Endosulfan comienza a aumentar desde el mes de mayo hasta el mes de julio con 0.0014 mg/cm³ en superficie y empieza a disminuir hasta llegar al mes de octubre con una concentración de 0.00089 mg/cm³. De la figura 38-b la concentración de Endosulfan aumenta más en la superficie del suelo con 0.07 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 59 cm, indicando que la alta infiltración potencial registrada en el mes de mayo hace que este soluto pueda alcanzar este valor.

En la figura 39 se observan la gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Metoxicloro en el suelo del cultivo de arveja 1.

Figura 39. Curvas de transporte del contaminante Metoxicloro en arveja 1.

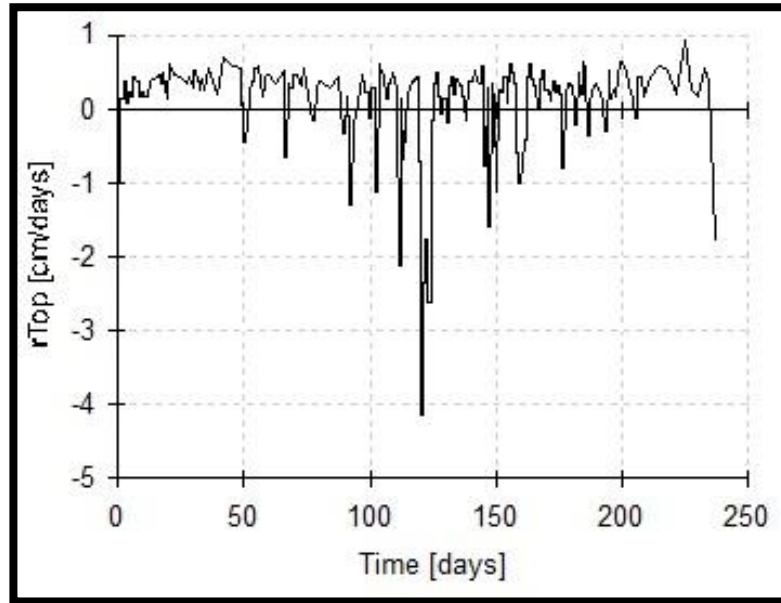


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 39-a, se observa que la concentración de Metoxicloro aumenta desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre con un nivel de 0.0030 mg/cm³ en superficie y de la figura 39-b la concentración de Metoxicloro aumenta en el tiempo debido al constante vertimiento, reportando cantidades 0.024 mg/cm³ y disminuyendo en profundidad hasta 68 cm, indicando que la alta infiltración potencial registrada en el mes de mayo hace que este soluto pueda alcanzar este valor. Es decir que el principal factor para el transporte de cualquier soluto depende principalmente de las propiedades físicas y químicas del suelo, a su vez, según la modelación, el constante vertimiento de los solutos simulados hace que se presenten levadas concentraciones en el suelo, en este caso se observó para el contaminante Metoxicloro.

En la figura 40 se observa la infiltración potencial en superficie para el cultivo de arveja 2 a lo largo de un año.

Figura 40. Infiltración potencial en superficie del cultivo de arveja 2.

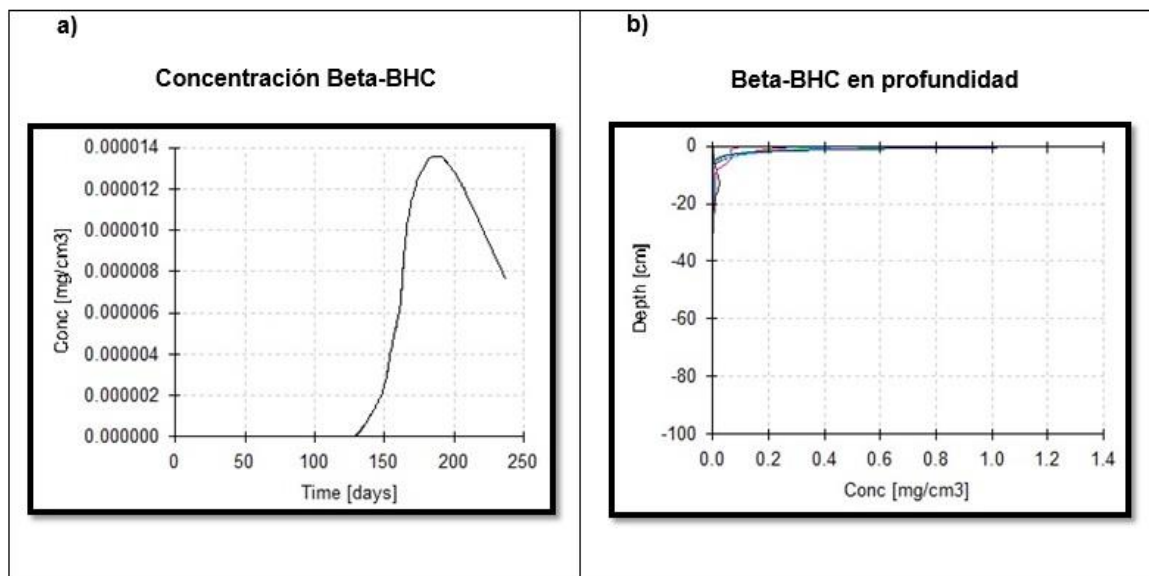


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 40 se observa que la infiltración potencial para todo un año, alcanza un mayor valor de 4.1 cm/día en el mes de mayo, seguido por valores de 2.1 cm/día en el mes de abril, 1.8 cm/día en el mes de mayo y 1.9 cm/día en el mes de agosto; teniendo similitud con la infiltración potencial del cultivo de arveja 1.

En la figura 41 se pueden apreciar las gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Beta- BHC en el suelo del cultivo de arveja 2.

Figura 41. Curvas de transporte del contaminante Beta-BHC en arveja 2.

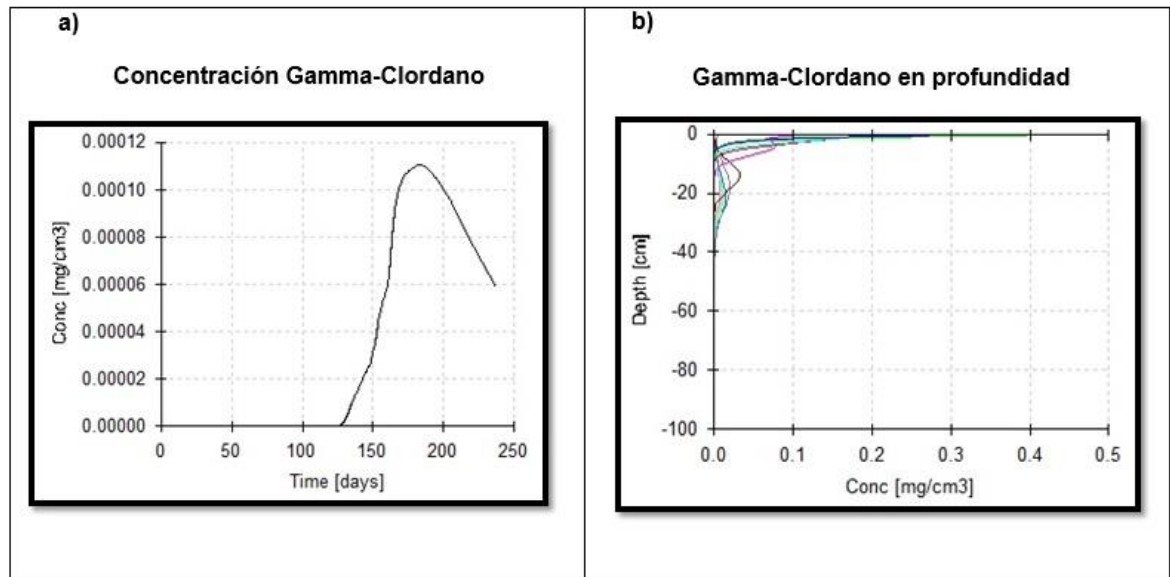


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 41-a, se aprecia que la concentración de Beta-BHC aumenta desde el mes de mayo hasta julio con un nivel de 0.000013 mg/cm³ y empieza a disminuir hasta el mes de agosto con concentración de 0.0000079 mg/cm³. De la figura 41-b la concentración de Beta-BHC comienza con 1.0 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 20 y 30 cm, lo que indica que es similar al cultivo de arveja 1, sus resultados dependen de las características físicas y químicas del suelo.

En la figura 42 se observan las gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Gamma-Clordano en el suelo del cultivo de arveja 2.

Figura 42. Curvas de transporte del contaminante Gamma-Clordano en arveja 2.

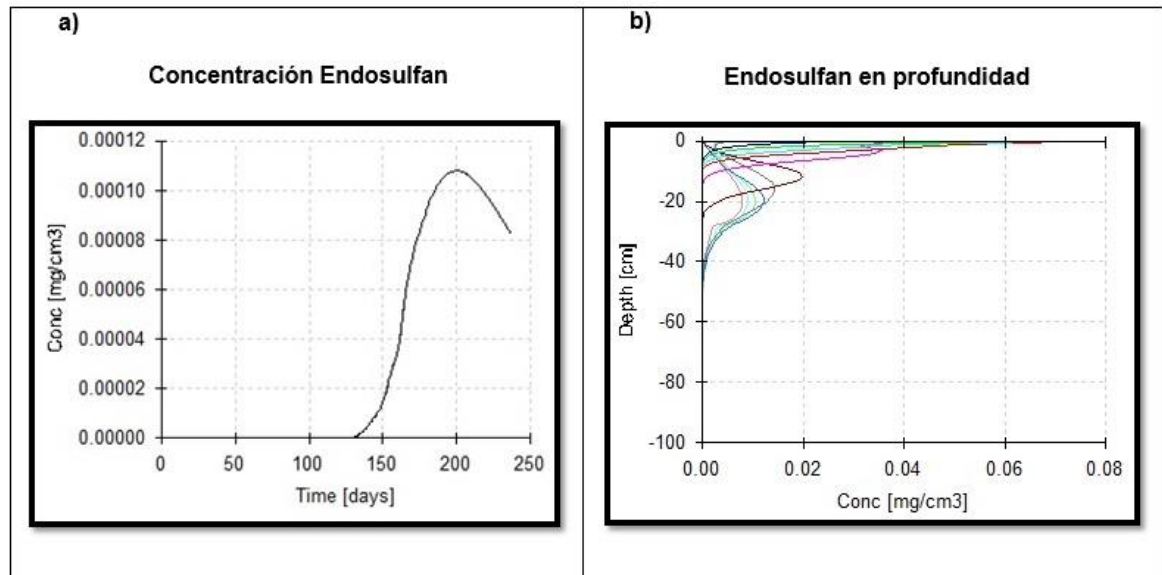


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 42-a, se observa que la concentración de Gamma-Clordano comienza a aumentar desde el mes de mayo hasta julio con un nivel de 0.00011 mg/cm³ y empieza a disminuir hasta el mes de agosto con concentración de 0.00006 mg/cm³. De la misma manera para la figura 42-b la concentración de Gamma-Clordano comienza con 0.39 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 40 cm, es decir que tampoco alcanza a contaminar las aguas subterráneas.

En la figura 43 se observan la gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Endosulfan en el suelo del cultivo de arveja 2.

Figura 43. Curvas de transporte del contaminante Endosulfan en arveja 2.

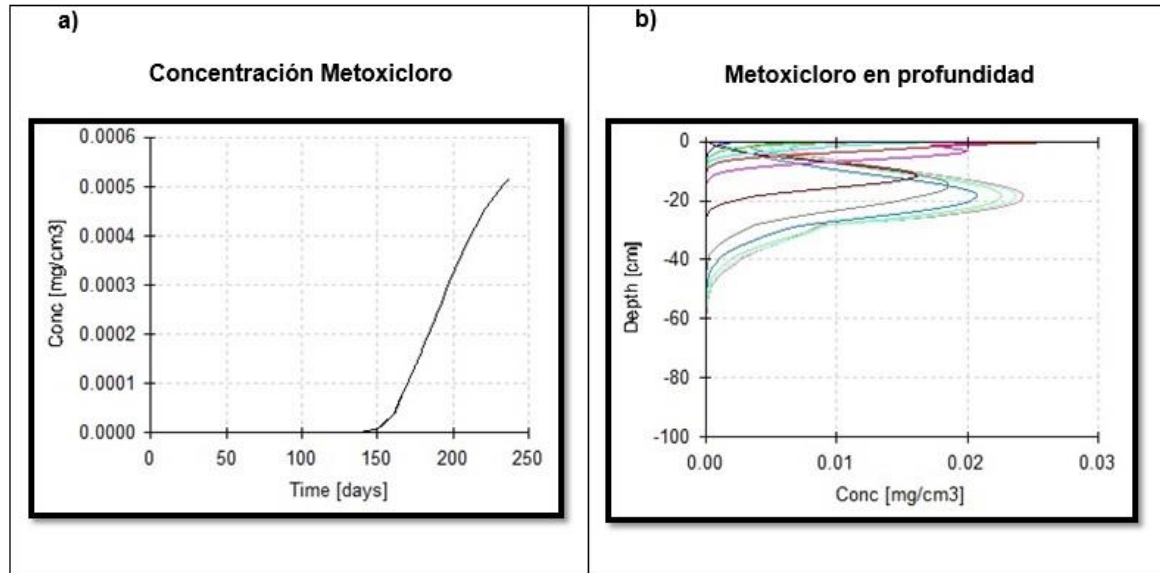


Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 43-a, se percibe que la concentración de Endosulfan aumenta desde el mes de mayo hasta el mes de julio con 0.00011 mg/cm³ en superficie y empieza a disminuir hasta llegar al mes de agosto con una concentración de 0.000081 mg/cm³. De la figura 43-b la concentración de Endosulfan aumenta en el tiempo debido al vertimiento con 0.068 mg/cm³ y disminuye en profundidad hasta 50 cm, indicando que la alta infiltración potencial registrada en el mes de mayo hace que este soluto pueda alcanzar este valor.

En la figura 44 se observan la gráficas sobre la modelación del transporte del contaminante Metoxicloro en el suelo del cultivo de arveja 2.

Figura 44. Curvas de transporte del contaminante Metoxicloro en arveja 2.



Fuente: Hydrus 1D.

De la figura 44-a, se observa que la concentración de Metoxicloro aumenta desde el mes de mayo hasta el mes de agosto con un nivel de 0.00051 mg/cm³ en superficie y de la figura 44-b la concentración de Metoxicloro aumenta en el tiempo debido al constante vertimiento, reportando cantidades de 0.024 mg/cm³ y disminuyendo en profundidad hasta 49 cm, indicando que la alta infiltración potencial registrada en el mes de mayo hace que este soluto pueda alcanzar este valor.

Para el cultivo de arveja 1 y 2 presentó mayor transporte en el suelo el contaminante metoxicloro, es importante tener en cuenta la cantidad de material de los dos cultivos y la textura del suelo, para el primer cultivo se trabajó con 2 materiales, es por ello que el contaminante se transportó hasta 60 cm de profundidad, a comparación del segundo cultivo que presentaba 3 materiales y se transportó 49 cm de profundidad.

➤ **PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LOS CONTAMINANTES**

Después de analizar los resultados de la determinación de los contaminantes en el suelo de la zona de estudio, se reafirma la necesidad de formular una propuesta enfocada en el manejo de los pesticidas tales como el Lindano, Clordano, Endosulfan y Metoxicloro, debido a su alta toxicidad con el medio ambiente y en especial con el recurso suelo (Tabla 22).

Tabla 22. Destino y toxicidad de los contaminantes organoclorados.

Destino y toxicidad para el medio ambiente	
Beta- BHC	Según la Agencia Química de España (2007), es un insecticida muy persistente en el ambiente, su vida media varía de pocos días a 3 años (valor típico de 15 meses), su movilidad en los sistemas terrestres está limitada por su elevada afinidad por la materia orgánica; sin embargo, en suelos de zonas lluviosas o de riego intensivo con bajo contenido de materia orgánica puede lixiviarse. En el suelo es degradado lentamente por algas, hongos y bacterias, sobre todo en condiciones anaerobias. Puede ser absorbido por las plantas a través de la aplicación directa, el agua o los vapores. Sus residuos se almacenan y persisten en las plantas ricas en lípidos, sobre todo en las raíces y en pequeña proporción en tallos, hojas y frutos.
Clordano	Para el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (2002), es un insecticida que se evapora o se lava por medio de los escurrimientos provocados por la lluvia y el riego; sin embargo, una fracción importante queda adsorbida a las partículas de la capa cultivable (arcillas y materia orgánica), donde sus residuos se acumulan y persisten por décadas (20 años). Esta elevada afinidad por las partículas reduce significativamente su movilidad a través del perfil del suelo. Este compuesto es biodegradable; sin embargo, su eliminación biológica es muy lenta en condiciones ambientales, es absorbido y translocado dentro de las plantas.
Endosulfan	Es un plaguicida moderadamente persistente en el suelo (vida media de 50 días), sobre todo a pH ácido. La fracción disponible en suelos es degrada biológicamente en semanas, formando sulfato de Endosulfán el cual es relativamente estable y persistente. Por su parte, la fracción adsorbida a las partículas puede persistir por años y es poco propensa a lixiviarse hasta las aguas subterráneas. Este compuesto tiene menor afinidad por los lípidos que otros plaguicidas organoclorados, por ello su bioacumulación y biomagnificación son menos probables (Universidad Nacional de Costa Rica, 2008).
Metoxicloro	Es un insecticida muy persistente en los suelos, su vida media en los sistemas terrestres es 120 días. Este compuesto se une fuertemente a las partículas, por ello habitualmente no se espera que muestre una movilidad significativa. No obstante su movilidad real depende de las características específicas del sitio, como por ejemplo del contenido de materia orgánica en el suelo y del régimen de lluvias en el lugar. En general constituye un riesgo bajo de contaminación para las aguas subterráneas, pero dicho riesgo puede incrementarse cuando se aplican altas concentraciones de este plaguicida o cuando el manto freático es poco profundo, en suelo y agua es removido por acción de la luz solar y de los microorganismos ((ATSDR), 2016).

Fuente: Moreno (2017).

Actualmente, la contaminación de los suelos en los cultivos de arveja de la vereda el Escorial, se encuentran afectados por los plaguicidas e insecticidas organoclorados, generando riesgo para el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Pero a pesar de los problemas que puede ocasionar esta contaminación, el hombre sigue abusando del suelo; utilizándolo de manera continua e indiscriminada en muchas ocasiones, dando lugar a que las propiedades físicas y químicas del suelo se vean realmente afectadas. Es por ello que en la tabla 23 se indican los métodos alternativos y el manejo adecuado de los plaguicidas e insecticidas.

Tabla 23. Manejo y métodos alternativos de los plaguicidas e insecticidas.

Compra y selección del plaguicida	Preparación de la mezcla	Aplicación de plaguicidas	Métodos de combate
<p>Cuando se va a adquirir un plaguicida, se debe escoger un producto adecuado contra la plaga a combatir, por lo que es recomendable consultar con un técnico o un ingeniero agrónomo. Lo ideal es comprar un plaguicida efectivo, de baja toxicidad y de poca persistencia en el ambiente. La etiqueta debe ser leída cuidadosamente antes de comprar el plaguicida; ella contiene información sobre los riesgos para las personas, los animales y el ambiente en general, así como la forma adecuada de utilizarlo. Se debe evitar comprar más cantidad de plaguicida que la necesaria, para reducir de esta manera la inversión económica y los riesgos de intoxicación y de contaminación ambiental (Barquero, 2003).</p>	<p>Según estipula el Reglamento sobre Registro, Uso y Control de Plaguicidas Agrícolas y Coadyuvantes (Decreto Nº 17557-MAG-S-TSS), la etiqueta del plaguicida debe ser leída cuidadosamente antes de preparar la mezcla observando el grado de toxicidad y la forma correcta de mezclarlo. Nunca se deben emplear dosis mayores que la recomendada en la etiqueta, con lo cual se reduce el gasto económico, el riesgo de intoxicación y el daño al ambiente.</p>	<p>Antes de aplicar cualquier plaguicida, se debe consultar la etiqueta, ya que es de gran importancia para la salud del agricultor y la de los consumidores del producto agrícola, respetar el intervalo obligatorio entre la última aplicación y el día de la cosecha, la forma correcta para aplicarlo y todos los cuidados mencionados anteriormente. Un plaguicida nunca se debe aplicar cuando haya viento fuerte o lluvia, en zonas cercanas a pozos, arroyos, ríos o lagos, ni en áreas habitadas; son muchos los casos de intoxicaciones y contaminación ambiental que se conocen por estas causas (Castillo, 2008).</p>	<p>-Técnicas de policultivos - buena preparación del terreno - uso de semilla sana y variedades resistentes a ciertas plagas - cultivos trampa: Alfafa, geranio, centeno - plantas repelentes: Ajo, albahaca, caléndula, cebolla, lavanda - deshierba manual - trampas mecánicas: Trampa pegajosa y de luz - plaguicidas naturales: NIM, chile, tabaco y ajo - eliminación de desechos poscosecha y combate biológico. Estos métodos pueden ayudar a mantener la plaga en bajas poblaciones y reducir los costos de producción; además, no afectan la salud ni contaminan el ambiente (Castillo, 2008).</p>

Fuente: Moreno (2017).

Se debe tomar conciencia sobre la dificultad para eliminar los plaguicidas e insecticidas que son muy persistentes en el ambiente y que pueden mantener sus efectos tóxicos por largo tiempo. Debido a su persistencia, el riesgo de contaminar el recurso suelo es mayor, donde pueden permanecer por mucho tiempo e inclusive hasta por décadas, dejando así un grave daño al medio ambiente imposible de reparar.

CONCLUSIONES

- A partir de la encuesta aplicada a los propietarios de los cultivos se concluye que el insecticida más utilizado es Monitor y los plaguicidas cymozeb y roxion aplicándolos sin ningún control y sin cumplir con la norma vigente establecida.
- Para la identificación de los puntos de muestreo del suelo, con ayuda de la georeferenciación realizada con el dron se establece que el área menor y mayor de los cultivos de arveja son 0,125 Ha y 0,185 Ha y para el suelo no contaminado 0,326 Ha; permitiéndonos identificar los puntos de muestreo para cada uno de los cultivos.
- En la caracterización física y química de las muestras de suelo, se concluye que son suelos ácidos, pobres en calcio, magnesio y potasio; la mayoría de color marrón rojizo; con niveles medio altos y medio de capacidad de intercambio catiónico; con alto contenido de humedad, textura areno francosas y permeabilidad moderada. Indicando que existen cambios significativos en la composición del suelo debido al uso de agroquímicos.
- Para la determinación de contaminantes en los suelos de los cultivos de arveja por medio de cromatografía, se encontraron plaguicidas e insecticidas organoclorados tales como el beta BHC, gamma clordano, endosulfan y metoxicloro.
- En la modelación del transporte de los contaminantes en el suelo se determinó que para los dos cultivos, el metoxicloro es el que más se transportó, llegando a profundidades de 60 cm para el primer cultivo y 49 cm para el segundo.

RECOMENDACIONES

- Extender los estudios expuestos en esta tesis a la determinación de los contaminantes presentes en el fruto de cultivos de arveja.
- Trabajar en la mejora continua del proyecto, como la determinación de contaminantes por medio de diferentes tipos de extracción y cromatografía, así mismo realizarlo para todos los cultivos de la zona de estudio con el fin de realizar una comparación más detallada de los contaminantes.
- Simular con mayor detenimiento el transporte de los contaminantes del suelo en el software Hydrus-3D.
- Es necesario implementar charlas a diferentes propietarios de cultivos de arveja sobre el manejo de los plaguicidas e insecticidas que permita mitigar el daño ecológico.

BIBLIOGRAFIA

- Metcalf y Flint. (1979). *Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control*. Mexico: 4 Ed. Continental S.A.
- (ATSDR), A. p. (2016). *Metoxicloro (Methoxychlor)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts47.html
- (ECHA), A. Q. (2007). Lindano. *PRTR España*. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/Lindano,15632,11,2007.html>
- (PISSQ), P. I. (2002). *Clordano, guía para la salud y la seguridad*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/036095.pdf>
- (UNA), U. N. (2008). Endosulfan. *MANUAL DE PLAGUICIDAS DE CENTROAMÉRICA*. Obtenido de <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/212-endosulfan>
- Acevedo, L. (2015). *Insecticidas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/286358441/Insecticidas>
- Agustin. (2011). Plaguicidas. *ECOLOGIAHOY*. Obtenido de <http://www.ecologiahoy.com/plaguicidas>
- Alcaldía de Pamplona. (2016). Obtenido de <http://190.248.37.182:11910/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Aranda, C. (1998). En *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Mexico. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=tkUYqd0Aac8C&pg=SA3-PA20&lpg=SA3-PA20&dq=definicion+de+presion+atmosferica+ciclo+hidrologico&source=bl&ots=HT2I8bGcvr&sig=hFNwvsiRe3eKEBE01E5cavljji4&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiF0efo6q_XAhWEi1QKHV9FB1AQ6AEIbzAP#v=onepa
- Barquero. (2003). Residuos de plaguicidas organoclorados en tejido adiposo en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*.
- Biblioteca Universidad EAN . (2014).
- Bonet. (2009). Insecticidas biológicos. *enfemenino*. Obtenido de <http://www.enfemenino.com/trucos/insecticidas-biologicos-s448505.html>
- Camazano, S. (1984). *Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo*.



- Campos, D. (2013). *SlideShare*. Obtenido de Propiedades físicas de los suelos: <https://es.slideshare.net/vandick20/propiedades-fsica-de-los-suelos>
- Castillo. (2008). Diagnóstico de la problemática de los plaguicidas en Costa Rica. . *Universidad Naciona*.
- Cicoplafest. (1998). *Catalogo Oficial de Plaguicidas*.
- Custodio. (1983).
- DANE. (2015). El cultivo de la arveja en Colombia. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf
- Delgadillo y Martínez. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos* . Mexico.
- Doménech, X. (2006). *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Dorronsoro y García . (2010).
- Ecoadmin. (2012). *Ecología hoy*. Obtenido de <http://www.ecologiahoy.com/radiacion-solar>
- EcuRed*. (2017). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Evapotranspiraci%C3%B3n>
- Fallas, J. C. (2011). La humedad del aire. En *Intituto Meteorologico Nacional*. Obtenido de <http://www.archivonacional.go.cr/memorias/2000/07.pdf>
- FAO. (1990). *Agentes contaminantes en el suelo*.
- Fenalce. (2006). Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. *El cultivo de la arveja en Colombia*, pág. 83.
- Fernández, J. (2016). *Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/definiciones/temperatura.html>
- Fink, C. (2015). *Planeta Azul*. Obtenido de <http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/la-neblina/>
- Flores, V. (2009). *SlideShare*. Obtenido de Estructura y tipos de suelos: <https://es.slideshare.net/vladimirofs/estructura-y-tipos-de-suelos>
- Gentile. (2017). *Clasificación y Toxicología de PLAGUICIDAS*. Universidad Nacional del Comahue.
- Hilje, L. (1987). *El uso de plaguicidas en Costa Rica*. San Jose.

- ICA. (2002). *Prácticas recomendadas para el manejo integrado del cultivo*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1359s/a1359s05.pdf>
- Jenkins y Thomson. (1999). OSU Extension Pesticide Properties Database. *Oregon State University Extension Service* .
- Maldonado. (2012).
- Mejias, J. (2015). *Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas Agua, Sedimento y Suelo*.
- Mijares. (1999). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Mexico: Limusa.
- Mosquera, D. (2012). *ESTANDARIZACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCORADOS Y ORGANOFOSFORADOS EN SUELOS POR CROMATOGRFÍA DE GASES CON DETECTORES FID Y ECD*. Pereira.
- Neuman. (1972). *Programas de ordenador de elementos finitos para el flujo en medios porosos saturados-insaturados*. Israel.
- Ochoa, R. (2015). *SlideShare*. Obtenido de Riesgos y beneficios de los plaguicidas: <https://es.slideshare.net/ricardochoa9404/cuales-son-los-riesgos-y-beneficios-de-los-plaguicidas-y-pesticidas>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017). *Línea Verde* . Obtenido de <http://www.lineaverdemijas.com/lv/consejos-ambientales/las-nubes/definicion-de-nubes.asp#>
- Ortega, G. (2014). *Composición y clasificación de los suelos*. Obtenido de <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/composicion-y-clasificacion-de-los-suelos-1293271.html>
- Parrales, Vera y Tovar. (2012). *Cromatografía de gases*. Ecuador.
- Pauletti. (1999). *Manual de precauciones en el manejo de plaguicidas*. Uruguay.
- Pérez, G. (2012). *Ciclo Hidrológico.com*. Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/evaporacion>
- PROGRESS, P. (2008). *Engineering software developer*. Obtenido de <https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-2d>
- Ramírez y Lacasaña. (2003). *Plaguicidas: Clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición*. . Barcelona.
- Richards. (1985). *Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos*. USDA. México: Limusa.

- Roth, G. D. (2014). *Definicionyque.es*. Obtenido de <http://definicionyque.es/viento/>
- Russell, R. (19 de enero de 2010). *Ventanas al universo*. Obtenido de <https://www.windows2universe.org/earth/geology/fault.html&lang=sp>
- Sánchez, M. (2005). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/MarcoAntonioArribasp/contaminacion-de-suelos-2017pptx-y-las-tecnicas-de-remediacion>
- Sancho, V. (2005). Contaminación del Suelo.
- Scientific software group*. (2015).
- Secretaría del Senado, R. d. (2017).
- Serna. (2011). Nuevas tendencias en Preparación de. *ChemElut*.
- Šimůnek. (1998). *HYDRUS-1D, Agua Subterranea Modelacion Centro Internacional*. Colorado.
- SoilVision Systems*. (2004).
- Soriano. (2011). *Mecánica de fluidos*. Obtenido de <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%201.pdf>
- Stoorvogel, Jaramillo, Merino y Kosten. (1997). *Plaguicidas en el medio ambiente*.
- Torres, V. (1994). *Estratigrafía. Principios y métodos*. Madrid: Rueda.
- Universidad Complutense de Madrid*. (2017). Obtenido de <http://webs.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/transpiracion.html>
- Valderrama, J. (2015). *Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad*. Obtenido de http://www.academia.edu/11377488/TRANSPORTE_Y_TRANSFORMACION_DE_PLAGUICIDAS_EN_EL_MEDIO
- Van Genuchten. (1978). *Transporte de masa en medio saturado-insaturados*. Princeton: Programa de recursos de agua.
- Vitery*. (2017).
- Vizcaino. (2012). MODFLOW. *Comunidad Ism*.
- Vogel. (1987). *Modelo numerico de flujo bidimensional en un medio poroso variablemente saturado*. Wageningen.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 1.

 ENCUESTA PARA EL PROYECTO " MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN SUELOS DE CULTIVO DE FRESA Y ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: DAYANA MILENA MORENO PABON		 	
OBJETIVO: Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.			
DEPARTAMENTO: Norte de Santander		FECHA	09/08/2017
MUNICIPIO: Pamplona		VEREDA	El Escorial
NOMBRE DEL PREDIO Juan Gomez		Coordenadas	N 07° 21' 27.7" E 072° 38' 45.4"
NOMBRE ENCUESTADO Raul Jaimes		ALTITUD	2459 m
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de arveja <u>0,125</u> (Ha)?			
1. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando insecticidas y plaguicidas?			
<input type="checkbox"/> Menos de un año. <input checked="" type="checkbox"/> Entre uno y cinco años. <input type="checkbox"/> Más de cinco años. <input type="checkbox"/> Nunca los he utilizado.			
2. ¿Cuáles son las marcas de insecticidas que usted más utiliza?			
Marca 1: <u>Drago</u>		Marca 2: <u>Rodion 40 EC</u>	
Marca 3: <u>Montol</u>		Marca 4: <u>Loraban 4 EC</u>	
Marca 5: <u>Latop</u>			
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza?			
Marca 1: <u>Cymoleb</u>		Marca 2: <u>RODION 40 EC</u>	
Marca 3: _____		Marca 4: _____	
Marca 5: _____			
4. ¿Con qué frecuencia al día utiliza los insecticidas y cuántas veces en la semana?			
<input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día.		<input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
5. ¿Con qué frecuencia utiliza los plaguicidas y cuántas veces en la semana?			
<input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día.		<input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
6. ¿Qué tipo de riego utiliza?			
<input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo			
7. ¿Cuál es el tiempo de riego para el cultivo de arveja <u>12 HORAS</u> ?			
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de arveja <u>40 CC</u> ?			
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de arveja <u>40 CC</u> ?			
8. ¿Cómo aplica la dosis?			
<input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo <input type="checkbox"/> Solución			
Observaciones: La información recolectada en esta encuesta será de uso exclusivo para la investigación en curso.			

Anexo 2. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 2.

 <p style="text-align: center;">ENCUESTA PARA EL PROYECTO "MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN SUELOS DE CULTIVO DE FRESA Y ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: DAYANA MILENA MORENO PABON</p> 	
OBJETIVO: Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.	
DEPARTAMENTO: Norte de Santander	FECHA: 22/08/2017
MUNICIPIO: Pamplona	VEREDA: El Escorial
NOMBRE DEL PREDIO: Juan Gomez	Coordenadas: N 07° 21' 30.4" E 072° 38' 43.8"
NOMBRE ENCUESTADO: Carlos Andres Jarama	ALTITUD: 2463 m
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de arveja <u>0.185</u> (Ha)?	
2. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando insecticidas y plaguicidas? <input checked="" type="checkbox"/> Menos de un año. <input type="checkbox"/> Entre uno y cinco años. <input type="checkbox"/> Más de cinco años. <input type="checkbox"/> Nunca los he utilizado.	
2. ¿Cuáles son las marcas de insecticidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>Fulmirator</u> Marca 2: <u>Alef</u> Marca 3: <u>Monitor</u> Marca 4: _____ Marca 5: _____	
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>Cymozel</u> Marca 2: <u>Roxion 40 EC</u> Marca 3: _____ Marca 4: _____ Marca 5: _____	
4. ¿Con qué frecuencia al día utiliza los insecticidas y cuántas veces en la semana? <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
5. ¿Con qué frecuencia utiliza los plaguicidas y cuántas veces en la semana? <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
6. ¿Qué tipo de riego utiliza? <input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo	
7. ¿Cuál es el tiempo de riego para el cultivo de arveja <u>12 horas</u> ?	
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de arveja <u>30 cc</u> ?	
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de arveja <u>30 cc</u> ?	
8. ¿Cómo aplica la dosis? <input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo <input type="checkbox"/> Solución	
Observaciones: La información recolectada en esta encuesta será de uso exclusivo para la investigación en curso.	

Anexo 3. Encuesta aplicada al propietario del cultivo de arveja 3.

 <p style="text-align: center;">ENCUESTA PARA EL PROYECTO " MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN SUELOS DE CULTIVO DE FRESA Y ARVEJA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D EN LA VEREDA EL ESCORIAL PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: DAYANA MILENA MORENO PABON</p>  	
OBJETIVO: Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.	
DEPARTAMENTO: Norte de Santander	FECHA: 09/08/2017
MUNICIPIO: Pamplona	VEREDA: El Escorial
NOMBRE DEL PREDIO: Juan Gomez	Coordenadas: N 07° 21' 28.6" E 072° 38' 46.0"
NOMBRE ENCUESTADO: Raul Jaimec	ALTITUD: 2450m
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de arveja <u>0,138</u> (Ha)?	
2. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando insecticidas y plaguicidas? <input type="checkbox"/> Menos de un año. <input checked="" type="checkbox"/> Entre uno y cinco años. <input type="checkbox"/> Más de cinco años. <input type="checkbox"/> Nunca los he utilizado.	
3. ¿Cuáles son las marcas de insecticidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>lanigo</u> Marca 2: <u>Monitoi</u> Marca 3: <u>Diago</u> Marca 4: <u>Roxion 40 EC</u> Marca 5: <u>Loichon 4EC</u>	
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>Cymozeb</u> Marca 2: <u>Roxion 40 EC</u> Marca 3: _____ Marca 4: _____ Marca 5: _____	
4. ¿Con qué frecuencia al día utiliza los insecticidas y cuántas veces en la semana? <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
5. ¿Con qué frecuencia utiliza los plaguicidas y cuántas veces en la semana? <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez al día. <input checked="" type="checkbox"/> 1 vez a la semana. <input type="checkbox"/> 2-3 veces al día. <input type="checkbox"/> 2-3 veces a la semana. <input type="checkbox"/> Más de 3 veces al día. <input type="checkbox"/> Todos los días de la semana.	
6. ¿Qué tipo de riego utiliza? <input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo	
7. ¿Cuál es el tiempo de riego para el cultivo de arveja <u>12 horas</u> ?	
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de arveja <u>40 cc</u> ?	
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de arveja <u>40 cc</u> ?	
8. ¿Cómo aplica la dosis? <input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo <input type="checkbox"/> Solución	
Observaciones: La información recolectada en esta encuesta será de uso exclusivo para la investigación en curso.	

Anexo 4. Cultivos de arveja 1 y 3 predio Juan Gómez tomada con el drone.



Anexo 5. Cultivo de arveja 2 predio Juan Gómez tomada con el drone.



Anexo 6. Medición de pH en las muestras de los cultivos.



Anexo 7. Determinación del color en las muestras de los cultivos.



Anexo 8. Determinación de la CIC en las muestras de los cultivos.



Anexo 9. Determinación de granulometría en las muestras de suelo.



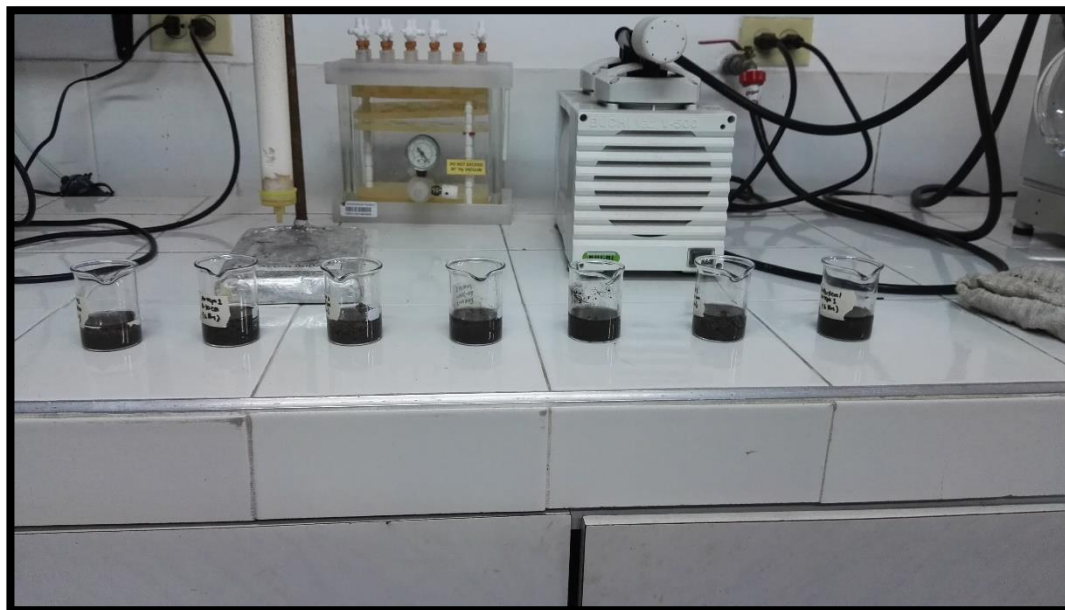
Anexo 10. Determinación de la textura en los suelos por el método de Bouyoucos.



Anexo 11. Medición de permeabilidad e infiltración en el suelo de los cultivos.



Anexo 12. Muestras de suelo con los reactivos para la extracción.



Anexo 13. Limpieza del extracto orgánico de las muestras de suelo.



Anexo 14. Extracto del suelo reducido a 1 ml.

