

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

**YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA**

**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 FRESA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS- 1D  
EN LA VEREDA DE MONTEADENTRO PAMPLONA NORTE DE SANTANDER**

**YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA**

**1094273702**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniera ambiental**

**DIRECTORA**

**PhD, María Esther Rivera**

**CODIRECTORES**

**MSc, Jesús Ramón Delgado**

**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**

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Pamplona (24 de enero del 2018)**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto, por todas las bendiciones recibidas y por haberme regalado vida y salud para cumplir con mis objetivos.

### **A mis padres.**

Por su apoyo incondicional, por sus consejos, por alentarme a nunca desfallecer y sobre todo por su amor y comprensión.

### **A mis hermanas**

Por siempre estar ahí cuando las necesito, por su apoyo y por su cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer principalmente a mis padres Fernel Bacheloth y Ruth Padilla porque sin su apoyo tal vez no habría culminado esta etapa.

Un especial agradecimiento a mis maestros, quienes me han enseñado todo lo aprendido, a mis tutores María Esther Rivera, Jesús Ramón Delgado y Mario Javier Vargas, por su acompañamiento y entrega. Al profesor Janer Cantillo y al Doctor Alfonso Quijano por su asesoría y colaboración. De igual manera agradezco a Rafael Portilla y Saúl Portilla por su disposición, colaboración y por permitir el desarrollo de esta investigación en sus predios.

Agradezco a todas aquellas personas, amigos y compañeros que han hecho parte de este proceso, en el que he aprendido y mejorado como estudiante y como persona.

Por último, un agradecimiento a los jurados por las observaciones realizadas y a la universidad de Pamplona, por el préstamo de los laboratorios, equipos e insumos necesarios para el desarrollo de ésta investigación, así como a las auxiliares encargadas, por su colaboración y excelente atención.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>13</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>16</b>
<b>2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>4 ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>19</b>
<b>5 MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>20</b>
5.1 ANTECEDENTES.....	20
5.2 MARCO CONTEXTUAL .....	26
5.2.1 Descripción de la zona de estudio.....	26
5.2.2 Características biofísicas .....	27
5.3 MARCO TEÓRICO .....	30
5.3.1 Características geológicas del suelo.....	31
5.3.2 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	34
5.3.3 Generalidades del cultivo de la fresa .....	40
5.3.4 Actividad económica y degradación del recurso suelo.....	50
5.3.5 Implicaciones ambientales del uso de plaguicidas e insecticidas .....	53
5.3.6 Degradación natural de plaguicidas e insecticidas.....	58
5.3.7 Factores y mecanismos que influyen en el transporte y permanencia de los plaguicidas e insecticidas.....	61
5.3.8 Métodos para extracción e identificación de sustancias químicas .....	64
5.3.9 Modelación y simulación de contaminantes mediante software .....	69
5.4 MARCO LEGAL.....	79
<b>6 METODOLOGÍA</b> .....	<b>86</b>
6.1 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA .....	86

6.2	MUESTREO .....	87
6.2.1	Tipo de muestreo .....	87
6.2.2	Puntos de muestreo .....	88
6.2.3	Número y toma de muestras .....	88
6.3	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO .....	89
6.4	EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA .....	101
6.5	MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS .....	103
6.6	PROPUESTA PARA EL MANEJO DE CONTAMINANTES.....	110
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>111</b>
7.1	ENCUESTA .....	111
7.2	ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS .....	112
7.2.1	pH.....	112
7.2.2	Humedad.....	113
7.2.3	Textura .....	114
7.2.4	Color.....	115
7.2.5	Permeabilidad e infiltración .....	115
7.2.6	Capacidad de intercambio catiónico.....	121
7.2.7	Granulometría .....	122
7.3	DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES POR CROMATOGRAFÍA ..	124
7.4	MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS-1D.....	127
7.5	PROPUESTA PARA EL MANEJO DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	130
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>134</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>135</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Naturaleza de la partícula y CIC.....	38
<b>Tabla 2.</b> Área cosechada, producción y rendimiento de fresa en Colombia. 2011	42
<b>Tabla 3.</b> Manejo de la fertilización según etapas fenológicas del cultivo de la fresa. .....	45
<b>Tabla 4.</b> Condiciones climáticas para el cultivo de fresa. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Características edáficas para el cultivo de fresa. ....	46
<b>Tabla 6.</b> Plagas en el cultivo de fresa, daños y medidas de control. ....	47
<b>Tabla 7.</b> Enfermedades en el cultivo de fresa. ....	48
<b>Tabla 8.</b> Plaguicidas e insecticidas utilizados en la vereda monte dentro .....	57
<b>Tabla 9.</b> Presión de vapor de un plaguicida .....	63
<b>Tabla 10.</b> Persistencia de un plaguicida .....	63
<b>Tabla 11.</b> Norma Colombiana relacionada con plaguicidas.....	83
<b>Tabla 12.</b> Dosis de plaguicidas aplicada vs recomendada .....	111
<b>Tabla 13.</b> pH.....	112
<b>Tabla 14.</b> Humedad. ....	113
<b>Tabla 15.</b> Textura .....	114
<b>Tabla 16.</b> Color.....	115
<b>Tabla 17.</b> Permeabilidad Fresa El Saladito .....	116
<b>Tabla 18.</b> Infiltración Fresa El Saladito .....	117
<b>Tabla 19.</b> Permeabilidad Fresa El Desgredo.....	119
<b>Tabla 20.</b> Infiltración Fresa El Desgredo .....	120
<b>Tabla 21.</b> Capacidad de intercambio catiónico .....	122
<b>Tabla 22.</b> Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura. ....	123



## LISTA DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama 1.</b> Procedimiento de Ph .....	89
<b>Diagrama 2.</b> Procedimiento de humedad.....	90
<b>Diagrama 3.</b> Procedimiento de textura.....	92
<b>Diagrama 4.</b> Procedimiento de color.....	93
<b>Diagrama 5.</b> Procedimiento de permeabilidad e infiltración .....	94
<b>Diagrama 6.</b> Procedimiento de Capacidad de intercambio catiónico. ....	98
<b>Diagrama 7.</b> Procedimiento de granulometría.....	100
<b>Diagrama 8.</b> Procedimiento de extracción HAP.....	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localización de la zona de estudio.....	26
<b>Figura 2.</b> Plano de localización de cultivos de fresa vereda monte dentro.....	27
<b>Figura 3.</b> Valores mínimos, medios y máximos de precipitación en Pamplona, año 2016.....	29
<b>Figura 4.</b> Valores mínimos, medios y máximos de evaporación en Pamplona, año 2016.....	29
<b>Figura 5.</b> Planta de fresa.....	41
<b>Figura 6.</b> Estructura química de algunos organoclorados.....	54
<b>Figura 7.</b> Estructura química de algunos organofosforados.....	55
<b>Figura 8.</b> Estructura química de algunos carbamatos y ditiocarbamatos.....	56
<b>Figura 9.</b> Estructura química de algunos piretroides.....	57
<b>Figura 10.</b> Reacciones de hidrólisis en moléculas orgánicas.....	60
<b>Figura 11.</b> Descripción gráfica software modflow.....	70
<b>Figura 12.</b> Descripción gráfica software Chemflux.....	71
<b>Figura 13.</b> Descripción gráfica software BIO-1D.....	72
<b>Figura 14.</b> Descripción gráfica software PRZM3.....	74
<b>Figura 15.</b> Descripción gráfica software Hydrus 1D.....	76
<b>Figura 16.</b> Descripción gráfica software Hydrus 2D/3D.....	77
<b>Figura 17.</b> Encuesta aplicada sobre el uso de plaguicidas e insecticidas.....	86
<b>Figura 18.</b> Método sistemático de transecto fijo con la ayuda adicional de un posicionador global (GPS).....	87
<b>Figura 19.</b> Procesos principales.....	105
<b>Figura 20.</b> Información geométrica.....	105
<b>Figura 21.</b> Información del tiempo.....	106
<b>Figura 22.</b> Criterios de Iteración.....	107
<b>Figura 23.</b> Parámetros del medio poroso.....	108
<b>Figura 24.</b> Parámetros del transporte de solutos.....	108
<b>Figura 25.</b> Variable de tiempo y condiciones de contorno.....	109
<b>Figura 26.</b> Representación gráfica del perfil del suelo.....	110
<b>Figura 27.</b> Dosis de plaguicidas aplicada vs recomendada.....	112
<b>Figura 28.</b> Permeabilidad Fresa El Saladito.....	117
<b>Figura 29.</b> Infiltración Fresa El Saladito.....	118
<b>Figura 30.</b> Permeabilidad Fresa El Desgrede.....	120
<b>Figura 31.</b> Infiltración Fresa El Desgrede.....	121
<b>Figura 32.</b> Curvas granulométricas.....	123
<b>Figura 33.</b> Cromatograma muestra de suelo superficial- Predio El Saladito.....	124

<b>Figura 34.</b> Cromatograma muestra de suelo a 20 cm - Predio El Saladito .....	125
<b>Figura 36.</b> Cromatograma muestra de suelo a 20 cm - Predio El Desgredo.....	126
<b>Figura 35.</b> Cromatograma muestra de suelo superficial- Predio El Desgredo ....	126
<b>Figura 37.</b> Curvas de transporte del Alpha-BHC, Cipermetrina y Heptacloro .....	127
<b>Figura 38.</b> Curva de transporte del Aldrín, Cipermetrina y Clorofenil .....	129

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Permeabilidad Método de Gilg-Gavard.....	95
<b>Ecuación 2.</b> Factor de forma para $L > 6m$ .....	95
<b>Ecuación 3.</b> Factor de forma para $L \leq 6m$ .....	95
<b>Ecuación 4.</b> Infiltración Método de Porchet .....	96
<b>Ecuación 5.</b> Modelo de ajuste de Infiltración - Horton.....	96
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación de Richards .....	104
<b>Ecuación 7.</b> Ecuación de Fickian.....	104

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO I.</b> Resultados de las encuestas aplicadas a los propietarios de los cultivos de fresa de la vereda monte dentro. ....	138
<b>ANEXO II.</b> Fotografías aéreas de la zona de estudio. ....	141
<b>ANEXO III.</b> Datos utilizados en el software Hydrus-1D.....	142
<b>ANEXO IV.</b> Evidencias de los laboratorios realizados y trabajo de campo.....	148

## 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, entre otros, los cuales son 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. El objetivo de la presente investigación fue modelar el transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de fresa, mediante el software Hydrus 1-D. Para ello, se realizaron salidas de campo para identificar las etapas del cultivo, plaguicidas e insecticidas utilizados en las diferentes etapas de los cultivos mencionados. 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. Los plaguicidas e insecticidas estudiados en los suelos de cultivo de fresa, fueron extraídos por HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos), utilizando como solvente diclorometano-hexano. La identificación de los plaguicidas e insecticidas se realizó por cromatografía de gases utilizando un detector de microcaptura de electrones ( $\mu$ ECD). Finalmente se determinó el comportamiento de estos compuestos químicos y su afectación al medio, con el fin de brindar información a los propietarios de los cultivos, para un uso adecuado de estas sustancias.

**Palabras clave:** Agricultura, contaminación del suelo, cromatografía, cultivos, Hydrus, insecticidas, microcaptura de electrones, modelación, plaguicidas.

## ABSTRACT

In the municipality of Pamplona as well as in other municipalities of Colombia Currently there is 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 such as pesticides are used excessively. insecticides, among others, which are used during the different phases of the 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. The objective of this research was to model the transport of pesticides and insecticides in strawberry cultivation soils, using the Hydrus 1-D software. For this, field trips were made to identify the stages of cultivation, pesticides and insecticides used in the different stages of the mentioned crops. 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. The pesticides and insecticides studied in the strawberry cultivation soils, were extracted by PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), using dichloromethane-hexane as a solvent. The identification of pesticides and insecticides was carried out by gas chromatography using an electron micro-capture detector ( $\mu$ ECD). Finally, the behavior of these chemical compounds and their affectation to the environment was determined, in order to provide information to the owners of the crops, for an adequate use of these substances.

**Keywords:** Agriculture, soil contamination, chromatography, crops, Hydrus, insecticides, electron microcapture, modeling, pesticides.

## INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas son uno de los mayores contaminantes de origen antrópico en los ambientes naturales, los cuales se aplican frecuentemente en la actividad agrícola (Konstantinou et al., 2006). En Colombia se usan anualmente más de 17 millones de kg de plaguicidas, cifra que ubica a nuestro país como el tercer consumidor en Latinoamérica después de países como Brasil y México (Domínguez et al., 2009). En el municipio de Pamplona, los cultivos de fresa y arveja, requieren la aplicación de plaguicidas e insecticidas organofosforados, organoclorados, carbamatos y piretroides generalmente, los cuales pueden presentar problemas ambientales a los recursos agua y suelo particularmente, esto debido a que pueden transportarse a través del medio aplicado y llegar a los diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres perjudicándolos o causando alteraciones no deseadas a través del tiempo.

Por otra parte, es importante relacionar la contaminación del suelo por el uso de plaguicidas e insecticidas, con la persistencia que éstos tienen en el medio, ya que existen procesos como la degradación natural de éstos agentes químicos con la cual su persistencia puede disminuir, las más comunes son biodegradación, fotodegradación e hidrólisis química, se llevan a cabo mediante reacciones de oxidación, reducción e hidrólisis, dentro de las cuales también se involucran factores como microorganismos, pH del medio y luz ultravioleta, entre otros. Ésta combinación de reacciones y factores ayudan a que se presente una degradación natural de los contaminantes en el suelo, la cual no es completa debido a su uso excesivo se pueden acumular y tardar mucho tiempo en degradarse.

El presente proyecto pretende identificar los plaguicidas e insecticidas que persisten en el suelo en el cual se lleva a cabo la investigación, además de realizar una modelación en el software Hydrus-1D, que permita visualizar el comportamiento de dichos contaminantes en diferentes profundidades del suelo. Todo esto teniendo en cuenta diferentes parámetros tales como variables meteorológicas, capacidad de infiltración y permeabilidad, concentración de los plaguicidas e insecticidas, densidad y rugosidad del suelo, ya que de acuerdo a estos parámetros o condiciones iniciales puede variar el comportamiento de los contaminantes en los diferentes suelos de cultivos de fresa.



## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Pamplona, Norte de Santander se caracteriza por su actividad agrícola, la cual es la fuente económica principal para los habitantes de la zona en estudio. Pero 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. Además, 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 fresa, y segundo que estos contaminantes generan un riesgo potencial sobre el ecosistema, los alimentos, el suelo y el suministro de agua.

Por consiguiente se decide realizar este estudio a profundidad para determinar si en la ciudad de pamplona se utilizan de manera excesiva plaguicidas e insecticidas, que puedan afectar el crecimiento de los cultivos en óptimas condiciones, siendo que las problemáticas mencionadas anteriormente se originan por la falta de conocimiento de los campesinos que radica en la aplicabilidad de los químicos sobre las plantas y que posiblemente pueden afectar el suelo, 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?

## 2 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., (1992d), 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, el suelo se considera como un recurso de gran importancia para el medio ambiente en el 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, se encuentran: 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 plaguicida e insecticida en el suelo utilizados para la producción de fresa. 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.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Modelar el transporte de plaguicidas e insecticidas mediante el software Hydrus-1D en suelos de cultivo de fresa en la vereda de monte dentro ubicada en el municipio de Pamplona Norte de Santander.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar y aplicar una encuesta para identificar los plaguicidas e insecticidas utilizados en los cultivos de fresa.
- Identificar los puntos de muestreo de suelo en la zona de estudio.
- Realizar una caracterización física y química de los suelos en cada cultivo de la zona de estudio.
- Determinar los plaguicidas e insecticidas que están presentes en el suelo de 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.

## 4 ALCANCES Y LIMITACIONES

### **Alcances:**

1. El desarrollo de la propuesta inicia antes de empezar el semestre académico.
2. La investigación abarca como zona de estudio dos cultivos de fresa, con el fin de observar las diferencias de características del suelo y comportamiento de contaminantes entre cada uno de ellos.

### **Limitaciones:**

1. No se logró hacer la simulación en el software Hydrus 3D, ya que no se contaba con la licencia y la versión Demo no permitió generar los resultados y las gráficas correspondientes.
2. La extracción y determinación de plaguicidas e insecticidas, logró realizarse a los dos cultivos de fresa, sin embargo, solo se tuvieron en cuenta los plaguicidas e insecticidas organoclorados, debido a la poca disponibilidad del laboratorio y a la falta de otros equipos y reactivos necesarios en el proceso para la determinación de los diferentes plaguicidas e insecticidas organofosforados, carbamatos y piretroides.

## 5 MARCO REFERENCIAL

### 5.1 ANTECEDENTES

Desde el inicio de la agricultura, en la época de los primeros asentamientos humanos que iniciaron ésta práctica, se ha observado la proliferación de plagas y enfermedades que reducen y afectan de gran manera la producción y cosecha de éstos alimentos. Por tal motivo en dicha época, se empezó a utilizar sustancias naturales, tales como el azufre, flores de piretro y arseniatos que son consideradas hoy en día como precursores de los productos que conocemos actualmente como plaguicidas, insecticidas, fungicidas, entro otros. Cabe mencionar que, con el comienzo y apogeo de la revolución industrial, empezaron las fumigaciones a base de derivados de petróleo generalmente, dentro de los cuales se encuentran los ácidos carbónico y fénico, el bromuro de metilo y el disulfuro de carbono. Ya más adelante a mediados de la década de 1920 comenzó la era de los productos sintéticos que son usados actualmente (Bedmar. F, 2011).

En la introducción en el uso de los plaguicidas e insecticidas se pueden diferenciar tres fases de su desarrollo histórico. La primera marca el descubrimiento, accidental o experimental, de la acción plaguicida de algunos compuestos naturales como el azufre, los arseniatos, el sulfato de cobre, mencionados anteriormente. Es una época de avances lentos. La segunda fase presenta un desarrollo más rápido, y tiene su punto de partida en 1922, año en el que Holanda se introduce en el uso de los aceites insecticidas y Estados unidos en el uso de compuestos derivados de nitrógeno. La tercera fase se inicia con el descubrimiento de las propiedades insecticidas del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT), realizado por Muller en 1940; en ella suceden con rapidez los descubrimientos de nuevos plaguicidas, y se desarrollan las bases científicas de investigaciones posteriores (Primo, Y. & Carrasco, J., 1986).

Por otro lado, investigaciones recientes de dos científicos canadienses, A. Smith y D. M. Secoy (1975), del Centro de Investigación Agrícola de Canadá, han demostrado que el origen de algunos de los actuales métodos de lucha contra las plagas se remonta hasta hace dos mil años (R. Gogerty, 1978). 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. Tanto los pueblos de la Grecia Antigua como los del Imperio Romano tuvieron la agricultura como una ocupación básica y de gran importancia, obteniendo sus plaguicidas de diversas fuentes

vegetales y animales, así como de algunos minerales, observándose que muchos de los métodos descritos por los autores clásicos para combatir las enfermedades de hongos, malas hierbas e insectos tienen gran parecido con los métodos modernos. 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.

Hay que mencionar, además, que se han seguido realizando investigaciones en las que no sólo abarcan el uso de plaguicidas e insecticidas sino que han sido aplicadas la simulación y la modelación de éstos contaminantes y su comportamiento en el medio ambiente, algunas de éstas investigaciones han sido enfocadas al análisis de diversos cultivos en los cuales se han vertido plaguicidas, herbicidas, pesticidas, entre otros, con el fin de obtener una mejor producción, evitando la proliferación de plagas y enfermedades, pero de esta manera contaminando el suelo y cambiando sus características físicas y químicas por el uso excesivo de estos agentes químicos. A continuación, se presentan algunos ejemplos de estudios realizados:

- **Adsorción de herbicidas en suelos, aplicación al estudio del comportamiento de Imazamethabenz – Methyl en suelos de cultivo.** (Evangelista, Ignacio Morell, 1998).

En este trabajo se 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. Se evalúan la importancia de las diferentes variables experimentales con influencia en el resultado, en particular temperatura, pH y proporción suelo/disolución. Los estudios cinéticos se realizan siguiendo la técnica de equilibrado batch con tiempos desde 0.25 a 48 horas. Para los equilibrios de adsorción se emplea esta misma técnica una vez definido el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio a partir de los experimentos cinéticos. Finalmente, los experimentos de desorción se realizan por medio de diluciones sucesivas a partir de suelos con diferentes cantidades de herbicida adsorbido. Se ha obtenido para el herbicida IMZ una isoterma de adsorción con un alto grado de linealidad, pero con un significativo efecto de histéresis en la desorción. Por otro lado, los valores de los diferentes coeficientes del equilibrio han resultado muy sensibles a las condiciones experimentales.

- **Estudio de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas en áreas específicas de Colombia** (Guerreo J., 2003)

El presente estudio tiene por objeto evaluar la presencia de residuos de plaguicidas de alto riesgo en los cultivos de fresa, repollo, uchuva y tomate, representativos de diferentes regiones de Colombia, y determinar la calidad de estos alimentos, requisito importante para satisfacer convenios internacionales relacionados con la inocuidad de alimentos y su comercialización. El estudio de campo se efectuó en varios municipios de Cundinamarca y Huila, Colombia. En la mayoría de las muestras (95,4%) no se encontraron residuos que sobrepasaran los límites máximos de residuos, LMRs. Se encontraron dos muestras positivas con residuos de plaguicidas de clorpirifos en tomate (4,7%). Para la evaluación de las muestras se diseñaron y validaron metodologías multiresiduo por cromatografía de gases con detectores de  $\mu$ -ECD y NPD para compuestos organoclorados, organofosforados y piretroides. Estas metodologías permitieron determinar concentraciones de estos compuestos cercanas a los límites máximos de residuos permisibles para cada una de la matrices.

- **Determinación de plaguicidas organofosforados en vegetales producidos en Colombia.** (A.M. Murcia., E. Stashenko., 2008)

En este trabajo se presenta la determinación de 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.

- **Extracción de residuos de plaguicidas en suelos asistida por ultrasonido** (Mojica A., Guerrero J., 2010)

Se desarrolló un método multiresiduo para la determinación de diferentes tipos de plaguicidas en suelos. El proceso de extracción consistió en una doble extracción con acetato de etilo y metanol asistido con ultrasonido. Los plaguicidas fueron determinados por cromatografía de gases con detección por microcaptura de electrones ( $\mu$ -ECD) y nitrógeno fósforo (NPD). Se evaluaron los porcentajes de recuperación de la metodología, en un rango de concentraciones entre 0,09 mg/kg y 14,60 mg/kg, y se determinó que la mayoría se encuentran entre 79% y 105%, a excepción de metamidofos, monocrotofos y oxadixyl, cuyos porcentajes de recuperación se encontraron entre 43% y 64%. Por otra parte, los límites de detección del método se encontraron en un rango de 0,02 mg/kg y 1,59 mg/kg, y los límites de cuantificación entre 0,07 mg/kg y 5,25 mg/kg. En el estudio de linealidad y precisión se encontraron resultados adecuados en el rango de concentración evaluado. Finalmente, se empleó esta metodología para evaluar los porcentajes de recuperación en 5 suelos de diferentes características fisicoquímicas.

- **Modelación matemática de contaminantes (metales pesados y pesticidas) en columnas de suelo, caso de estudio: Cochabamba – Bolivia.** (Cancaviri C.E., Guaygua J.L., 2015)

El objetivo del presente trabajo es de modelar el proceso de transporte de metales pesados y pesticidas a través del perfil del suelo (columnas) y obtener los parámetros de transporte, los cuales permiten simular el proceso de migración y mejorar las estrategias de mitigación para prevenir la contaminación ambiental.

Se tomaron cuatro muestras en distintos sectores de Cochabamba, dos con el fin de modelar migración de metales pesados en K'ara K'ara (botadero municipal de Cochabamba) y en el Rio Rocha; y dos con el fin de monitorear la adsorción e infiltración de pesticidas (Atrazina) en Parotani (Quillacollo) y Capilla (Cercado).

Luego de una caracterización físico-química se montaron las columnas experimentales y se realizaron las pruebas de rotura con una solución de



trazador conservativo NaCl. De aquí 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 calibró 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.

- **Modelación matemática del transporte de oxadixyl en suelos de cultivo de cebolla.** (M.J Martínez Cordón et al., 2015)

Los plaguicidas 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. En este trabajo se estudió el movimiento de oxadixyl 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). Se inyectó un pulso de solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, que contenía un trazador (bromuro) y oxadixyl en la superficie del suelo de la columna, a continuación, se aplicó lluvia simulada a una intensidad de 0,034 cm h<sup>-1</sup>. 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 modelo de no equilibrio químico describió bien las curvas de elución experimentales. En particular, la cola de elución fue bien ajustada. El factor de retardo calculado para el fungicida fue de 3,94 y el coeficiente de partición,  $K_d$ , fue cercano a 1Kg L<sup>-1</sup>, lo que indica una baja adsorción en este suelo. Bajo nuestras condiciones experimentales, oxadixyl es móvil en este suelo y presenta un riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas.

- **Modelación matemática de la Contaminación de suelos y aguas Subterráneas por pesticidas Orgánicos: Aplicación al acuífero de la plana de Valencia.** (V. Germann., 2015)

Esta tesis es 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. Este documento también analiza los procesos complejos que determinan el comportamiento de los plaguicidas en la naturaleza como advección, dispersión, biodegradación, transferencia de masa y reacciones de transformaciones. Además, están descritas las ecuaciones en que se basan las simulaciones, ofreciéndose una visión general de los datos del output incluyendo una estimación de la sensibilidad del modelo a las variaciones en los datos de input. Para la aplicación se usan datos de la plana de Valencia. También se incluye un resumen de los modelos disponibles para la gestión de los plaguicidas. Además, se da una breve visión general de los diferentes tipos de pesticidas, diferenciada por su estructura molecular entre organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas, insecticidas vegetales y fumigantes. Existe una gran variedad de productos químicos disponibles que pueden estar usado como pesticidas, y aún este número aumenta cada año. Para una aplicación responsable es necesario el registro y pruebas profundas de estos productos. Para probar la funcionalidad de PESTAN como programa de modelación por último se analiza la aplicación de los datos de ejemplo en base a las circunstancias reales en la plana de Valencia. Los diferentes tipos de output son explicados y mostrados. Además, se aplican y se analizan las variaciones debido a los cambios ligeros aparentes en el tipo de suelo (arena arcillosa a franco arenoso) en los resultados. También se estudian la sensibilidad y variaciones en los datos de salida debido al aumento y la disminución de cantidad de pesticida descargada.

- **Identificación de carbamatos en el cultivo de durazno: suelo y fruto producido en Pamplona, Colombia** (A. Quijano., M. Portilla., M.J., Quijano., 2016)

El objetivo del presente estudio fue identificar en los suelos del cultivo de durazno y en el fruto un pesticida tóxico 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 ( $\mu$ ECD). 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.

## 5.2 MARCO CONTEXTUAL

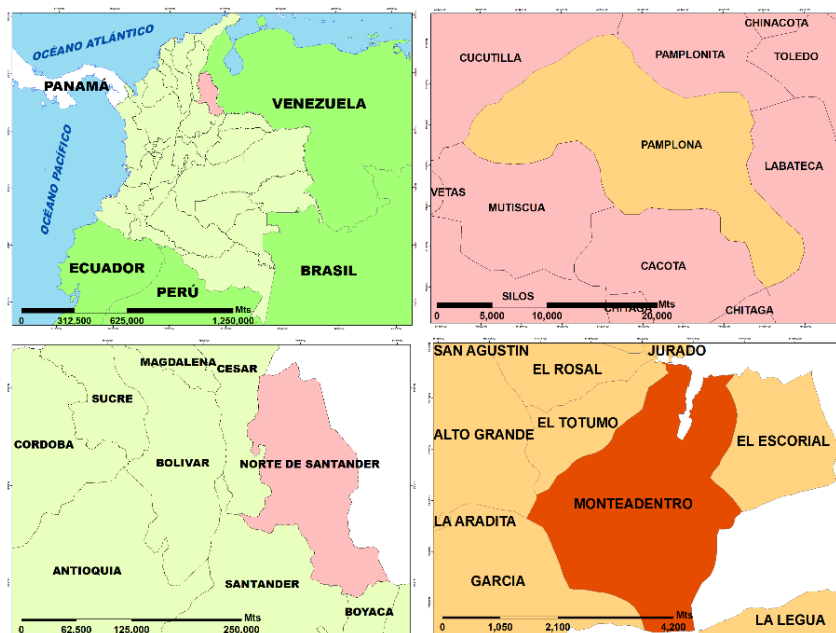
### 5.2.1 Descripción de la zona de estudio

#### 5.2.1.1 Localización

Este proyecto se desarrolló en la vereda de monte dentro ubicada en el municipio de Pamplona. El área de la zona de estudio se distribuye en dos parcelas de cultivos de fresa, pertenecientes a dos predios diferentes, ubicados alrededor de la micro cuenca monte dentro perteneciente a la cuenca del río Pamplonita, en los cuales se tomaron los puntos de muestreo georreferenciados con GPS, necesarios para el análisis de muestras del suelo y desarrollo de la investigación.

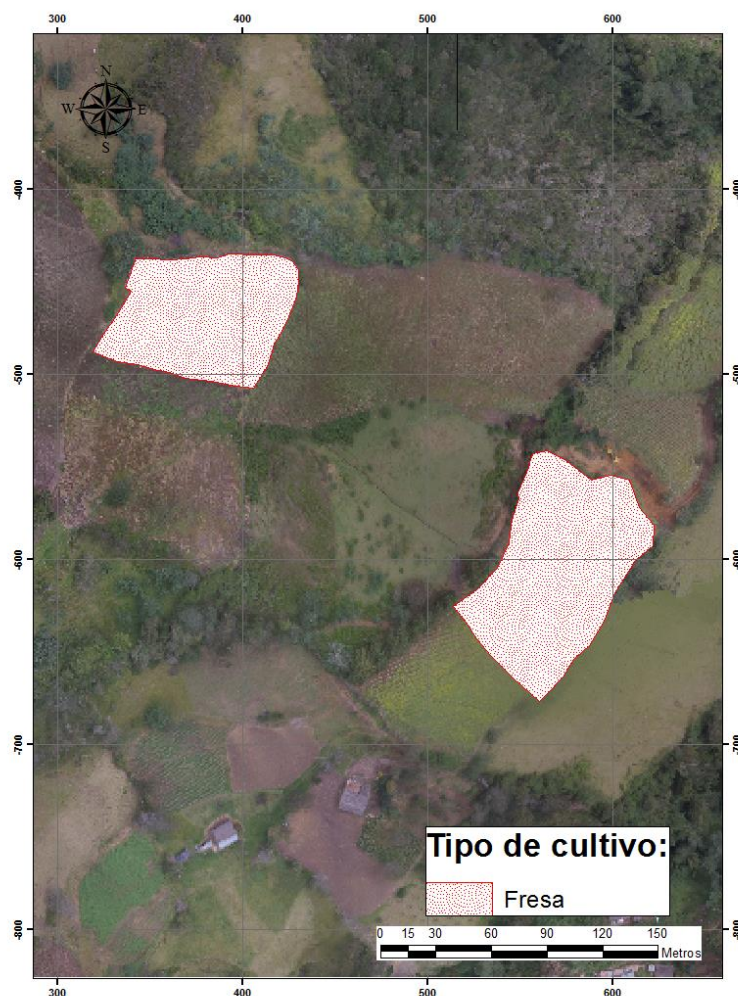
El área de estudio establecida se escogió en base a la ubicación de los cultivos de fresa, ya que ésta zona cuenta con agricultores dedicados a la producción de dicho cultivo, por ser su medio de sustento, debido a esto, el suelo de la vereda monte dentro ha sido cultivado por muchas generaciones manteniendo una rotación de cultivos aproximadamente cada dos años, con el fin de cambiar la dinámica de la siembra. A continuación, se puede observar el mapa de localización general de la zona de estudio (figura 1) y el plano de localización de los cultivos de fresa (figura 2).

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio



FUENTE. ESKI modificado por Bacheioti, 2017

**Figura 2.** Plano de localización de cultivos de fresa vereda monte dentro



Fuente. ESRI modificado por Bacheloth, 2017

## 5.2.2 Características biofísicas

### ❖ Características geológicas

Desde el punto de vista geológico estructural, el municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el flanco norte del Macizo de Santander sobre la Cordillera Oriental y dentro del sistema de fallas Bucaramanga Santa Marta a escala regional. El Macizo de Santander está compuesto por rocas

ígneas y Metamórficas de edad Precámbrica, principalmente por rocas Metasedimentarias y Metaigneas, intruidas por cuerpos Plutónicos que varían en composición de granito a diorita con predominio de Cuarzomonzonita, estas rocas incluyen: neises, migmatitas, esquistos, metaareniscas, filitas y mármoles, las cuales han sido agrupadas en la Unidad Neis de Bucaramanga y la formación Silgará; también se presentan rocas ígneas de alto a medio grado de metamorfismo denominadas Ortoneis, cuya composición varia de granito a tonalita (PBOT. Pamplona, 2001).

Estas antiguas rocas que conforman el Macizo de Santander hacen parte del basamento sobre el cual se desarrolló la sedimentación Paleozoica Superior (formación Diamante) y la sedimentación Mesozoica (Julivert et al 1960) constituyéndose en una zona de separación en el ámbito de nomenclatura estratigráfico entre la cuenca del Valle medio del Magdalena y la cuenca del Lago de Maracaibo (Ward et al 1973).

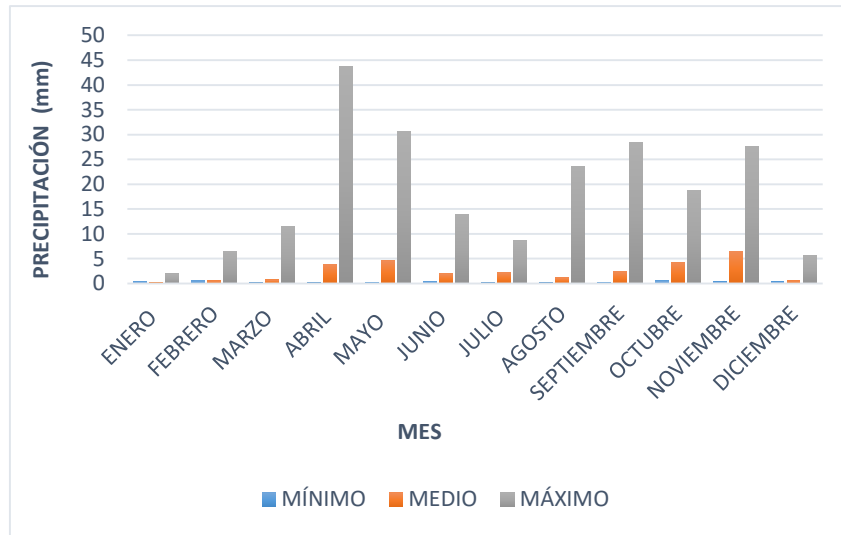
#### ❖ **Características geomorfológicas**

Las formas del relieve en el municipio de Pamplona tienen su origen en el levantamiento de la cordillera oriental durante el Neógeno y movimientos diferenciados del Macizo Ígneo Metamórfico de Santander, que dio como resultado plegamientos, fallas y procesos denudacionales que dieron origen a una gran cantidad de sedimentos que fueron depositados discordantemente sobre las litologías presentes (PBOT. Pamplona, 2001).

#### ❖ **Climatología**

De acuerdo con los valores máximos de precipitación, presentados en el último año, el régimen pluviométrico del municipio de Pamplona es de carácter Bimodal, es decir se presentan dos periodos, el de mayor pluviosidad, el cual se presenta en los meses, abril, mayo, agosto, septiembre, octubre y noviembre, y el período de menor pluviosidad en el cual tenemos los meses de enero, febrero, julio y diciembre. En la figura 3 se representan los valores mínimos, medios y máximos de precipitación en Pamplona para el año 2016.

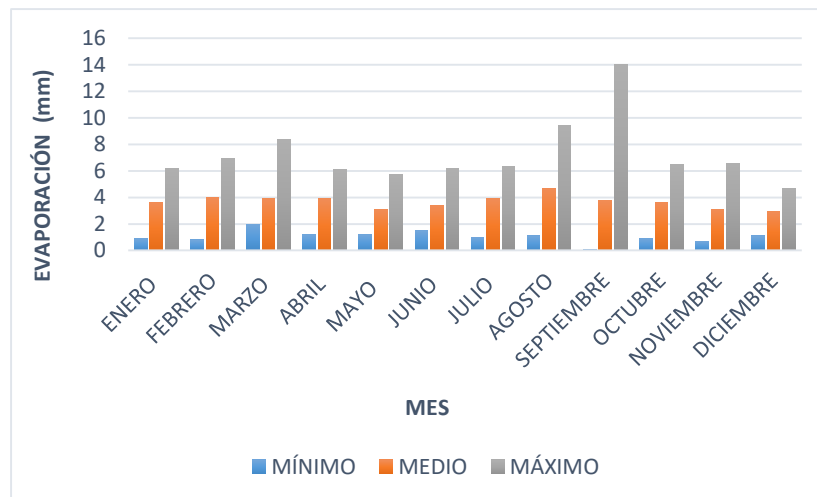
**Figura 3.** Valores mínimos, medios y máximos de precipitación en Pamplona, año 2016



Fuente. IDEAM modificado por Bacheloth, 2017

De igual manera, con los valores mínimos, medios y máximos de evaporación presentados en la figura 4, se logra observar que no se presentan variaciones significativas en los datos registrados, por lo cual se podría decir, que se presentan unos valores máximos de precipitación poco variables, excepto en los meses de agosto y septiembre en los cuales, se registran valores más representativos de evaporación para el año 2016.

**Figura 4.** Valores mínimos, medios y máximos de evaporación en Pamplona, año 2016



Fuente. IDEAM modificado por Bacheloth, 2017

### 5.3 MARCO TEÓRICO

La contaminación del suelo es una degradación de la calidad del suelo asociada a la presencia de sustancias químicas. Se define como el aumento en la concentración de agentes químicos, de origen antropogénico, que provoca cambios perjudiciales y reduce su empleo potencial, tanto por parte de la actividad humana, como por la naturaleza (Porta y Cols., Jaume., 2003).

De igual manera, la contaminación del suelo por el uso de estos agentes químicos puede generar un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o puede ser susceptible de transmitirse a otros sistemas e incluyendo al ser humano por consumo de productos (Martínez et al., 2009). Debido a esto se generan consecuencias como la pérdida de la fertilidad del suelo, posible alteración de su composición fisicoquímica, entre otros. Cabe resaltar que el uso intensivo del suelo puede generar cambios en su estructura geológica, por tal motivo el estudio de esta problemática es muy importante para aportar información que oriente el buen uso y manejo de agroquímicos.

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.

Como resultado, 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).

Por otro lado, 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 (Carmona, J; Henao, S. y Garcés, R. 2000).

En consecuencia, a lo mencionado anteriormente, se pueden presentar efectos desfavorables de los contaminantes en el suelo como sistema, los cuales según Genou *et al.*, (1992); Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C., (1994), son:

- Destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales, al haberse superado la capacidad de aceptación del suelo. Se ve afectado el ciclo biogeoquímico y la función de biofiltro.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su diversidad, lo que hace aumentar la fragilidad del sistema.
- Contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia. Se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
- Disminución del rendimiento de los cultivos con posibles cambios en la composición de los productos, con riesgo para la salud de los consumidores, al entrar determinados elementos en la cadena trófica.

### **5.3.1 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 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. De igual manera los factores meteorológicos tales como el clima, precipitación, escorrentía, entre otros, también influyen y son de gran importancia en el transporte de agentes químicos en el suelo. Por tal motivo es 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.

Dentro del análisis inicial que se tiene que realizar a la zona de estudio, encontramos factores geológicos, hidrológicos, climáticos, físicos y químicos, los cuales dan a conocer las condiciones del medio y su entorno, de ésta manera se



logra relacionar éstas condiciones con el comportamiento, persistencia y posible degradación, de los plaguicidas e insecticidas. A continuación, se detalla en qué consiste cada uno de éstos factores.

## ❖ Factores geológicos

### • Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna (FAO, 2001). 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.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material y su estructura.
- La viscosidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.

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. (Lambe, T. W. & Whitman, R. V. 1997).

### • Porosidad

Según L. Rucks, F. García., A. Kaplán y J. Ponce de León., como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o de poros.

Los poros en el suelo se distinguen en: 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.

Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua.

- **Infiltración**

De acuerdo con Mijares F. J., 1999, la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra 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.

- **Tipo de suelo**

De acuerdo con Buol, S. W.; Hole, F. D. y McCracken, R. J. (1973)., existen dos clasificaciones para los tipos de suelo, una según su estructura y otra de acuerdo a sus formas físicas:

- **Por su estructura**

- **Suelos arenosos:** No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura.
- **Suelos calizos:** Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- **Suelos humíferos (tierra negra):** Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- **Suelos arcillosos:** Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con el humus que es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza pueden ser buenos para cultivar.
- **Suelos pedregosos:** Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- **Suelos mixtos:** Tiene características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos mezclados.

➤ **Por sus características físicas**

- **Litsoles:** Se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja, se conoce también como leptosoles que viene del griego leptos que significa delgado.
- **Cambisoles:** Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- **Luvisoles:** Presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- **Acrisoles:** Presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- **Gleysoles:** Presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- **Fluvisoles:** Son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.
- **Rendzina:** Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- **Vertisoles:** Son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales.

De acuerdo con las características descritas, se puede decir 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 un recurso altamente vulnerable, pues 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 S. y Correa F., 2009.)

### **5.3.2 Propiedades físicas y químicas del suelo**

Realizar una caracterización física y química en el suelo es de gran importancia para determinar su composición y establecer si el estado en que se encuentra es óptimo, ya que esto se relaciona directamente con el uso y las actividades que se

presentan en el suelo, tales como la agricultura en la cual es comúnmente utilizado agroquímicos como plaguicidas e insecticidas que al interactuar con este medio pueden alterar las condiciones normales que lo caracterizan.

### ❖ **Propiedades físicas del suelo**

De acuerdo con Castro. J., 2012, las características físicas del suelo, están determinadas de la siguiente manera:

#### • **Color**

Esta propiedad permite deducir rasgos importantes en el suelo: un color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidrometría permanente. El color se caracteriza por tres parámetros que son: Matiz o Hue, que expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Se consideran cinco colores principales (R, rojo; Y, amarillo; G, verde, B, azul y P, púrpura) y cinco intermedios. Brillo o Value que expresa la porción de luz reflejada y mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto. Intensidad o Cromo que expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. Un horizonte puede presentar un color uniforme o presentar manchas de distinto color (Tejeira. R., 2012).

#### • **Estructura**

La estructura del suelo hace referencia al agrupamiento de las partículas primarias de arena, limo y arcilla en partículas compuestas, llamadas agregados o pedos, cuyas propiedades difieren de las que presenta una masa igual de partículas primarias no agregadas (Torrent, 1978).

Según Lozano, Luis A. (3 de septiembre de 2014). Entre los factores que influyen o determinan la morfología de la estructura están: a) la cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica); b) la textura; c) la actividad biológica del suelo (lombrices) y d) la influencia humana (en el horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo).

#### • **Densidad aparente**

De acuerdo con (Keller & Håkansson, 2010). El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus

partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros).

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo (Taboada & Álvarez, 2008).

- **Textura**

El predominio de partículas de un tamaño dado en la parte mineral del suelo, determina considerablemente las características físicas del suelo, la relación entre el contenido y proporción de partículas de diferentes tamaños es conocido como textura del suelo.

Para determinar la textura del suelo se realiza el análisis de la composición mecánica en el laboratorio, y en dependencia de los porcentajes de los grupos texturales se clasifica la textura del suelo (Hernández A., Ascanio M. et al., 2008).

En función de cómo se encuentren mezclados los materiales de granulometrías diferentes, además de su grado de compactación, el suelo presentará características diferentes como su permeabilidad o su capacidad de retención de agua y su capacidad de usar desechos como abono para el crecimiento de las plantas (Bernard J. Nebel, Richard T., 1999).

- ❖ **Propiedades químicas del suelo**

Las propiedades químicas del suelo, hacen referencia a su composición orgánica e inorgánica, así como al contenido de sustancias importantes como macro nutrientes (N, P, Ca, Mg, K, S) y micro nutrientes (Fe, Mn, Co, B, MO, Cl). Mediante la determinación de éstas propiedades se puede conocer cualidades del suelo, tales como, materia orgánica, fertilidad, acidez y alcalinidad, entre otros, de ésta manera se logra establecer si el suelo es apto para actividades agrícolas y si está teniendo cambios en su composición debido al uso de sustancias químicas. A continuación, se especifican algunas propiedades químicas del suelo (PLASTER, E.J. 2000).

- **Capacidad de intercambio de cationes, CIC**

De acuerdo con Ansorena Miner, Javier (1994). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la propiedad de un sólido para adsorber cationes de la fase líquida, intercambiándolos por una cantidad equivalente de otros cationes. En el sistema sólido-líquido se establece un equilibrio dinámico entre los cationes de la solución y los absorbidos en los puntos activos de la superficie. En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes, los principales son las arcillas y la materia orgánica (los dos materiales presentan propiedades coloidales). Una suspensión o dispersión coloidal es un sistema físico que está compuesto de un material en forma líquida o gaseosa, en el cual hay inmersas partículas, por lo general sólidas, de pequeño tamaño, en principio, del orden de las micras.

Según Castro. J., 2012 Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son:

- Sustituciones atómicas dentro de la red.
- Existencia de bordes (superficies descompensadas).
- Disociación de los OH de las capas basales
- Enlaces de Van der Waals, que es un tipo de forma electrostática y se establece entre dos grupos no cargados. Son muy débiles individualmente, pero son importantes cuando su número es elevado.

En las arcillas, además de en su superficie, los iones pueden entrar entre las láminas.

Las causas de la capacidad de cambio de materia orgánica son:

- Disociación de los OH.
- Disociación de los COOH.

En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios.

- **Tamaño de las partículas.** Cuánto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio.
- **Naturaleza de las partículas.** La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes. Así la

capacidad de intercambio catiónico (CIC) de algunos de los materiales más comunes en los suelos los representamos en la tabla 1.

**Tabla 1.** Naturaleza de la partícula y CIC.

<b>Naturaleza de la partícula</b>	<b>CIC, meq/100 g</b>
Cuarzo y feldespatos	1-2
Óxidos e hidróx. Fe y Al	4
Caolinita	3-15
Ilita y clorita	10-40
Montmorillonita	80-150
Vermiculita	100-160
Materia orgánica	300-500

**Fuente.** Castro, J., 2012

- **pH**

Es una medida de acidez, que se determina por la cantidad de protones presentes en la solución del suelo (López, R. Chang, A. Goldsby, 2017). Es importante conocer el pH en el suelo porque de él dependen las reacciones químicas que tienen lugar en el suelo y de las cuales depende la calidad de los diferentes tipos de suelos y esto es de gran importancia para las plantas para las cuales trae grandes beneficios:

El pH ejerce una gran influencia en la asimilación de elementos nutritivos.

- El intervalo de pH comprendido entre 6 y 7 es el más adecuado para la asimilación de nutrientes por parte de las plantas.
- Los microorganismos del suelo proliferan con valores de pH medios y altos. Su actividad se reduce con pH inferior a 5,5.
- Cada especie vegetal tiene un intervalo de pH idóneo.

- **Acidez**

De acuerdo con Porta Casanellas, J., et al. 2003., la acidez del suelo mide la concentración en hidrogeniones ( $H^+$ ). En los suelos los hidrogeniones están en la solución, pero también existen en el complejo de cambio. Así hay dos tipos de acidez: una la activa o real (debida a los  $H^+$  en solución) y otra de cambio o de reserva (para los  $H^+$  adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan  $H^+$  de la solución se liberan otros tantos  $H^+$  adsorbidos. Como consecuencia el suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier modificación de su pH.

Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos, fundamentalmente: naturaleza del material original, factor biótico, precipitaciones, complejo adsorbente (saturado en cationes ácidos o básicos)

Influye en las propiedades físicas y químicas.

- **Propiedades físicas.** Los pH neutros son los mejores para las propiedades físicas de los suelos. A pH muy ácidos hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. En pH alcalino, la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.
- **Propiedades químicas y fertilidad.** La asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por el pH, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH y no son asimilables para las plantas.

- **Materia orgánica**

Según Brady, N., 1984., la materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte. En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos. En los segundos persiste todavía la composición química e incluso la estructura física de los tejidos animales o vegetales originales. Los organismos del suelo descomponen este tipo de sustancias orgánicas dejando solamente residuos difícilmente atacables, como algunos aceites, grasas, ceras y ligninas procedentes de las plantas superiores de origen. El resto son transformados por parte de los microorganismos, reteniendo una parte como componentes propios



(polisacáridos, por ejemplo). El producto de tal transformación es una mezcla compleja de sustancias coloidales y amorfas de color negro o marrón oscuro denominado genéricamente humus. El humus constituye aproximadamente entre el 65 y el 75 % de la materia orgánica de los suelos minerales. Los suelos minerales son los de un contenido de materia orgánica menor del 20 %, ocupando el 95 % de la superficie terrestre mundial. Los suelos con un mayor contenido en materia orgánica se denominan suelos orgánicos. El contenido medio aproximado de materia orgánica en los suelos de labor oscila entre el 1 y el 6 %.

### **5.3.3 Generalidades del cultivo de la fresa**

La fresa es un fruto herbáceo, se le puede encontrar en zonas frías de manera silvestre, sin embargo, con el pasar de los años se ha tecnificado su producción debido a la rentabilidad que puede llegar a tener un cultivo productivo. Los departamentos de Caquetá, Nariño, Santander, Quindío, Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca son los mayores productores con un estimado anual de 43 mil toneladas de cosecha. La fresa es una de las frutas que tiene mayor demanda en el extranjero, los países que más realizan pedidos a los productores nacionales son entre otros, Las Antillas Holandesas, Panamá, Aruba, y España (Gómez Martín. A., 2016).

La inversión en este cultivo ha sido grande en los últimos años debido a su rentabilidad y los buenos ingresos que representa para los productores, el Ministerio de Agricultura ha hecho la mayor cantidad de inversiones, sobre todo en la asistencia técnica, como en el suministro de herramientas, algunos tipos de fertilizantes y plásticos para mejorar las condiciones de estos cultivos que son especialmente delicados con las bajas temperaturas (Gómez Martín. A., 2016).

**Figura 5.** Planta de fresa



**Fuente.** Botánica-online, 'Revista informativa sobre plantas y alimentos', 2017.

En Colombia el cultivo de la fresa se realiza principalmente a campo abierto, lo que presenta algunas limitaciones relacionadas con el ataque de plagas y enfermedades como *Botrytis cinerea* y *Sphaerotheca macularis*, las cuales pueden generar pérdidas importantes en la producción, sumadas a las causadas por otros factores relacionados con la exposición a condiciones climáticas adversas (Rubio S., *et al.*, 2014).

En el año 2011, según datos del Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas, Colombia reportó una producción en fresa de 44.895 toneladas, en 1.114 hectáreas destinadas a este frutal. Cundinamarca, contribuyó con el 53% de hectáreas cosechadas, seguido de Antioquia con un 25% y Norte de Santander con un 11%, (Tabla 2).

**Tabla 2.** Área cosechada, producción y rendimiento de fresa en Colombia. 2011

Departamento	Área cosechada (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (kg/Ha)
Antioquia	275	10731	39022
Boyacá	55	734	13345
Caquetá	6	60	10000
Cúcuta	59	1636	27729
Cundinamarca	595	28545	47975
Norte de Santander	119	3144	26420
Santander	5	45	9000
Total	1133	45000	39718

**Fuente.** Anuario estadístico de frutas y hortalizas (2007-2011).

## ❖ CLIMA Y SUELOS

La planta de fresa es termo y fotoperiódica, o sea que su crecimiento depende de las condiciones de luz y temperatura. Las altas temperaturas y los días largos (más de doce horas de luz) provocan crecimiento vegetativo excesivo; las bajas temperaturas y días cortos inducen floración. Por eso en Costa Rica, aun cuando se le puede ver creciendo desde 600 m o menos, la zona apta para producción de fruta se ubica entre los 1.300 y 2.000 m. En condiciones, donde todos los días tiene menos de 12 horas de luz, el factor determinante para producir fruta, es la temperatura óptima que en promedio de 14 °C, pero se adapta bien entre los 10 y 20 °C (Gutiérrez A., 2012).

Como la planta de fresa tiene un sistema radical que en un 80% o más se ubica en los primeros 15 cm del suelo, los suelos para el cultivo de fresa no tienen que ser

muy profundos; deben ser livianos, preferiblemente arenosos y con muy buen drenaje. Los suelos volcánicos con buen contenido de materia orgánica, típicos de las partes altas del Valle Central, se comportan en buena forma para este cultivo. El pH debe estar entre 5,5 a 6,5 y el suelo debe tener buena fertilidad (Gutiérrez A. 2012).

### ❖ ZONAS DE CULTIVO Y EPOCAS DE SIEMBRA

La fresa se puede sembrar en cualquier mes del año. Sin embargo, las pruebas realizadas indican que lo más conveniente, para todas las zonas de producción, es sembrar en los primeros meses de la época lluviosa: mayo, junio y julio. De esta forma, la planta alcanza un buen desarrollo y empieza a producir en los primeros meses de la época seca: noviembre y diciembre, con lo que se logran dos objetivos importantes: tener una planta bien desarrollada para el inicio de la producción y obtener la mayoría de la cosecha en época seca y con la mejor calidad, cuando el mercado internacional presenta los mejores precios para fruta fresca. Si se siembra durante la estación seca, la producción se obtiene en la época lluviosa, por lo que se presentan mayores problemas fitosanitarios en la planta y en la fruta, además disminuye la producción y la fruta se ensucia (Gutiérrez A. 2012).

### ❖ MANEJO DE LA PLANTACION

#### **Coberturas de suelo**

Consiste en cubrir las eras con algún material que impida que la fruta tenga contacto directo con el suelo. La cobertura a su vez, cumple otras funciones importantes como:

- evita el crecimiento de malezas.
- aumenta la temperatura del suelo.
- tiene una vida útil de más de un año en el campo.

Presenta el inconveniente de que a veces produce calentamiento excesivo, quemando frutas y hojas. El polietileno se coloca sobre la era, una vez que ésta se ha preparado totalmente, inclusive con la aplicación de fertilizantes e insecticidas de suelo. Se tensa bien y se prensa a ambos lados de la era con la misma tierra o con grapas de alambre galvanizado. Una vez colocado, se marca la distancia de siembra y se abren huecos de unos 10 cm de diámetro en cada punto, donde van las plantas. Los otros tipos de coberturas, aunque tiene la ventaja de que son mucho más baratas, provocan pérdida de agua, pueden introducir nuevas malezas al terreno y son muy difíciles de conseguir por los grandes volúmenes que se utilizan (Gutiérrez A. 2012).

## **Riego**

El riego es un actor fundamental en la producción de fresas. En las principales zonas de producción, se dan dos épocas muy bien marcadas: la seca, de diciembre a abril, y la lluviosa de mayo a noviembre. La principal cosecha se inicia en noviembre o diciembre y la planta se mantiene en producción durante toda la época seca; por eso para aprovecharla es determinante contar con un adecuado sistema de riego. Debido al uso de coberturas de suelo, sólo se utilizan los sistemas de riego por aspersión o por goteo. Cuando es por aspersión, se prefieren aspersores pequeños y de gota fina para no afectar la floración. El sistema de riego por goteo que ha dado mejores resultados es el de manguera tipo "by wall" con doble pared y con salidas de agua cada 25 cm. Con este sistema basta una sola manguera por cada era de 70 cm de ancho (Gutiérrez A. 2012).

## **Fertilización**

En general, se considera que la planta de fresa no es muy exigente a la fertilización. Existen resultados indicadores de que no hay respuesta a la aplicación de fertilizantes al suelo. En la Universidad de Costa Rica se han realizado diversos estudios de fertilización, tanto en La Garita como en Fraijanes de Alajuela, con resultados que no permiten concluir claramente, sobre la respuesta de la planta a la aplicación de fertilizantes en el suelo. Sin embargo, dado que el cultivo de la fresa es muy intensivo y además es una planta de alta producción, es importante mantener un programa de fertilización para reponer la extracción de nutrimentos y mantener la fertilidad del suelo. La experiencia de los productores en el país, demuestra que el cultivo puede responder en forma diferente de acuerdo con las circunstancias. En suelos nuevos, que han estado con pastos, no es necesario fertilizar el primer año. Aplicaciones de fósforo, potasio y elementos menores, no han dado resultados. La adición de nitrógeno en estas condiciones, provoca un gran desarrollo vegetativo que retrasa la cosecha. En suelos con varios ciclos de siembra y sobre todo con pendientes pronunciadas, hay respuesta a la aplicación de nitrógeno en cantidades moderadas (Gutiérrez A. 2012).

El manejo equilibrado de la nutrición vegetal es fundamental para lograr la máxima productividad. Dosis altas de fertilizantes pueden generar problemas de contaminación del suelo y del agua, así como desordenes fisiológicos en las plantas. Dosis bajas llevan a bajas producciones. Para ser más asertivos al momento de definir el plan de fertilización para este frutal, es necesario tener el análisis de suelo, el análisis foliar y conocer los requerimientos de elementos nutritivos de la fresa (Rubio S., et al., 2014). En la tabla 3 se presenta el manejo de la fertilización para el cultivo de fresa según su etapa.

**Tabla 3.** Manejo de la fertilización según etapas fenológicas del cultivo de la fresa.

ETAPA FENOLÓGICA	FERTIRRIGACIÓN
Vegetativa. Primer mes Estadio 10 a 13	Suministro de riego, 250 cc/planta/día aproximadamente. Plantas con bajo desarrollo: aplicaciones foliares de fertilizantes completos
Vegetativa. Tres hojas desplegadas Estadio 13	Inicia plan de fertirrigación, dosis bajas de N-P-K tipo 15-30-15
Reproductiva. Inicio de la floración Estadio 61	Dosis medias de 18-6-18 de N-P-K
Productiva. Cuajado de frutos y fructificación Estadio 71 a 87	Aumenta significativamente el aporte de potasio, calcio y demás elementos minerales. Uso de fertilizantes con formulación 13-10-40

**Fuente.** Mora Amanda. Memorias. Curso actualización en el cultivo de fresa SADRA, Rionegro, Antioquia. Octubre de 2013.

### ❖ MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO

La producción de fresa se desarrolla en condiciones agroambientales y climáticas diversas, debido a la gran cantidad de especies y variedades existentes. En Colombia se encuentran cultivos comerciales de fresa, bajo las siguientes condiciones climáticas y edáficas (Tablas 4 y 5).

**Tabla 4.** Condiciones climáticas para el cultivo de fresa.

<b>Altitud</b>	1.300 a 3.000 m.s.n.m.
<b>Temperatura</b>	Ideal: diurna entre 18 y 25°C y nocturna entre 8 y 13°C Menos de 15°C: maduración lenta, T° alta: coloración precoz. Más de 32°C: abortos florales. 12°C en el suelo: estimulación de raíces 0°C: daños severos a polinización, frutos deformes, necrosamiento de flores -8°C: daños muy graves a tejidos - 10 a -12°C: muerte de la planta
<b>Luminosidad</b>	3.000 horas de sol/año
<b>Humedad relativa</b>	60 a 75%
<b>Precipitaciones</b>	Mínimas ( 1.000 a 2.000 mm/año)

<b>Granizo</b>	Daños mecánicos severos, facilita la entrada de patógenos
----------------	---

**Fuente.** Mora Amanda. Memorias. Curso actualización en el cultivo de fresa SADRA, Rionegro, Antioquia. Octubre de 2013.

**Tabla 5.** Características edáficas para el cultivo de fresa.

<b>Topografía</b>	Pendiente: terrenos planos o suaves. Pendientes inferiores a 10%.
<b>Características fisicoquímicas del suelo</b>	Textura: arenosas o franco arenosas, contenidos de arena superiores a 50%.
<b>Profundidad efectiva</b>	Mayor a 80 cm.
<b>Acidez. pH.</b>	Moderadamente ácido, valores de pH entre 5,7 y 6,5.
<b>Materia orgánica</b>	Superior a 1%, ideal 2 a 3% y relación carbono/ nitrógeno (C/N) cercana a 10.
<b>Fertilidad del suelo</b>	Alta.
<b>Conductividad eléctrica (CE)</b>	Inferior a 1 dS/m.

**Fuente.** Mora Amanda. Memorias. Curso actualización en el cultivo de fresa SADRA, Rionegro, Antioquia. Octubre de 2013.

## ❖ PLAGAS Y ENFERMEDADES MAS COMUNES EN EL CULTIVO DE FRESA

En las Tablas 6 y 7, se presentan las plagas y enfermedades más comunes en el cultivo de fresa, así como los daños que causan y las medidas de control.

**Tabla 6.** Plagas en el cultivo de fresa, daños y medidas de control.

PLAGAS	DAÑO	MEDIDA DE CONTROL
<p><b>Acaro del cyclamen.</b> <i>Steneotarsonemus Pallidus</i></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://www.lamaison-desinsectes.fr/auxiliaire_fc.html">http://www.lamaison-desinsectes.fr/auxiliaire_fc.html</a></p>	 <p>Hojas rizadas, abullonadas, rugosas y de color parduzco. Fuerte disminución en el crecimiento y enanismo. Frutos ásperos, secos, pequeños, con los aquenios sobresalientes.</p>	<p><b>Cultural:</b> utilizar plantas certificadas.</p> <p>Establecer los cultivos nuevos aislados de los viejos, para prevenir transporte a través de maquinaria y operarios. Humedecer caminos y retirar residuos de cosecha.</p> <p>Monitorear, retirar e incinerar las primeras plantas con síntomas de ataque de la plaga.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de acaricidas con categoría toxicológicas III permitidos por las normas BPA.</p>
<p><b>Thrips Frankliniella occidentalis</b></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://www.phytoma.com/detalles_aviso.php?id=187&amp;referer=avisos&amp;FiltroAnyo=&amp;FiltroMes=&amp;FiltroCultivo=&amp;FiltroPalabras=hort%EDcolas">http://www.phytoma.com/detalles_aviso.php?id=187&amp;referer=avisos&amp;FiltroAnyo=&amp;FiltroMes=&amp;FiltroCultivo=&amp;FiltroPalabras=hort%EDcolas</a></p>	 <p>Frutos bronceados, opacos con fisuras muy finas superficiales cercanas al cáliz.</p> <p>Frutos deformes que presentan "caregato" (catfacing).</p>	<p><b>Cultural:</b> manejo oportuno de malezas. Monitoreo frecuente.</p> <p><b>Biológico:</b> Fumigación con extracto de ají - ajo. Liberación de enemigos naturales como <i>Orius</i> spp., <i>Aeolothrips</i> spp., <i>Chrysoperla</i> spp. y <i>Amblyseius</i> spp.</p> <p><b>Químico:</b> insecticidas de categoría toxicológica III permitidos por BPA.</p>
<p><b>Arañita roja</b> <i>Tetranychus urticae</i></p> 	 <p>Las hojas se decoloran cerca de las nervaduras centrales</p>	<p><b>Cultural:</b> eliminación de árboles secos y residuos de podas. Humedecer caminos y retirar residuos de cosecha.</p> <p><b>Biológico:</b> aplicación de productos orgánicos ajo ají, sustancia con efecto repelente y asfixiante.</p>




<p><b>Fuente:</b> <a href="http://www.lamaison-desinsectes.fr/auxiliaire_fche.html">http://www.lamaison-desinsectes.fr/auxiliaire_fche.html</a></p>	<p>debido a la erosión causada por las larvas que se protegen extendiendo una telaraña fina.</p>	<p><b>Químico:</b> aplicación de insecticidas de categoría toxicológicas III, permitidos por BPA.</p>
<p><b>Babosa <i>Deroceras</i> spp</b></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://rockbugdesign.com/invert_ref/es/species/show/39/">http://rockbugdesign.com/invert_ref/es/species/show/39/</a></p>	 <p>A su paso deja un rastro de baba brillante.</p> <p>Al alimentarse hace agujeros profundos en los frutos.</p>	<p><b>Cultural:</b> la preparación del suelo tritura la plaga, la expone a deshidratación y a aves predadoras.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de molusquicidas de categoría toxicológica III, permitidos por las normas BPA.</p>

Fuente. Rubio S., et al., (2014)

Tabla 7. Enfermedades en el cultivo de fresa.

ENFERMEDADES	SÍNTOMAS	MEDIDAS DE CONTROL
<p><b>Moho gris</b> <i>Botrytis cinerea</i></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm">http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm</a></p>	<p>Putrefacción blanda de los frutos en campo y almacenamiento. Ataca frutos verdes y maduros y puede afectar peciolos, pedúnculos, hojas y flores.</p> <p><b>Frutos:</b> mancha acuosa bien definida de coloración café que profundiza al interior de los tejidos. La infección inicia generalmente cerca del cáliz o en los puntos de contacto con otros frutos infectados.</p>	<p><b>Cultural:</b> evitar densidades de siembra muy altas que limiten la aireación. No exceder la fertilización nitrogenada, aplicar calcio quelatado. Retirar frutos y tejidos infectados. Evitar encharcamientos.</p> <p><b>Biológico:</b> Aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i>.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de productos fungicidas de categoría toxicológica III, permitidos por la norma BPA.</p>
<p><b>Antracnosis</b> <i>Colletotrichum acutatum</i>, <i>Colletotrichum fragariae</i>, <i>Colletotrichum</i></p>	<p><b>Peciolos y estolones:</b> marchitez seca, lesiones secas y hundidas, muerte de las plantas hijas.</p>	<p><b>Cultural:</b> utilización de plantas certificadas y variedades resistentes. La variedad</p>

<p><i>gloeosporioides</i> <i>Colletotrichum dematium</i></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm">http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm</a></p>	<p><b>Coronas:</b> pudrición café rojiza, firme, marchitez. Puede causar la muerte de la planta.</p> <p><b>Hojas:</b> pequeños puntos y manchas negras, 0,5 a 2 mm de diámetro.</p> <p><b>Flores:</b> receptáculo negro, el cáliz y parte del pedúnculo toman coloración café o amarillenta.</p> <p><b>Frutos:</b> lesiones oscuras, secas, firmes y hundidas con borde de color rosado en frutos maduros e inmaduros.</p>	<p>Camarosa presenta alta susceptibilidad.</p> <p>Fertilización adecuada de nitrógeno.</p> <p>Garantizar buen drenaje. Recolección de residuos de cosecha y de tejidos infectados.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de fungicidas de categoría toxicológica III y IV, permitidos por la norma BPA.</p>
<p><b>Mal del cuello</b> <i>Phytophthora cactorum</i></p>  <p><b>Fuente:</b> <a href="http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm">http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm</a></p>	<p>Colapso vascular. Marchitez similar a la causada por estrés hídrico.</p> <p>Muerte de raicillas y lesiones necróticas en las raíces principales.</p> <p>Desprendimiento de coronas al manipular la planta que deja al descubierto necrosis central de color café rojizo.</p> <p>En ocasiones las plantas se recuperan dependiendo del número de coronas afectadas.</p>	<p><b>Cultural:</b> uso de variedades resistentes o tolerantes como Albión.</p> <p>Recolección y quema de residuos del cultivo anterior.</p> <p>Incorporar enmiendas que mejoren estructura de suelos, evitar riego fuerte. Rotaciones largas.</p> <p>Inoculación del suelo con microorganismos benéficos.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de fungicidas de categoría toxicológica III, permitidos por la norma BPA.</p>
<p><b>Peca</b> <i>Mycosphaerella fragariae</i></p>	<p>Manchas de color violeta intenso, el centro se torna café y rápidamente cambia a gris y blanco, manteniendo el borde de color púrpura, pueden medir hasta 3 o 6 mm de diámetro.</p>	<p><b>Cultural:</b> retirar las primeras hojas de la planta con síntomas de la enfermedad.</p> <p>Recolección de residuos de cosecha y de cultivos</p>

 <p><a href="http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm">http://urbanext.illinois.edu/strawberries_sp/insects.cfm</a></p>	<p>En infecciones severas puede afectar los frutos con lesiones oscuras similares a las causadas por antracnosis.</p>	<p>anteriores.</p> <p>Garantizar buen drenaje, eliminar estancamientos de agua.</p> <p><b>Químico:</b> aplicación de fungicidas de categoría toxicológica III, permitidos por la norma BPA.</p>
--	---	---

Fuente. Rubio S., et al., (2014)

### 5.3.4 Actividad económica y degradación del recurso suelo

De acuerdo con Cepeda, 2003., una de las principales problemáticas en el ámbito ambiental y empresarial es la pérdida o degradación de recursos naturales que comprometa la generación de satisfactores sociales y económicos, razón por la cual es fundamental conocer cuáles son las principales fuentes de contaminación del recurso suelo y cuál es la diferencia entre un suelo contaminado y uno alterado. La contaminación ambiental es la presencia en la atmósfera, el agua o el suelo, de sustancias no deseables, en concentraciones, tiempo y circunstancias tales, que puedan afectar significativamente la salud y bienestar de las personas.

En este sentido, se entiende entonces por daño ambiental la afectación o modificación de las condiciones originales de los recursos naturales, y por contaminación, la presencia superior a los valores límites permisibles de aquellas sustancias que tengan la capacidad de modificar o variar alguna condición de dichos recursos y generar alteraciones que perjudiquen la salud de las personas. De esta manera, se puede decir que un suelo está contaminado, cuando las características físicas, químicas o biológicas originales han sido alteradas de manera negativa, debido a la presencia de componentes de carácter peligroso para el ecosistema; en este caso, la productividad que el suelo tenía, se pierde total o parcialmente.

#### 5.3.4.1 Agentes químicos

Los diferentes agentes químicos, 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 pesticidas 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. Niveles elevados de pesticidas en ambientes acuáticos o terrestres pueden causar numerosos problemas al ambiente, vida silvestre y salud humana (B. Betancur, 2013).

### ❖ **Insecticida**

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.

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, son productos de origen natural o incluso organismos vivos que sirven también para el control de insectos. Se diferencian

de los insecticidas sintéticos en su origen natural, son menos agresivos contra el medio ambiente, no suelen ser tóxicos para organismos superiores y plantas. También suelen ser más efectivos ya que evitan que los insectos desarrollen resistencia a los mismos, lo que suele ocurrir con los insecticidas químicos, en especial cuando se abusa de ellos.

Los bioinsecticidas son un componente clave en los programas de control integrado de plagas y están recibiendo mucha 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.

Según Copping L.G (2004) existen ventajas y desventajas de los pesticidas biológicos, las cuales se especifican a continuación:

### **Ventajas de los Bioinsecticidas**

- No producen residuos peligrosos.
- Reduce significativamente el impacto sobre las especies que nos son objeto de los tratamientos.
- Cuando son producidos localmente pueden ser más económicos que los insecticidas químicos.
- A largo plazo también pueden ser más efectivos que los pesticidas sintéticos.

### **Desventajas de los Bioinsecticidas**

- 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 co-evolución. Pero en relaciones con alta cercanía taxonómica, por ejemplo, hongos contra hongos, existen procesos de competencia, los que son de baja especificidad.

- 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.
- A menudo 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.

### ❖ **Plaguicida**

Según el ICA (2002), un plaguicida es una sustancia 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.

### **5.3.5 Implicaciones ambientales del uso de plaguicidas e insecticidas**

La aplicación de plaguicidas ha sido un mecanismo eficiente para la protección de algunos cultivos. Sin embargo, el ingreso de estas sustancias al ambiente, puede representar un alto riesgo para los sistemas biológicos (Van der Werf, 1996; Palacio 2007). A continuación, se abordarán algunas implicaciones ambientales de algunos plaguicidas.

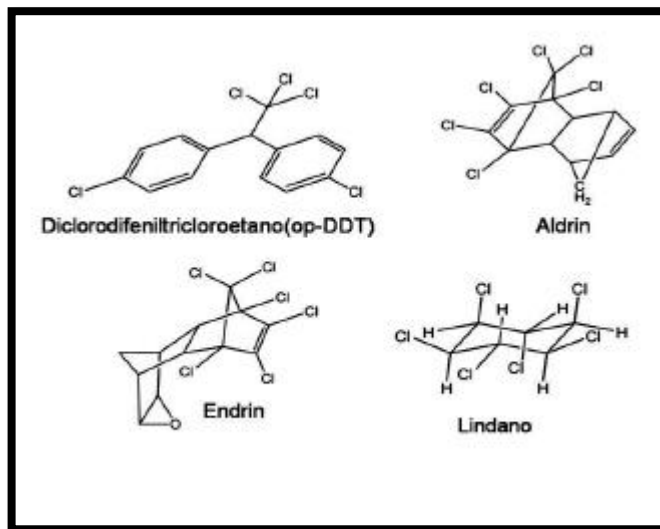
#### ❖ **Plaguicidas Organoclorados**

En la década de los 70, los organoclorados fueron los plaguicidas con mayor aplicación agrícola.

Las evidencias sobre los efectos teratogénicos, carcinogénicos, inmunológicos, disruptores endocrinos y de bioacumulación de los plaguicidas organoclorados, llevaron a su prohibición en el mundo. Sin embargo, en los algunos países se siguen aplicando sin ningún control. Aunque los plaguicidas organoclorados, tienen alta persistencia en el ambiente y alto potencial de biomagnificación, los productos de transformación incrementan la complejidad de los efectos tóxicos en el ambiente (Darko et al., 2008; Guruge et al., 2001). La información

disponible, muestra que, en la fase ambiental, estas sustancias alcanzan entre el 75 y el 100 % de su degradación en un tiempo de 4 a 30 años (Sankararamakrishnan et al., 2005). En los últimos años, se ha reportado la presencia de los plaguicidas organoclorados y algunos de sus metabolitos. Por ejemplo, en el río Grande del Sur en Brasil, en el 2008, fueron reportadas concentraciones de 7,38 ng/g de los metabolitos Dicloro Difenil Dicloroetano (DDD) y 11,9 ng/g de Dicloro Difenil Dicloroetileno (DDE) en leche, lo que muestra un gran riesgo para la población como resultado de la exposición crónica a productos de degradación del DDT (Heck et al., 2007). De otro lado, en el río Pearl en el 2008, se encontraron niveles de DDT en peces entre 1,7 y 462 ng/g, lo que indica, un alto potencial de bioacumulación de esta sustancia en ictiofauna (Guo et al., 2008). En la figura 6, se presenta la estructura química algunos como el Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT), aldrín, endrín y lindano.

**Figura 6.** Estructura química de algunos organoclorados



Fuente. Revista Gestión y Ambiente

### ❖ Plaguicidas organofosforados

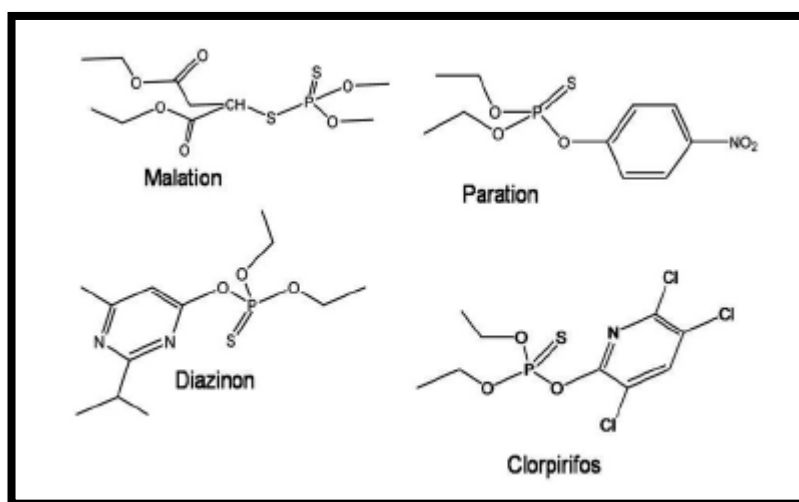
Los organofosforados representan la tercera parte de los plaguicidas aplicados en la agricultura (Chambers et al., 1992). El mecanismo de acción de estas sustancias, se atribuye a la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa la cual se encarga de la reducción de los niveles de acetilcolina; uno de los principales neurotransmisores del sistema central. En consecuencia, los niveles altos de acetilcolina, conducen a una exacerbación de las respuestas parasimpáticas en

el sistema nervioso de los organismos expuestos (Zamy et al., 2004). Se ha encontrado, que estos plaguicidas atraviesan con facilidad la mucosa, la piel y otras barreras biológicas, no solo de los organismos target, sino también de los agricultores.

El uso masivo y frecuente de organofosforados, favorece su amplia distribución en el ambiente. Un estudio realizado en el río Ganges en Kanpur en el 2005, encontró una concentración de malatión de 2.61 ug/L, la cual superó al valor máximo permisible para el agua potable de 1 ug/L, según la Comisión Económica Europea (Sankararamakrishnan et al., 2005).

Los organofosforados, tienen una menor persistencia que los organoclorados, debido a que los procesos de transformación ambiental se efectúan con mayor eficiencia sobre sus enlaces fosfoester de estas moléculas. Sin embargo, en numerosas ocasiones la degradación parcial genera subproductos de mayor toxicidad que los compuestos parentales (Vittozzi et al., 2001). Por lo general la estructura química de los organofosforados, consiste en esteres fosfato, fácilmente hidrolizables (figura 7).

**Figura 7.** Estructura química de algunos organofosforados



Fuente. Revista Gestión y Ambiente

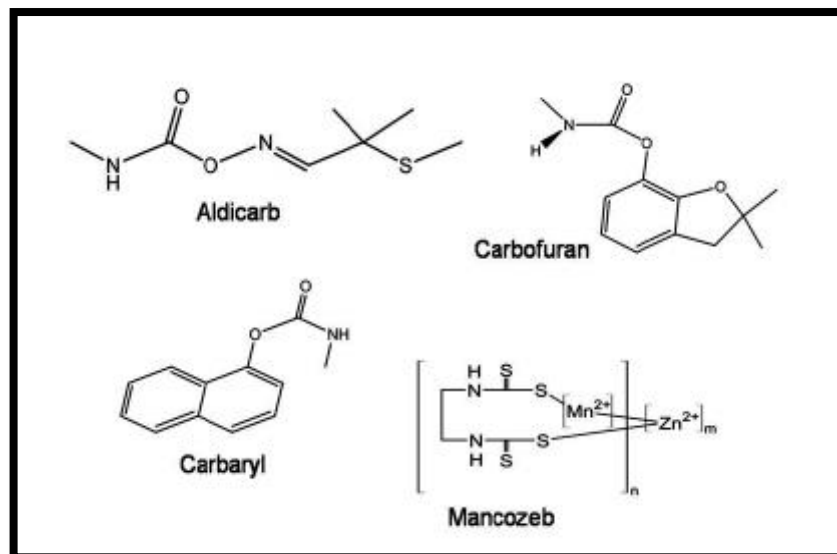
### ❖ Carbamatos y ditiocarbamatos

Los carbamatos y ditiocarbamatos son actualmente los plaguicidas de mayor aplicación en la actividad agrícola, debido a que estas sustancias tienen una menor persistencia y toxicidad. Esto se debe a que son rápidamente hidrolizados en el ambiente.



Los carbamatos son plaguicidas de gran inestabilidad química y tensión molecular y, por tanto, lábiles a los procesos fotolíticos y de hidrólisis química. Por lo anterior, los productos de transformación son considerados marcadores de su aplicación y son de gran importancia en el análisis de los efectos tóxicos sobre el ambiente. La etilentiourea (ETU), un metabolito con efectos carcinogénicos, es un marcador ambiental de la aplicación de mancozeb y otros ditiocarbamatos (Colosio et al., 2002). De igual forma, la presencia del metabolito 1-Naftol evidencia el ingreso a aguas superficiales de plaguicidas como el aldicarb y el carbaryl. Ambos plaguicidas, tienen alto potencial cardiotóxico sobre algunas especies ícticas y son incluidos en el análisis de calidad de agua para consumo humano (García de Llasera y Bernal, 2001; Lin, Hui et al., 2007). Ver figura 8.

**Figura 8.** Estructura química de algunos carbamatos y ditiocarbamatos



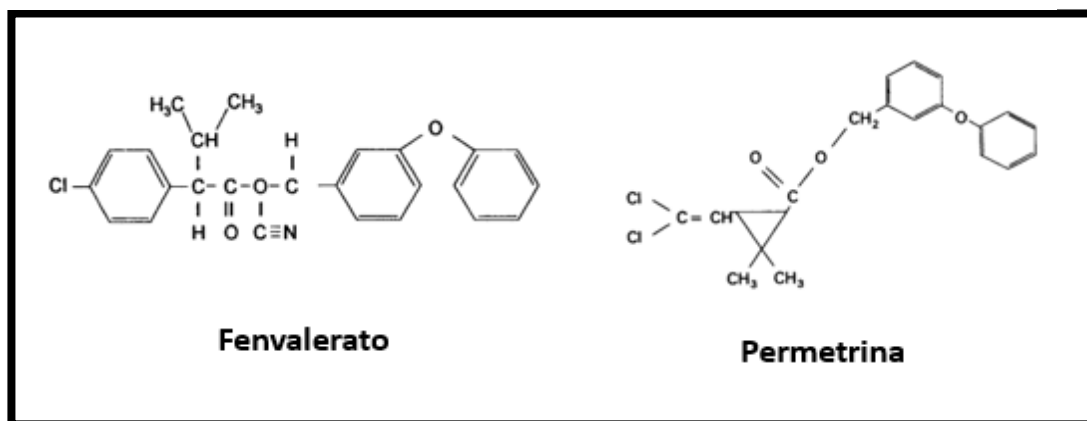
Fuente. Revista Gestión y Ambiente

### ❖ Piretroides

Los piretroides son un grupo de pesticidas artificiales desarrollados para controlar preponderantemente las poblaciones de insectos plaga. Este grupo surgió como un intento por parte del hombre de emular los efectos insecticidas de las piretrinas naturales obtenidas del crisantemo, que se venían usando desde 1850.

Al contrario de los organoclorados, los carbamatos y los organofosforados, no existen muchos casos de resistencia de insectos a piretroides. Sin embargo, como con todos los insecticidas, es recomendable un uso moderado de los mismos alternando los distintos tipos de insecticidas y usando las cantidades mínimas necesarias (Martínez, A.). La estructura química de algunos piretroides se muestra en la figura 9.

**Figura 9.** Estructura química de algunos piretroides



Fuente. Revista Gestión y Ambiente

### 5.3.5.1 Plaguicidas e insecticidas utilizados en los cultivos de fresa y arveja, vereda monte dentro

**Tabla 8.** Plaguicidas e insecticidas utilizados en la vereda monte dentro

NOMBRE	TIPO	GRUPO QUÍMICO	INGREDIENTE ACTIVO
Lorsban	Insecticida	Organofosforados	Clorpirifos
Pirestar	Insecticida	Piretroides	Permetrina
Evisect	Insecticida	Nereistoxinas	Tiocyclam-hidrogenoxalato
Monitor	Insecticida	Organofosforado	Metamidofos
Furadán	Insecticida	Carbamatos	Carbofuran

Engeo	Insecticida	Piretroides	tiametoxam+lambda cyalotrina
Latigo	Insecticida	Organofosforado + Piretroide	Clorpirifos + cipermetrina
Zafiro	Insecticida	Carbamatos + Fenilamida	Propamocarb HCl + Metalaxil
Roxion	Insecticida	Fosforados	Dimetoato
Fulminator	Insecticida	Organofosforados + Piretroides	Profenofos + Cipermetrina
Eltra 48-EC	Insecticida	Carbamatos	Carbosulfan
Karate Zeon	Insecticida	Piretroide	Lambda cihalotrin
Sunfire	Insecticida	Pirroles	Chlorfenapyr
Nadir	Insecticida	Organofosforados	Metamidofos
Benomyl	Fungicida, plaguicida	Benzimidazole	Benomyl
Vertimec	Insecticida	Estrobilurinas	Abamectina
Cyomezab	Fungicida, plaguicida	Cyanoacetamida oxima + Dithiocarbamato	Cymoxanil + Mancozeb
Rally	Fungicida, plaguicida	Triazoles	Myclobutanil
Tairel	Fungicida, plaguicida	Inorgánicos + Acilalanina	Benalaxil + Mancozeb

Fuente. Bacheloth, 2017

### 5.3.6 Degradación natural de plaguicidas e insecticidas

La degradación de plaguicidas en ambientes naturales, ocurre bajo reacciones fotolíticas, de óxido-reducción, hidrólisis química y de biodegradación. Estos procesos favorecen la excitación, ruptura y/o reacomodación de enlaces químicos, que llevan a la transformación parcial de los compuestos parentales. Cerca del 50% de los productos de transformación de los plaguicidas, tienen toxicidad similar a la

de los compuestos parentales (Belfroid et al., 1998). Solo su mineralización, en la que se produce H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y otros minerales, asegura la reducción o eliminación de los efectos tóxicos de los plaguicidas en el suelo y/o agua (Raymond et al., 2001).

La degradación parcial produce un gran número de estructuras químicas con diversas propiedades fisicoquímicas. Esto se debe a que diversos procesos de degradación actúan en simultáneo sobre los compuestos parentales y a su vez sobre diferentes puntos de la estructura molecular. Esta situación dificulta el análisis de metabolitos en diferentes matrices ambientales, debido a la complejidad del tratamiento de las muestras, la falta de especificidad de los métodos y el problema de la identificación de cada uno de los productos de degradación. En ambientes naturales, el mancozeb se transforma en ETU, mientras que el clorpirifos, se transforma en *3,5,6-trichloro-2-pyridinol* (TCP), un metabolito con alto riesgo tóxico (Cáceres, et al., 2007).

A continuación, se abordan los principales procesos de degradación en ambientes naturales.

#### ❖ **Biodegradación de plaguicidas**

En muchos ecosistemas, la persistencia y la toxicidad de plaguicidas, está relacionada con la eficiencia de los procesos de biodegradación (Raymond et al., 2001). En estos procesos, es de suma importancia las reacciones enzimáticas que ocurren en los microorganismos, los cuales juegan un papel importante en la transformación de plaguicidas.

La biodegradación puede ocurrir bajo condiciones aerobias o anaerobias, dependiendo del aceptor final de electrones utilizado por el microorganismo. Así, mientras los nitratos, los sulfatos, el hierro y el manganeso son aceptores de electrones en condiciones anaerobias, el oxígeno es el aceptor final en condiciones aerobias. Se ha reportado que algunos organoclorados, son usados como aceptores de electrones después del hierro y los nitratos en condiciones anaerobias, en un proceso denominado deshalogenación reductiva (Hägglom y Bossert, 2003). Por ejemplo, los microorganismos del género *Pseudomonas* y algunas enterobacterias, favorecen la degradación de compuestos aromáticos y el rompimiento de enlaces carbono-halógeno. Estas reacciones son de suma importancia en la degradación de plaguicidas halogenados, debido a que estos enlaces son de alta energía, químicamente estables y tienen gran impedimento estérico (Hägglom y Bossert, 2003).

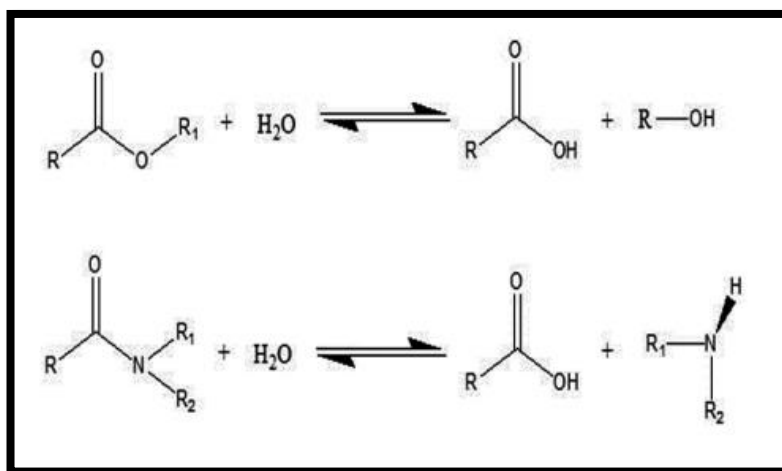
### ❖ Fotodegradación de plaguicidas

La luz UV-C (100-280nm) se absorbe casi en su totalidad en la capa de ozono. Sin embargo, la luz UV-B y UV-A (280-400 nm), de gran valor energético, alcanzan la superficie terrestre y producen la excitación molecular y la transformación de algunos xenobióticos (Burrow y Canle, 2002). En la zona intertropical, donde la radiación solar incide casi de forma perpendicular sobre la superficie terrestre, los procesos fotolíticos son importantes en la degradación de plaguicidas. El índice de UV, es un buen marcador de los procesos fotolíticos, valores superiores a 8 indican un buen potencial de fotodegradación y un alto riesgo de cáncer de piel en humanos (EPA 2011). Por ejemplo, en Colombia donde los valores de índice de UV oscilan entre 9 y 15, podría encontrarse un alto potencial de fotodegradación de plaguicidas en los diversos ecosistemas.

### ❖ Hidrólisis química

La hidrólisis química de los plaguicidas está relacionada con el pH y ocurre mediante ataques nucleofílicos o electrofílicos (Lui et al., 2001). En la figura 10 se observan algunas reacciones de hidrólisis en moléculas orgánicas.

**Figura 10.** Reacciones de hidrólisis en moléculas orgánicas



**Fuente.** Revista Gestión y Ambiente

Los ácidos y bases actúan como catalizadores al activar grupos funcionales para un ataque de nucleófilos y de electrofílos del entorno. Es indiscutible que el pH del medio es un factor determinante de la vida media de muchas sustancias hidrolizables. Por ejemplo, el clorpirifos tiene una vida media de 53 días a pH 5,90, 141,6 días a pH 6,11 y 10 días a pH 9,77 a 25 ° C (Macalady y Wolfe, 1983).

La hidrólisis química de plaguicidas, potencia el efecto de otros procesos de transformación, debido a que los metabolitos de la hidrólisis pueden ser más fotosensibles o menos tóxicos para los microorganismos que los compuestos parentales. En el caso de algunos organofosforados, una hidrólisis inicial conduce a la formación de p-nitrofenoles, los cuales son fácilmente degradados a hidroquinonas por bacterias como *Pseudomonas putida* (Rani y Lalithakumari, 1994).

### **5.3.7 Factores y mecanismos que influyen en el transporte y permanencia de los plaguicidas e insecticidas**

#### **❖ Mecanismos de transporte de los contaminantes en el medio ambiente**

Es 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.

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.

- **Difusión**

Es el 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. (I. García, C. Dorronsoro., 2010), (A. Maldonado., 2012).

- **Evaporación**

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 (I. García, C. Dorronsoro., 2010), (A. Maldonado., 2012).

- **Lixiviación**

Es el 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 (I. García, C. Dorronsoro., 2010), (A. Maldonado., 2012).

- ❖ **Factores que influyen en la permanencia de los contaminantes en el medio ambiente**

Las sustancias químicas como plaguicidas e insecticidas, actúan en el entorno de acuerdo a unos factores determinados, dependiendo de dichos factores su afectación al medio puede ser mayor o menor, ya que estos influyen en su comportamiento, permanencia y degradación. Dentro de éstos factores encontramos:

- **Volatilización**

La volatilidad 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.

- **Presión de Vapor**

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 desde suelos o cuerpos de agua superficial contaminados. La presión de vapor varía; se incrementa la presión cuando se incrementa la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura (Cicoplafest, 1998). Ver tabla 9

**Tabla 9.** 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

- **Persistencia**

Se define 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. Los plaguicidas que persisten más tiempo en el ambiente, tienen mayor probabilidad de interactuar con los diversos elementos que conforman los ecosistemas.

Si su vida media y su persistencia es mayor a la frecuencia con la que se aplican, los plaguicidas tienden a acumularse tanto en los suelos como en la biota y con el tiempo, la mayoría de los plaguicidas sufren una degradación como resultado de reacciones químicas y microbiológicas en suelo o agua. Ver tabla 10

**Tabla 10.** 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

- **Vida media**

La vida media está 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 J.J. Jenkins and P.A. Thomson, 1999. Es importante señalar 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:** Es el 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:** Es el tiempo requerido para que la mitad de un plaguicida aplicado expuesto a la luz del sol se degrade.
- **Vida media por Hidrólisis:** Es el tiempo requerido para que la mitad de un plaguicida aplicado se degrade por la acción del agua.

### 5.3.8 Métodos para extracción e identificación de sustancias químicas

El uso indiscriminado de sustancias químicas en los procesos de agricultura, entre otros, ha generado problemáticas ambientales, en los diferentes ecosistemas ya sea acuáticos o terrestres, incluso ha llegado a afectar a especies como las abejas, que al polinizar flores contaminadas con estas sustancias ha generado una mortandad masiva.

Por otra parte, existen normas que prohíben el uso de algunas de estas sustancias contaminantes o establecen límites permisibles de aplicación, pero actualmente no se están cumpliendo, esto es fácil de deducir ya que la comercialización de éstos agroquímicos no es supervisada.

Debido a lo mencionado anteriormente, es necesario llevar a cabo investigaciones que demuestren y recalquen, los daños que generan al medio ambiente el uso de agentes químicos como es el caso de los plaguicidas e insecticidas, teniendo en cuenta que la mayoría de éstas sustancias tienen un tiempo de vida medio- alto, es posible encontrar residuos de éstos compuestos en el aire, agua, suelo, vegetación y productos agrícolas. Este hecho ha dado lugar al desarrollo de diferentes metodologías de extracción y determinación de residuos de estos contaminantes, en diferentes entornos ambientales, entre estos el suelo.

Existen diversos métodos de extracción de residuos de sustancias químicas en el suelo, como el método de extracción asistida por ultrasonido y el método de extracción Soxhlet. Una vez estos contaminantes son extraídos se pueden diferenciar o identificar mediante el uso de técnicas cromatográficas, como lo son la cromatografía de gases (GC), cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masa (GC-MS) y cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).

#### **5.3.8.1 Métodos de extracción**

Se entiende por extracción como un proceso donde uno o varios compuestos de interés denominados analitos, son retirados de una ubicación principal llamada matriz la cual puede ser sólida, líquida o gaseosa, por medio de un solvente para sólidos y líquidos, o un adsorbente para gases (Mosquera, D.A., 2012).

- **Extracción asistida por ultrasonido**

La primera aparición de ultrasonido se dio en 1917 y desde entonces se ha desarrollado y expandido a un gran número de aplicaciones, un ejemplo de ello es la extracción asistida por ultrasonido utiliza sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender el compuesto buscado del material vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente (Gao&Liu, 2005). Según Rostagno et al (2003), esta técnica es la más económica y tiene los requerimientos instrumentales más bajos entre las últimas técnicas de extracción desarrolladas.

- **Extracción Soxhlet**

Consiste básicamente en el lavado sucesivo de una mezcla sólida con un determinado solvente, que va extrayendo de la mezcla los componentes más solubles en él, mediante el lavado sucesivo de una mezcla, se puede extraer de ella componentes cuya solubilidad en el solvente extractante es muy baja, debido al efecto acumulado de las múltiples extracciones (Mosquera, D.A., 2012).

- **Extracción en fase sólida (SPE)**

La extracción en fase sólida, mejor conocida por sus siglas en inglés: SPE, "Solid Phase Extraction", tal como se denominará en lo sucesivo en este seminario, es una técnica utilizada para la preparación de muestras que comenzó a ser empleada a finales de 1970. Básicamente consiste en la extracción de un analito de interés mediante sistemas sólido-líquido, empleando principalmente cartuchos, discos o fibras. La SPE permite desarrollar sistemas en miniatura, que son actualmente la tendencia dominante en campos como: química analítica, estudios ambientales, forenses, toxicológicos, clínicos, farmacéuticos, alimentos etc. El diseño de equipos en miniatura conduce a su vez a la automatización y acoplamiento en línea para análisis, obteniendo entre otras ventajas: mayor sensibilidad, menor riesgo de pérdida del analito, ahorro de reactivos, disminución del tiempo de trabajo y menor cantidad y tratamiento de desechos de laboratorio (Majors., 2003).

### **5.3.8.2 Métodos de determinación**

Estos métodos de determinación pueden dividirse en dos partes según Hernández, F. y Beltrán, J.

- **Determinación-Separación:** Separación de los plaguicidas o insecticidas individuales y de las especies coextraídas, de acuerdo con sus diferentes coeficientes de partición entre un sólido o un disolvente no volátil (fase estacionaria) y un líquido o un gas portador (fase móvil) que circula a través de una columna (cromatografía líquida o de gases) o a lo largo de una placa (cromatografía en capa fina).

- **Determinación-Detección:** Después de la separación se produce una respuesta en un detector apropiado que puede usarse para medir la cantidad de plaguicida que fluye por la columna. Existen numerosos tipos de detectores, que se basan en distintos principios. Algunos de ellos solo detectan cierto tipo de compuestos, por lo que permiten una detección selectiva.

Existen distintas metodologías para la determinación de plaguicidas e insecticidas, la más común es la cromatografía de gases. A continuación, se especifican algunos tipos:

- **Cromatografía de gases (GC)**

De acuerdo con la International Unión of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), la cromatografía es un método físico de separación en el cual los componentes serán separados y distribuidos entre dos fases una de las cuales es estacionaria (fase estacionaria) mientras que la otra (la fase móvil) moviéndose en una dirección definida.

La cromatografía de gases se ha convertido en la técnica analítica más usada en el mundo para la separación y análisis compuestos volátiles. Esta técnica tiene la capacidad de cualificar (determinar la estructura química) y cuantificar (cantidad del compuesto presente) los componentes de una o varias muestras, determinando la cinética y el mecanismo de reacción.

En la cromatografía gaseosa la fase móvil es un gas que fluye a través de una columna que contiene a la fase fija. Esta fase fija puede ser un sólido poroso (cromatografía gas-sólido o CGS), o bien una película líquida delgada que recubre un sólido particulado o las paredes de la columna (cromatografía gas-líquido o CGL).

- **Cromatografía líquida de alta resolución**

es un tipo de cromatografía en columna utilizada frecuentemente en bioquímica y química analítica. El HPLC es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla basándose en diferentes tipos de interacciones químicas entre las sustancias analizadas y la columna cromatográfica.

En la HPLC isocrática el compuesto pasa por la columna cromatográfica a través de la fase estacionaria (normalmente, un cilindro con pequeñas partículas redondeadas con ciertas características químicas en su superficie) mediante el bombeo de líquido (fase móvil) a alta presión a través de la columna. La muestra a analizar es introducida en pequeñas cantidades y sus componentes se retrasan diferencialmente dependiendo de las interacciones químicas o físicas con la fase estacionaria a medida que adelantan por la columna. El grado de retención de los componentes de la muestra depende de la naturaleza del compuesto, de la composición de la fase estacionaria y de la fase móvil. El tiempo que tarda un compuesto a ser eluido de la columna se denomina tiempo de retención y se considera una propiedad identificativa característica de un compuesto en una determinada fase móvil y estacionaria. La utilización de presión en este tipo de cromatografías incrementa la velocidad lineal de los compuestos dentro de la columna y reduce así su difusión dentro de la columna mejorando la resolución de la cromatografía. Los disolventes más utilizados son el agua, el metanol y el acetonitrilo (Castro, R.M.; Martins, R.V., et al., 2004).

- **Cromatografía en capa fina**

Se basa en la distribución del analito entre el disolvente y una capa fina de adsorbente, que generalmente es sílice o alúmina (óxido de aluminio) que se ha enlazado físicamente a una placa plana de vidrio o plástico. Como técnica de separación, la TLC es mucho menos eficiente que la GC o HPLC y, generalmente, se utiliza como técnica semicuantitativa, por lo que es menos utilizada (Hernández, F. y Beltrán, J.).

- **Cromatografía con fluidos supercríticos**

Es una nueva técnica de separación cromatográfica, en la que se utiliza un fluido supercrítico como fase móvil. Con esta técnica se pueden conseguir separaciones de compuestos que no pueden analizarse por GC debido a su baja volatilidad o a su inestabilidad térmica. Por otro lado, el analito fluye más rápidamente en el fluido supercrítico que en el líquido utilizado para HPLC, por lo que el disolvente puede bombearse a mayor velocidad, siendo el tiempo de análisis es menor. Además, muchos de los detectores usados en GC pueden también usarse en SFC (Hernández, F. y Beltrán, J.).

### **5.3.9 Modelación y simulación de contaminantes mediante software**

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, uno de ellos 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 muchas áreas tales 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.

En general un modelo puede ser entendido como una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. En este caso y por su naturaleza, el programa de maestría propuesto se ocupará de modelos fenomenológicos y/o modelos de procesos que requieren el uso formal de herramientas matemáticas y/o computacionales para representar algún sistema y su comportamiento.

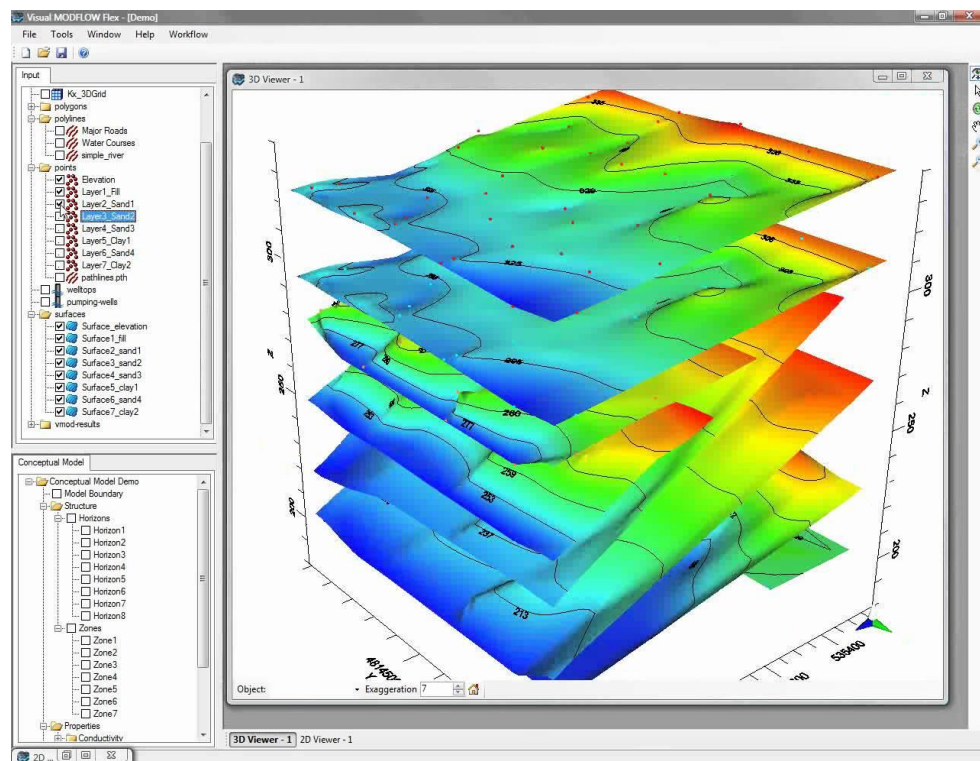
Mediante el modelado se busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema y el sistema como un todo. Desde esta perspectiva es apropiado afirmar que las teorías están integradas por dos grandes elementos conceptuales no del todo separables: a) Un formalismo, es decir, un aparato matemático con unas reglas operativas para calcular y b) una interpretación, es decir, una ontología que cuenta, en correspondencia con el formalismo, cuál es la imagen de los fenómenos, de los procesos y del mundo que la teoría pretende describir o explicar. El modelado permite, al nivel de la teoría, acercar el formalismo científico a su interpretación con el fin de lograr una mejor comprensión, explicación y descripción de los sistemas estudiados. (F.C Vitery., 2017).

Cabe mencionar, que 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 softwares los cuales aportan herramientas de apoyo para su estudio. A continuación, se presentan algunos softwares que permiten la modelación del transporte de agentes químicos en el suelo y en fuentes hídricas.

## ➤ MODFLOW

Figura 11. Descripción gráfica software modflow



Fuente. Waterloo Hydrogeologic (2011)

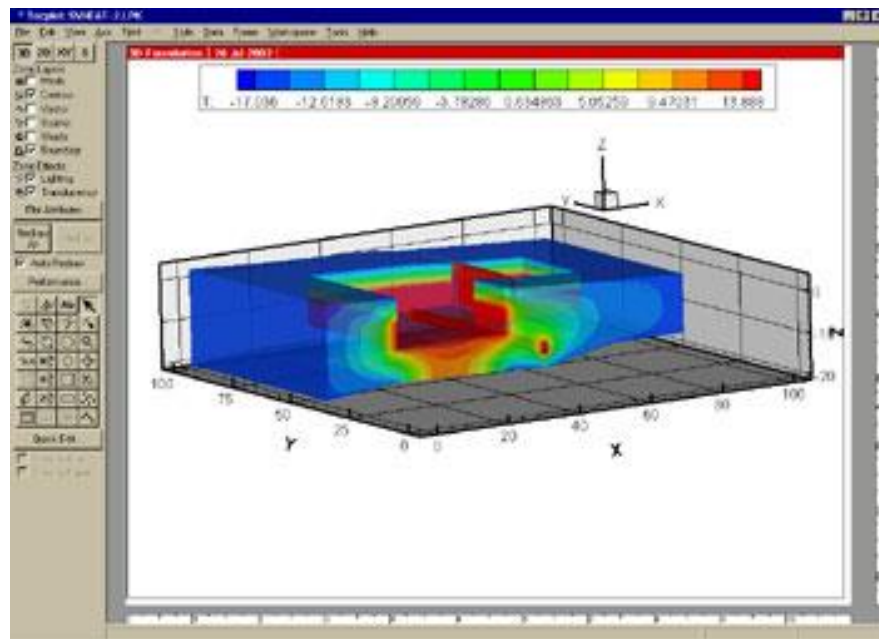
Es un modelador de flujo por diferencias finitas desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, el cual consiste de un código fuente que resuelve mediante interacciones la ecuación de flujo del agua subterránea. Se usa en hidrogeología para simular el flujo subterráneo de cualquier acuífero.

Modflow-2005 (Harbaugh, 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. Conductividades hidráulicas o transmisividad para cualquier capa pueden ser diferentes espacialmente y ser anisotrópico (restringido a tener las direcciones principales alineados con la red de ejes), y el coeficiente de almacenamiento pueden ser heterogéneos.

## ➤ CHEMFLUX

Figura 12. Descripción gráfica software Chemflux



Fuente. Soilvision (2002)

ChemFlux es capaz de modelar destino y transporte a través de las zonas saturadas e insaturadas. 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 Ltd, 2004).



## Características principales:

- Modelado de flujo dependiente de la densidad.
- Advección Modelo, la difusión, la absorción y la decadencia en condiciones saturadas e insaturadas de suelos.
- Acoplamiento climático lleva el poder de modelar las filtraciones a los problemas del transporte de contaminantes.
- Interfaz de usuario sencilla y de gran alcance permite la rápida creación de modelos eficaces
- Fácilmente puede generar modelos 3D a partir de secciones transversales 2D, o rebanada de modelos 3D en secciones transversales 2D.

## ➤ BIO-1D

Figura 13. Descripción gráfica software BIO-1D



Fuente. Köhler, A. M., Meister, C. and Braus, G. H. (2016)

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).

Las siguientes características se incorporan en BIO1D:

- Transporte por convección y dispersiva de sustrato y oxígeno.
- Biodegradación aeróbica y anaeróbica.
- Descomposición de primer orden; Lineales, Freundlich, y Langmuir isothermas de adsorción para sustrato y oxígeno; y Dirichlet, Neumann o Cauchy condición de contorno modificados para incluir una descomposición de primer orden opcional.

La biodegradación aeróbica se simula usando funciones Monod modificados, y la biodegradación anaeróbica se representa mediante la cinética de Michaelis-Menten. Las dos ecuaciones acopladas resultantes son aproximadas usando diferencias finitas, donde las no linealidades se tratan usando Newton-Raphson procedimiento numérico.

### **PRZM3**

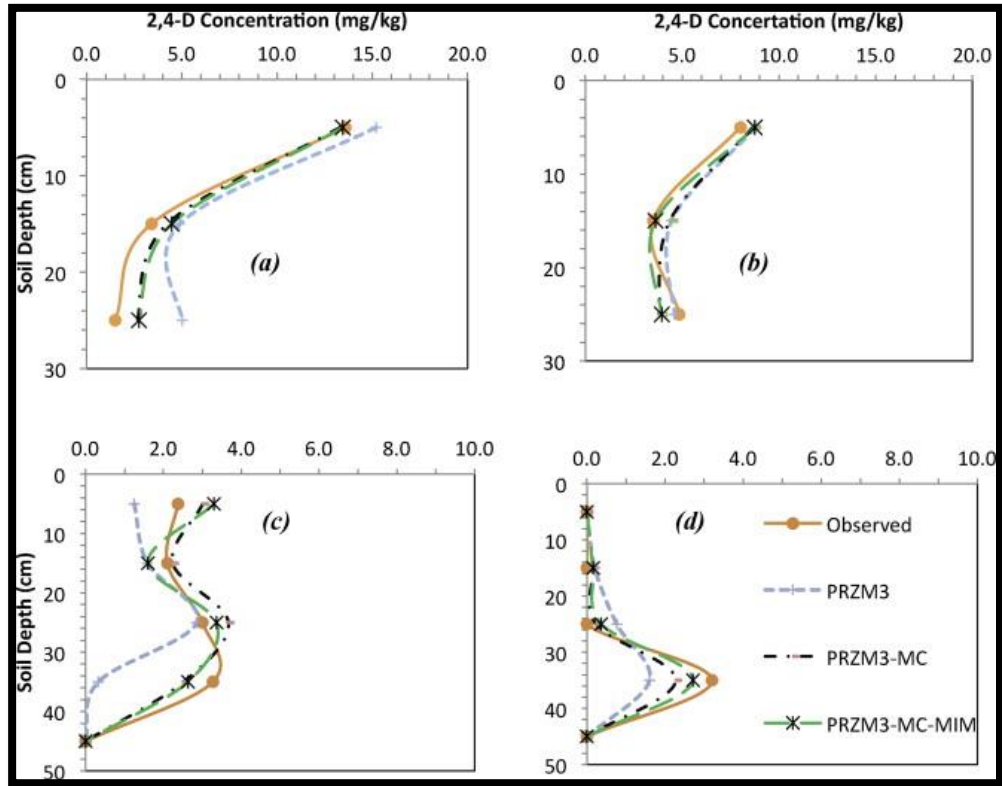
PRZM3 es la versión más reciente de un sistema de modelado que une dos modelos subordinados, PRZM y VADOFT, con el fin de predecir el transporte de pesticidas y la transformación a través de la raíz de los cultivos y la zona no saturada.

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).

## Aplicaciones

PRZM3 es un modelo US EPA para predecir el destino de plaguicidas en la raíz de la cosecha y Zonas suelo no saturado. PRZM3 simula el transporte de plaguicidas aplicados en campo en la zona de las raíces de los cultivos y la zona no saturada teniendo en cuenta los efectos de las prácticas de manejo agrícola. El modelo proporciona estimaciones de las concentraciones de exposición probables teniendo en cuenta la variabilidad en los sistemas naturales y las incertidumbres en las propiedades y procesos del sistema. El programa utiliza memoria extendida.

Figura 14. Descripción gráfica software PRZM3



Fuente. Sajad Jamshidi (2014)

PRZM3 une dos modelos 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, en diferencias finitas de uno que da cuenta de destino de los plaguicidas en la zona radicular del cultivo. PRZM3 incorpora varias características nuevas, específicamente:

- La temperatura del suelo simulación.
- Transporte volatilización y en fase de vapor en los suelos.
- Simulación de riego.
- Transformación microbiana.
- Un método de las características (MOC) algoritmo para eliminar la dispersión numérica.

## **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 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 et al., 1998).

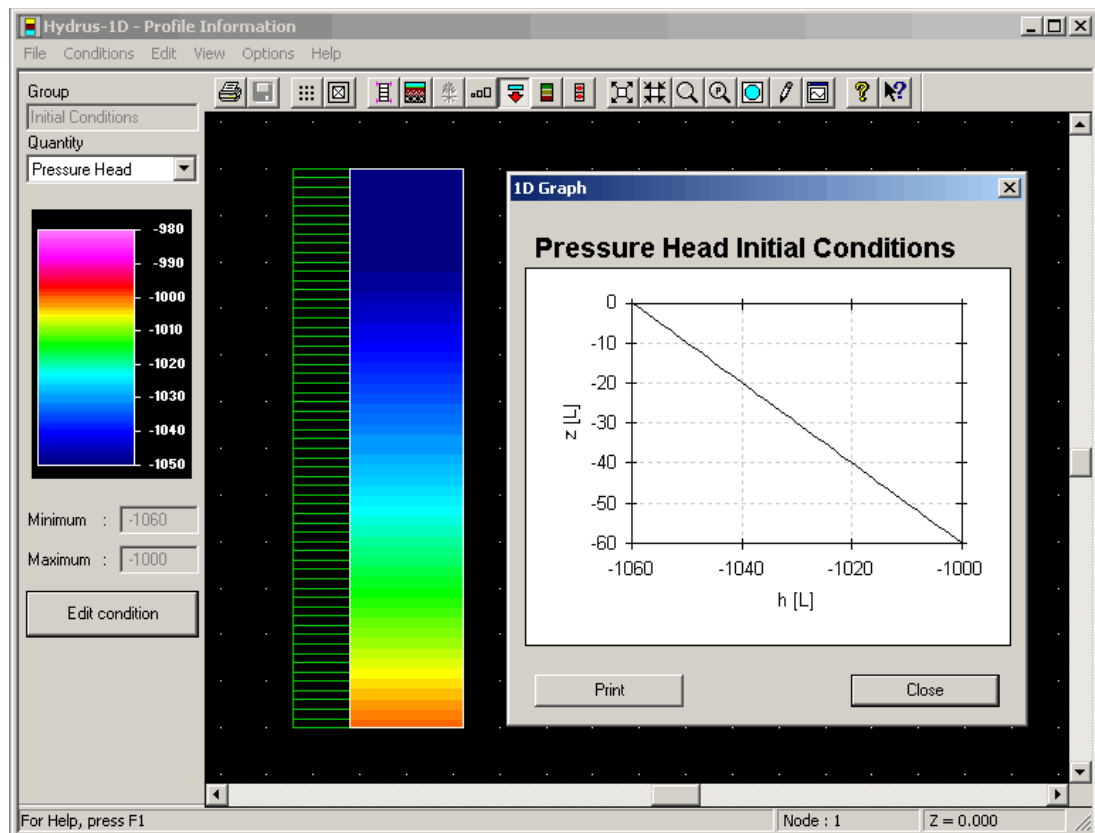
### **Hydrus 1D**

El programa resuelve numéricamente la ecuación de Richards para el flujo de agua insaturada-saturada y las ecuaciones de dispersión de advección basadas en Fickian para el transporte de calor y solutos. Se puede usar para analizar el agua y el movimiento de solutos en medios porosos insaturados, parcialmente saturados o totalmente saturados.

Las propiedades hidráulicas del suelo insaturado se describen utilizando van Genuchten [1980], Brooks y Corey [1964] y las funciones analíticas modificadas de van Genuchten. Se hicieron modificaciones para mejorar la descripción de las propiedades hidráulicas cercanas a la saturación. El código HYDRUS incorpora histéresis utilizando el modelo empírico introducido por Scott et al. [1983]

y Kool y Parker [1987]. Este modelo supone que las curvas de barrido de secado se escalan a partir de la curva de secado principal, y las curvas de escaneo de mojado de la curva de humectación principal (PC-PROGRESS, 2008).

**Figura 15.** Descripción gráfica software Hydrus 1D.

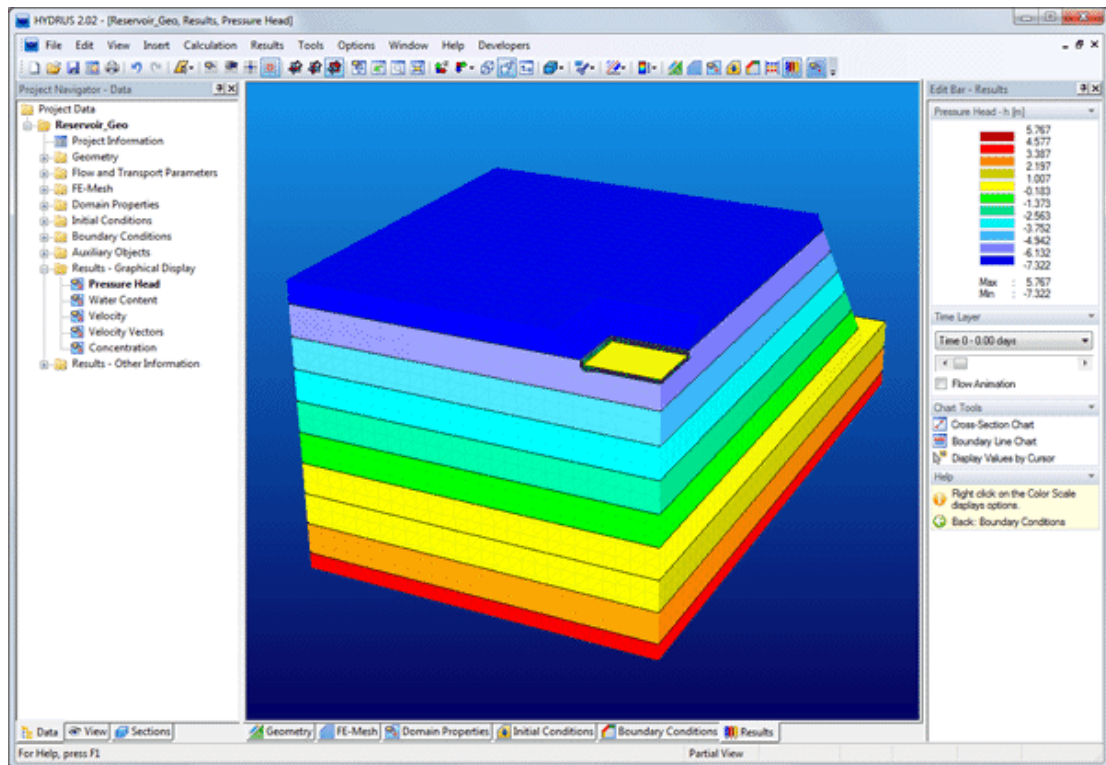


**Fuente.** Šimůnek, J., and M. Th. van Genuchten (1999)

Hydrus-1D (Šimůnek et al., 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 (1989) 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.

## Hydrus 2D/3D

Figura 16. Descripción gráfica software Hydrus 2D/3D



Fuente. Šimůnek, J., and M. Th. van Genuchten (1999).

La corriente HYDRUS (2D / 3D) de la suite de software y sus predecesores tienen una larga historia. El origen de estos modelos se remonta a los primeros trabajos del Dr. Shlomo Neuman y colaboradores (por ejemplo, Neuman, 1972) que 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 para simular el flujo de agua en los dominios de variables bidimensionales saturados 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 (1983) de la Universidad de Arizona, Tucson, de manera que el modelo podría ser ejecutado en ordenadores personales.

## Procesos simulados

Ambos modelos HYDRUS se pueden utilizar para simular el movimiento de agua, el calor, y múltiples solutos en medios variablemente saturado. Ambos programas utilizan elementos finitos lineales para resolver numéricamente la ecuación de Richards para el flujo de agua saturada de insaturado y basados en Fickian ecuaciones de dispersión advección tanto para calor y soluto transporte. La ecuación de flujo también incluye un término fregadero para tener en cuenta la absorción de agua por las raíces de la planta como una función tanto de agua y estrés por salinidad. Las propiedades hidráulicas del suelo no saturado pueden describirse utilizando van Genuchten, Brooks y Corey, modificado van Genuchten, Kosugi, y funciones analíticas de tipo Durner. La ecuación de transporte de calor considera la conducción, así como la advección con agua que fluye. Las ecuaciones de transporte de solutos asumen el transporte por convección-dispersivo en la fase líquida, y la difusión en la fase gaseosa. Las ecuaciones de transporte incluyen además disposiciones para no lineal y / o reacciones de no equilibrio entre las fases sólidas y líquidas, reacciones de equilibrio lineal entre las fases líquida y gaseosa, la producción de orden cero, y dos reacciones de degradación de primer orden: una que es independiente de otros solutos, y uno que proporciona el acoplamiento entre los solutos que participan en reacciones secuenciales primeros decaimiento orden (Šimůnek et al., 1998).

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. (F.C. Vitéry., 2017), (Pérez Gastón., 1996).

A raíz de ésta investigación, se eligió el software Hydrus-1D elaborado por Šimůnek, J., M. Šejna, y M. Th. van Genuchten. (1998), para realizar la modelación del transporte de plaguicidas e insecticidas en el suelo, ya que cuenta con características que se adaptan a los requerimientos del proyecto, además es un software de fácil manejo y de licencia gratuita, siendo de esta manera factible utilizarlo y con el cual se podrían obtener resultados favorables para el desarrollo de dicha investigación.

## 5.4 MARCO LEGAL

En la actualidad existen diversos lineamientos políticos nacionales e internacionales, mediante los cuales se pretende una regulación al uso de sustancias químicas como los plaguicidas e insecticidas, con el fin de brindar protección al medio ambiente, seres humanos y las diferentes especies tanto de flora como de fauna.

### ❖ **Marco normativo Internacional**

En el ámbito internacional de la normativa ambiental es un tema que se ha venido desarrollando desde hace mucho tiempo, de tal manera que se han firmado convenios, protocolos y tratados entre diversas 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.

De acuerdo con Loaiza C, A. 2005., las orientaciones internacionales se ubican en diferentes categorías. Algunas están como acuerdos de intenciones, otras son más de carácter consultivo que regulador, y una gran mayoría tienen el propósito de unificar criterios en la producción y el manejo adecuado de los recursos. A continuación, destaca algunos lineamientos políticos internacionales establecidos para el cuidado del medio ambiente.

- **Cumbre de la tierra**

En 2002, las Naciones Unidas (ONU) realizaron la Cumbre Mundial de la Tierra, en Johannesburgo (Sudáfrica), donde se retomaron las anteriores resoluciones propias de la Asamblea General de la ONU y de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Desarrollo. Se reafirmó la necesidad permanente de lograr un equilibrio entre el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como pilares interdependientes del desarrollo sostenible que se refuerzan mutuamente. Se ratificó también que los objetivos principales del desarrollo sostenible y los requisitos esenciales para lograrlo son: la erradicación de la pobreza, la modificación de modelos de producción y consumo insostenibles, y la protección y ordenación de los recursos naturales que sirven de base al desarrollo económico y social.



- **Código internacional de conducta para la distribución y uso de plaguicidas**

Este código es un instrumento jurídico aprobado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación -FAO (1996), y tiene como objetivo: “promover las prácticas que fomenten el uso seguro y eficaz de los plaguicidas, lo que implica, entre otras cosas, la reducción al mínimo de los efectos perjudiciales para los seres humanos y el ambiente, así como la prevención del envenenamiento accidental provocado por la manipulación impropia de los mismos”

Además, señala la responsabilidad que tienen los países en la distribución, utilización y manejo de los plaguicidas, y establece el deber de asumir facultades específicas para regular y atribuir una alta prioridad a estas acciones, así como de asignar recursos suficientes a la tarea de regular eficazmente la disponibilidad, distribución y utilización de los plaguicidas en los respectivos países.

- **Directrices de Londres**

Las denominadas Directrices de Londres se originaron de una decisión del Consejo Directivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA en 1989, con el objetivo general de mejorar el manejo y la manipulación de sustancias químicas en todos los países, mediante el intercambio de información científica, técnica, económica y jurídica sobre sustancias químicas que son un componente importante del comercio internacional.

Entre los principios generales de las Directrices de Londres están:

- Intercambiar información científica sobre los riesgos asociados con las sustancias químicas para proteger la salud humana y el ambiente.
- Sin obstaculizar el comercio internacional, considerar los intereses ambientales y de salud.
- Aplicar las mismas normas tanto a los productos químicos que se producen para uso interno, como a los de exportación.

- **Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT)**

Este Registro Internacional fue creado en 1974, por idea del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, alusiva a que debería existir una organización que recogiera la información científica y legal sobre químicos tóxicos en una base central de datos, y pusiera esa información a disposición de todas las personas y entes interesados, principalmente sus países miembros.

Para lograr estos objetivos, el Instituto de las Naciones Unidas en Capacitación e Investigación, ha establecido un programa conjunto con el Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos RIPQPT, el cual se concentra exclusivamente en la implementación de las Directrices de Londres, y en el PIC, como componente principal de ellos.

- **Regulación y Control en los Estados Unidos**

En este país existen regulaciones de tipo Federal (nacional) y de tipo Estatal (departamental). En las primeras se incluyen los estándares de plaguicidas (tolerancias, niveles máximos de contaminación y niveles aconsejables de residuos) como las restricciones de uso; en las segundas, se incluyen los mismos estándares y restricciones de uso, con mucha más exigencia que la contraparte Federal.

En general, los plaguicidas son regulados para prevenir daños directos a los consumidores de productos agrícolas y para proteger ecosistemas, a pesar de que esta regulación es un fenómeno reciente en los Estados Unidos. El establecimiento de tolerancias de plaguicidas para los productos agrícolas fue primero autorizado bajo la Ley Federal de Alimentos, Drogas y Cosméticos de 1954 (“Federal, Food, Drug and Cosmetic Act” FFDCA).

- **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.

- **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.

➤ ***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.

❖ **Marco normativo nacional**

En Colombia se han establecido lineamientos políticos sobre el uso y manejo de sustancias químicas, siguiendo en alguna medida la influencia de políticas internacionales como las de Estados Unidos, pero sin la misma capacidad de regulación y control. Por tal motivo ha logrado observarse que el uso de estos contaminantes en actividades como la agricultura o la ganadería, tienen un uso desmesurado, que ha generado problemáticas ambientales a lo largo del tiempo.

Lo anterior se debe a diversos factores, tales como:

- Gran número y dispersión de normas que deben hacer cumplir muchas instituciones.
- escasos recursos técnicos y logísticos disponibles.
- falta de coordinación interinstitucional.
- especificidad de las normas, y desconocimiento de las mismas en el ámbito regional y local.

➤ **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 adscritos. En la tabla 11, se señalan las principales normas expedidas en Colombia, relacionadas con los plaguicidas.

**Tabla 11.** Norma Colombiana relacionada con 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 926 de 1994 del ICA	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 929 de 1994 del ICA	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.
	Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes,


Resolución del ICA 3079 de 1995	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 1023, del 28 de abril de 1997	Por la cual se dictan disposiciones sobre la distribución, comercialización y venta de insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para siembra
Resolución No. 01681 del 15 de julio de 2002 del ICA	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 (T. solanivora), 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 funguicida Benlate O.D y 0385 correspondiente al funguicida 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 Desarrollo Territorial	Por la cual se establecen criterios y requisitos que deben ser considerados para los Planes de Gestión de Devolución de Productos Pos-consumo de Plaguicidas.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Se realizó una encuesta a diferentes propietarios de cultivos de fresa, ubicados en la vereda de Monte dentro, con el fin de identificar los plaguicidas e insecticidas y las concentraciones aplicadas a los cultivos (figura 17).

Figura 17. Encuesta aplicada sobre el uso de plaguicidas e insecticidas.

 ENCUESTA PARA EL PROYECTO "MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS EN SUELOS DE CULTIVO DE FRESA MEDIANTE EL SOFTWARE HYDRUS-1D EN LA VEREDA DE MONTEADENTRO PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" 		
PAMPLONA NORTE DE SANTANDER PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA		
OBJETIVO: Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa.		
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 fresa _____ (Ha)?		
2. ¿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.		
3. ¿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 fresa _____?		
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de fresa _____?		
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de fresa _____?		
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. Bacheloth, 2017

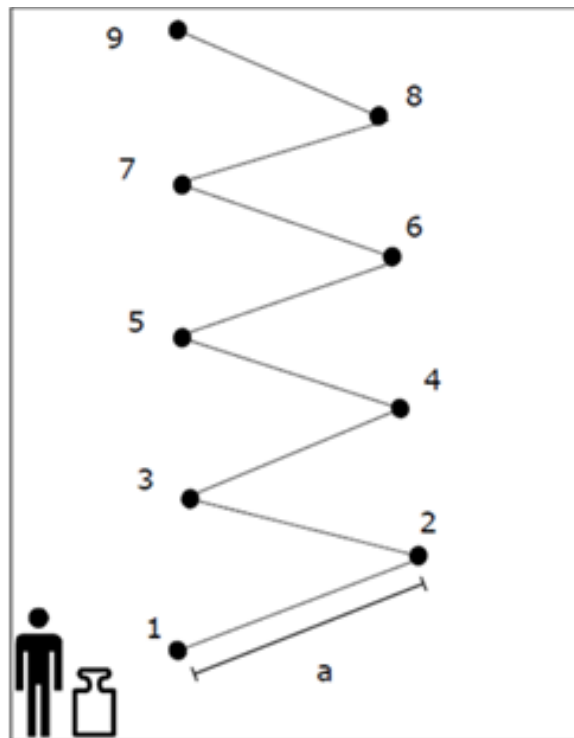
## 6.2 MUESTREO

El muestreo se realizó en dos diferentes zonas ubicadas en la vereda de monte dentro, en las cuales están situados los cultivos de fresa objeto del estudio, con autorización previa de los propietarios se procedió a realizar un análisis del suelo, identificando el tipo y perfil de suelo, la ubicación de la ladera y la inclinación, ya que estos factores inciden en la infiltración que se presenta en el terreno, para realizar el muestreo se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

### 6.2.1 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó fue en forma de zig-zag (figura 18), ya que es el más adecuado y sencillo, porque permite que la toma de las muestras abarque de forma simétrica el área del terreno cultivado, además con esta metodología se puede lograr una mejor ubicación de los puntos de muestreo.

**Figura 18.** Método sistemático de transecto fijo con la ayuda adicional de un posicionador global (GPS).



Fuente. Jaime Mejías B. (2001)



### **6.2.2 Puntos de muestreo**

Teniendo en cuenta la topografía del terreno se escogieron 5 puntos acordes para la toma de muestras, el número de puntos dependió del área del terreno, este número de puntos fue suficiente para tomar las muestras de suelo abarcando en total el área de cada cultivo.

Para la elección del área de muestreo se tuvo 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).
- ❖ Presencia de rocas, cuerpos de agua, entre otros factores.

### **6.2.3 Número y toma de muestras**

La toma de muestras se realizó en dos cultivos de fresa, el total de muestras se tomaron en cada uno de los puntos de muestreo (cinco) a profundidades de 10 cm, para realizar las pruebas de granulometría y caracterización fisicoquímica. Por otra parte, para realizar las pruebas de cromatografía en cada uno de los cultivos de fresa se tomó solo un punto de muestreo, del cual se recopilaban dos muestras a profundidades de 0-20 cm, esto debido a que las concentraciones de agentes químicos se localizan generalmente con mayor intensidad en la parte superficial del suelo.

Para tomar los datos de campo necesarios para la modelación en el software Hydrus-1D, en cada uno de los cultivos de fresa, se tomó un punto o columna de suelo, con una profundidad de 100 cm en la cual se identificaron las texturas presentes en esa columna de suelo, necesarias para obtener diferentes parámetros mediante el software.

### 6.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

Se realizó el análisis de parámetros físicos y químicos tales como:

#### ❖ Ph

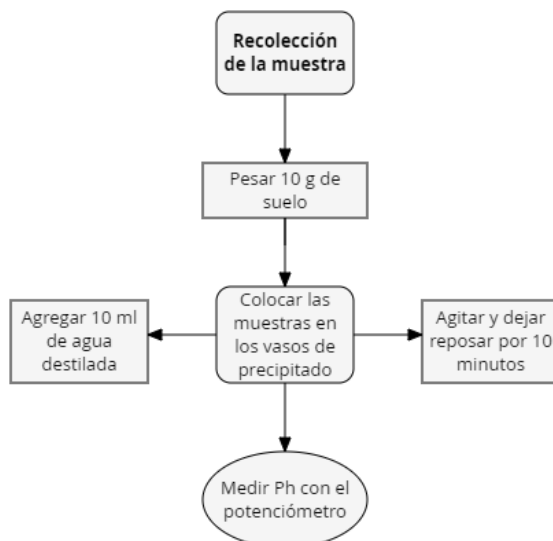
##### Material y equipo

- Muestras de suelo.
- Balanza analítica.
- Vasos de precipitado de 25 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Potenciómetro.
- Agua destilada.
- Agitador.

##### **procedimiento**

Se pesan 10 gramos de la muestra recolectada y se coloca en un vaso de precipitado de 25 ml. Se agrega 10 ml de agua destilada y se agita con agitador de vidrio, por último, se deja reposar por 10 minutos y se mide el valor de pH introduciendo el potenciómetro en el vaso de precipitado con la muestra. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 1.

**Diagrama 1.** Procedimiento de Ph



**Fuente.** Bacheloth, 2017

## ❖ Humedad

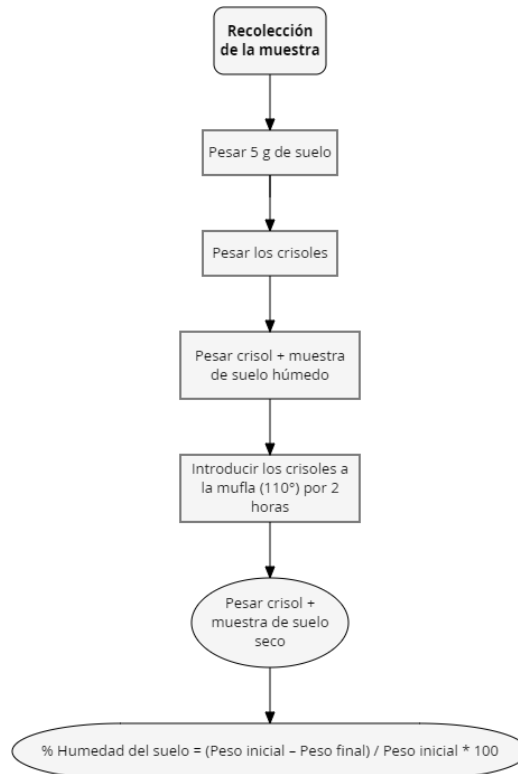
### Material y equipo

- Muestras de suelo.
- Balanza analítica.
- Espátula.
- Crisoles.
- Estufa.

### **Procedimiento**

Se pesan 5 gramos de la muestra, se pesa el crisol en el que se va a disponer la pequeña porción de muestra que ha sido pesada, se coloca la muestra en el crisol y se pesa nuevamente, seguidamente se introduce el crisol en una mufla con temperatura de 110°C por un lapso de tiempo de dos horas. Transcurrido este tiempo se saca el crisol de la mufla y se coloca en un desecador para que se enfríe, por último, se pesa el crisol nuevamente esta vez con la muestra seca. Se procede a aplicar la ecuación correspondiente para hallar el porcentaje de humedad. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 2.

**Diagrama 2.** Procedimiento de humedad.



**Fuente.** Bacheloth, 2017

## ❖ Textura

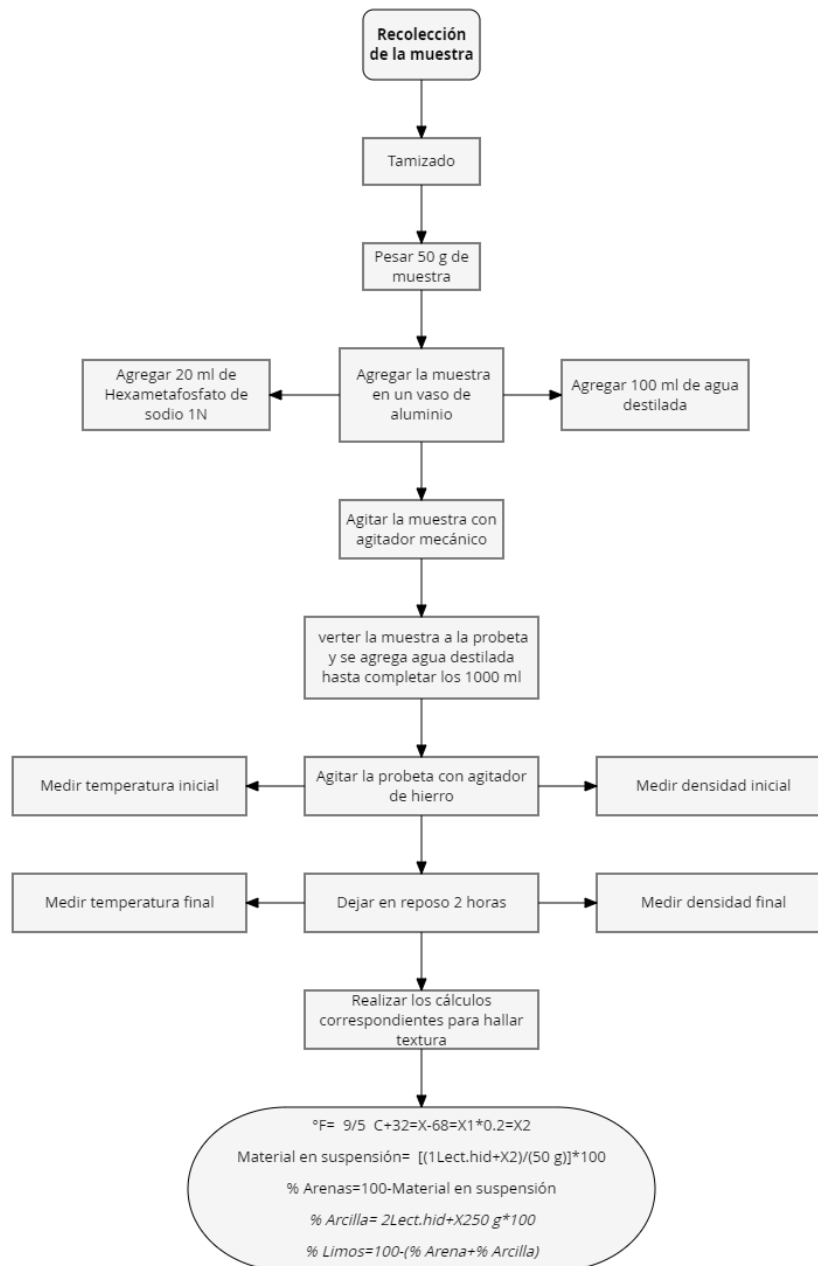
### Material y equipo

- Hexametafosfato de sodio 1 N.
- Agua destilada.
- Probetas de 1000 ml.
- Tamiz de 2 mm.
- Vasos de aluminio.
- Muestras de suelo
- Agitador eléctrico.
- Agitador de hierro.
- Termómetro.
- Hidrómetro.

### **Procedimiento**

La muestra recolectada se pasa por un tamiz de malla N°10 (2mm de diámetro), se pesan 50 gramos de muestra tamizada y se coloca en un vaso de aluminio, seguidamente se agrega 20 ml de Hexametafosfato de sodio 1N más 100 ml de agua destilada, se agita con agitador mecánico y se vierte a una probeta de 1000 ml, se agita nuevamente con agitador de hierro y se mide la temperatura y densidad inicial. Por último, se deja en reposo dos horas, transcurrido este tiempo se toma la temperatura y densidad final, se procede a realizar los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de arcilla, arena y limo, para definir la textura del suelo. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 3.

**Diagrama 3. Procedimiento de textura**



**Fuente. Bacheloth, 2017**

## ❖ Color

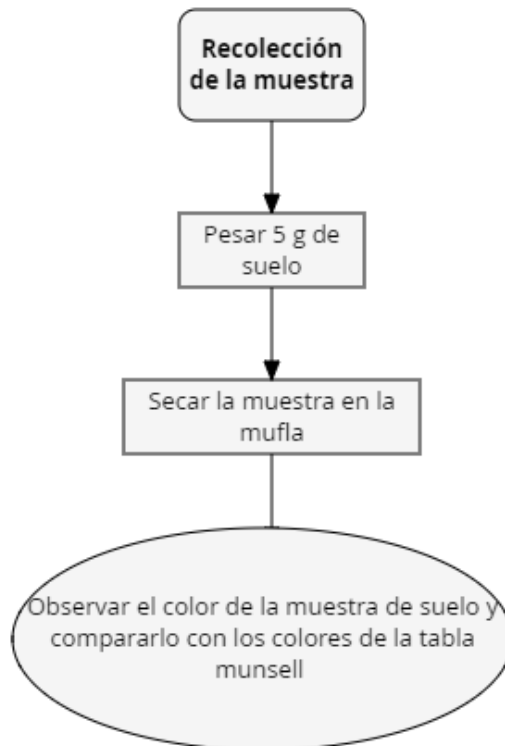
### Material y equipo

- Muestras de suelo seco.
- Tabla munsell.

### **Procedimiento**

Se pesan 5 gramos de la muestra problema, se colocan en un crisol o copa de aluminio y se lleva a la mufla para que la muestra se seque. Después de sacar la muestra de la mufla, se lleva al desecador para que se enfríe. Por último, se procede a comparar el color de la muestra con los colores representados en la tabla munsell. De esta manera, se puede identificar el color que presenta el suelo. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 4.

**Diagrama 4.** Procedimiento de color.



**Fuente.** Bacheloth, 2017

## ❖ Permeabilidad e infiltración

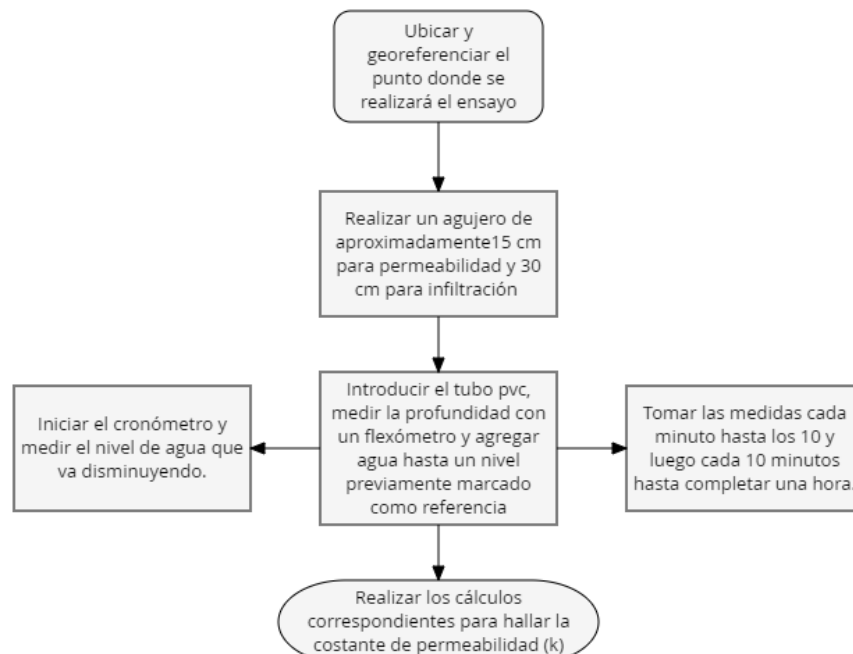
### Material y equipo

- Balde.
- Tubo pvc de 3”.
- Flexómetro.
- Cronómetro.

### Procedimiento

Se ubica y se georreferencia un punto donde se realizará el ensayo, se realiza un agujero de aproximadamente 15 cm para permeabilidad y 30 cm para infiltración, se introduce un tubo PVC de 3 o 4 pulgadas y se mide la profundidad útil para cada caso, seguidamente se agrega agua hasta un nivel previamente referenciado, se inicia en conteo con el cronómetro y se mide el nivel del agua que va disminuyendo. Las mediciones pueden hacerse cada minuto hasta el tiempo 10 y luego cada 5 o 10 minutos hasta llegar a los 60. Teniendo la información de campo, se procede a realizar los cálculos para hallar la constante de permeabilidad y la tasa de infiltración del suelo. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 5.

**Diagrama 5.** Procedimiento de permeabilidad e infiltración



**Fuente.** Bacheloth, 2017

➤ **Permeabilidad – Método de Gilg-Gavard, nivel variable**

Se introduce un volumen de agua en el instante inicial, y posteriormente se mide la evolución de la recuperación.

En este caso, se utiliza la expresión (ecuación 1), de igual forma se utiliza un factor de forma para distintos casos, el cual puede observarse en la ecuación 2 y la ecuación 3.

**Ecuación 1.** Permeabilidad Método de Gilg-Gavard.

$$K = \frac{1,308 * d^2}{A * hm} * \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Donde:

$K$  = Permeabilidad (cm/s)

$\Delta h$  = Bajada del nivel (metros) en un tiempo  $\Delta t$

$\Delta t$  = Intervalo de tiempo (minutos) en el que hemos medido el descenso  $\Delta h$

$d$  = Diámetro de la entubación (metros)

$hm$  = altura del agua por encima del nivel inicial (metros), en este caso, el nivel medio en el intervalo  $\Delta t$

$A$  = Factor de forma, según Custodio, 1983, p. 971:

**Ecuación 2.** Factor de forma para  $L > 6m$

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

**Ecuación 3.** Factor de forma para  $L \leq 6m$

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

$L$  = Longitud de la zona filtrante (metros)

$d$  = Diámetro de la zona filtrante (metros)



➤ **Infiltración - Método de Porchet**

Para la estimación de la tasa de infiltración en terreno se puede utilizar el método de Porchet, el cual consiste en excavar un cilindro de radio R y se llenarlo con agua hasta una altura h.

En la ecuación 4 se observa la fórmula general para hallar la tasa de infiltración por el método de Porchet.

**Ecuación 4.** Infiltración Método de Porchet

$$f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$$

Donde:

*f* = Tasa de infiltración (cm/min)

*R* = Radio de la entubación o agujero (cm)

$\Delta t$  = Intervalo de tiempo (minutos) en el que hemos medido el descenso  $\Delta h$

$\Delta h$  = Bajada del nivel (metros) en un tiempo  $\Delta t$

**Métodos de ajuste de la ecuación de Porchet**

➤ **Horton**

El modelo de Horton, permite simular la curva de capacidad de infiltración del suelo. Es un modelo de tipo empírico, que se basa en conceptos simplificados que permiten expresar la capacidad de infiltración como una función del tiempo, de constantes empíricas y parámetros del suelo. La expresión de Horton se puede observar en la (Ecuación 5). Los parámetros  $f_0$  y  $k$ , dependen del contenido de agua inicial del suelo, así como también la tasa de aplicación. Los parámetros de la ecuación se evalúan usualmente desde datos de infiltración experimentales (Haan *et al.*, 1982).

**Ecuación 5.** Modelo de ajuste de Infiltración - Horton

$$fp = fc + (f_0 - fc) * e^{-kt}$$

Donde:

$f_p$  = Capacidad de infiltración (mm/h)

$f_c$  = Capacidad final o equilibrio (mm/h)

$f_o$  = Capacidad inicial (mm/h)

$k$  = Coeficiente de decrecimiento de la capacidad de infiltración en el tiempo

$t$  = Tiempo (min)

### ❖ Capacidad de intercambio catiónico

#### Material y equipo

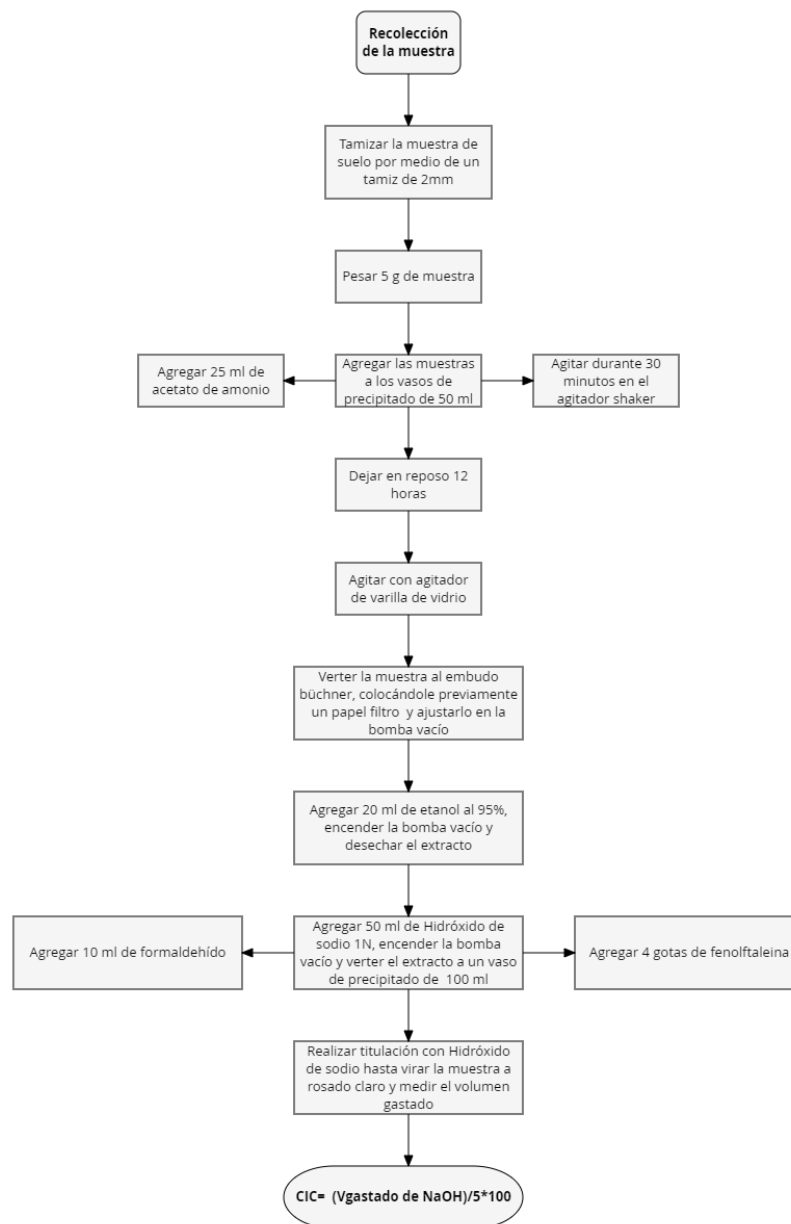
- Vasos de precipitado de 50 ml.
- Vasos de precipitado de 100 ml.
- Papel filtro.
- Agitador varilla de vidrio.
- Embudo Büchner.
- Bomba de vacío.
- Agitador shaker.
- Hidróxido de Sodio 1N.
- Acetato de amonio 1N.
- Etanol 95%.
- Fenolftaleína.
- Formaldehído.
- Agua destilada.

#### **Procedimiento**

Se tamiza la muestra recolectada por medio de un tamiz de malla N°10 (2mm de diámetro), se toman 5 gramos de muestra tamizada y se coloca en un vaso de precipitado de 50 ml, se agregan 25 ml de Acetato de amonio, se agita con agitador mecánico durante 30 minutos y se deja en reposo durante 12 horas. Transcurrido el tiempo de reposo se agita la muestra con agitador de vidrio y se vierte al embudo Büchner el cual tiene un papel filtro, se ajusta el embudo a la bomba de vacío y se procede a extraer la muestra sin residuos de suelo desechando el extracto, se agregan 20 ml de etanol al 95% repitiendo el procedimiento anterior, seguidamente se agregan 50 ml de Hidróxido de sodio 1N, se enciende la bomba de vacío nuevamente y el extracto recogido se vierte en un vaso de precipitado de 100 ml, a esta solución se le agrega 10 ml de Formaldehído y 4 gotas de Fenolftaleína. Finalmente se realiza la prueba de titulación con Hidróxido de sodio hasta virar la

muestra a rosado claro, se toma la medida del volumen gastado y se procede a realizar los cálculos necesarios para determinar la capacidad de intercambio catiónico. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 6.

**Diagrama 6.** Procedimiento de Capacidad de intercambio catiónico.



Fuente. Bacheloth, 2017

## ❖ Granulometría

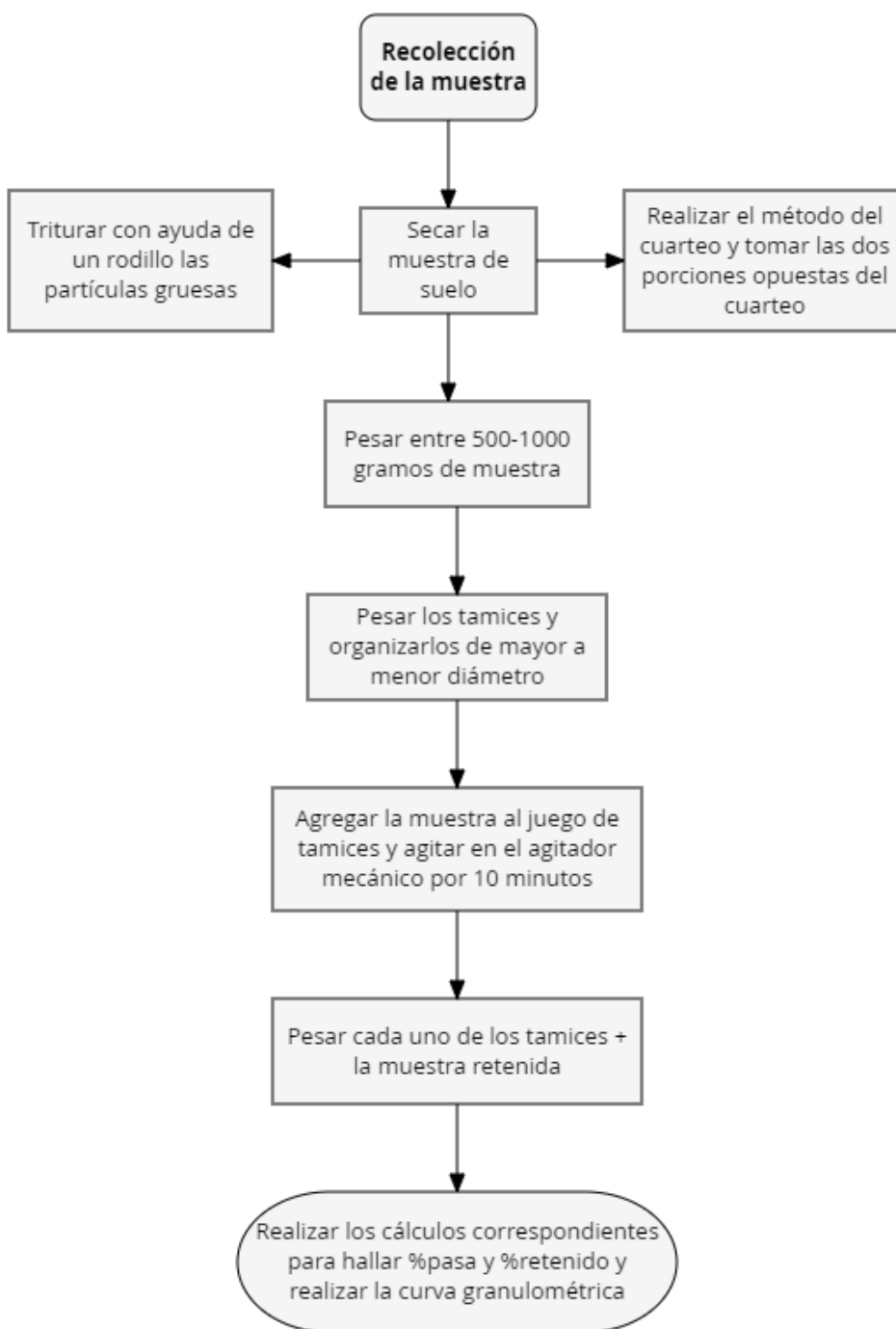
### Material y equipo

- Juego de tamices.
- Balanza analítica.
- Brocha.
- Muestras de suelo.
- Agitador mecánico.
- Rodillo.

### **Procedimiento**

Secar a temperatura ambiente la muestra recolectada en la zona de estudio, triturar con ayuda de un rodillo las partículas gruesas, realizar el método del cuarteo y tomar las dos partes opuestas del cuarteo, seguidamente se pesan 500 gramos de muestra y se vierte dentro de los tamices previamente pesados y ubicados de mayor a menor diámetro, se agitan los tamices en agitador mecánico durante 10 minutos, después de transcurrido el tiempo de pesa cada uno de los tamices con la muestra de suelo retenida y se procede a realizar los cálculos pertinentes para determinar el tamaño de las partículas de suelo y se realiza la curva granulométrica correspondiente. El esquema metodológico de éste procedimiento puede observarse en el diagrama 7.

**Diagrama 7.** Procedimiento de granulometría.



**Fuente.** Bacheloth, 2017

## 6.4 EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA

### Material y equipo

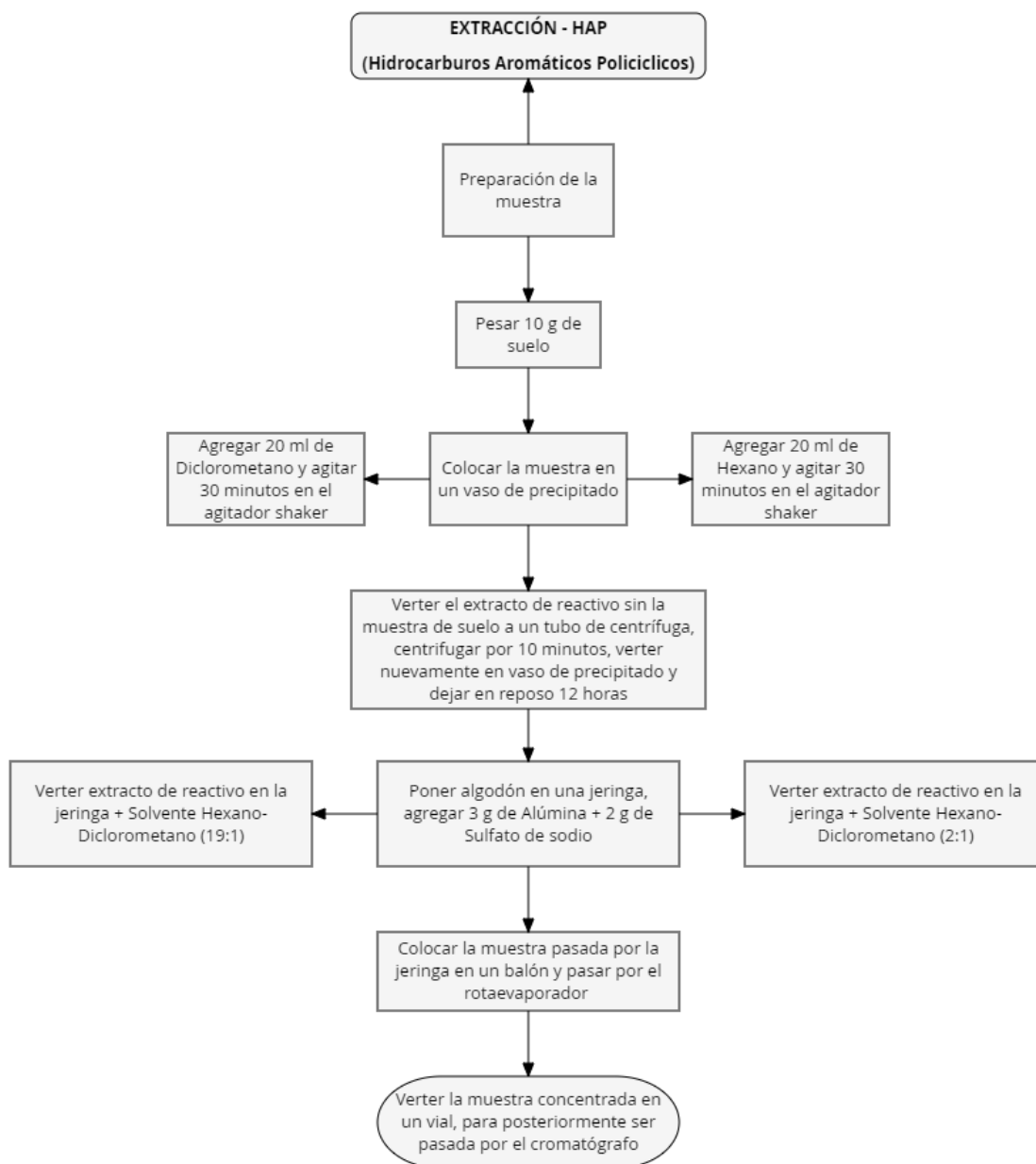
- Muestras de suelo.
- Vasos de precipitado.
- Agitador varilla de vidrio.
- Agitador Shaker.
- Centrífuga.
- Tubos de centrífuga.
- Diclorometano.
- Hexano.
- Alúmina.
- Sulfato de sodio.
- Pipeta.
- Jeringas.
- Balanza analítica

### **Muestra y preparación del suelo no contaminado**

La muestra del suelo blanco, libre de plaguicidas, se tomó del horizonte superficial de 0-10 cm en la vereda monte dentro, dicho terreno no tiene antecedentes de aplicación de plaguicidas. Se secó a temperatura ambiente y se tamizó por una malla N°10. El suelo fue caracterizado como un suelo franco arenoso y ligeramente ácido, las demás características del suelo no contaminado son detalladas en los resultados.

Las muestras con aplicación de plaguicidas fueron preparadas mediante el método de extracción HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos), dicho procedimiento se detalla en el diagrama 8. Seguidamente se procedió a la determinación de plaguicidas e insecticidas organoclorados, mediante un cromatógrafo GC Hewlett-Packard (HP) / 6890 Plus / 2000 dotado con puerto de inyección split/splitless, sistema de inyección automática, columnas capilares, controles electrónicos de presión y sistema de datos Asterix. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Diagrama 8.** Procedimiento de extracción HAP.



**Fuente.** Bacheloth, 2017

## 6.5 MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS

La modelación en el software Hydrus, 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 de campo**

Se obtendrán los datos de campo necesarios para la modelación en el software, como las propiedades hidráulicas y textura del suelo de cada uno de los cultivos propuestos para llevar a cabo la investigación, así como las variables meteorológicas tales como precipitación y evaporación requeridas por el software.

- **Simulación**

Se procede a realizar la simulación con los datos obtenidos, con la cual se pueda detallar el comportamiento de los plaguicidas e insecticidas en el suelo.

El software Hydrus-1D resuelve numéricamente la ecuación de Richards para el flujo de agua insaturada-saturada y las ecuaciones de dispersión de advección basadas en Fickian para el transporte de calor y solutos. El programa se puede usar para analizar el agua y el movimiento de solutos en medios porosos insaturados, parcialmente saturados o totalmente saturados. Para el transporte de solutos, el código admite tanto las condiciones de contorno prescrito (constante y variable) prescrito (Dirichlet o primer tipo) como el flujo de concentración (Cauchy o tercer tipo) (PC-Progress, 2008).



➤ **Ecuación de Richards**

**Ecuación 6.** Ecuación de Richards

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

$K$  = Conductividad hidráulica

$h$  = Cabezal matricial inducido por la acción capilar

$z$  = Elevación sobre un punto de referencia vertical

$\theta$  = Contenido volumétrico de agua

$t$  = Tiempo

➤ **Ecuación de Fickian**

**Ecuación 7.** Ecuación de Fickian

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} E_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - R$$

$c$  = Concentración

$t$  = Tiempo

$U_i$  = Velocidad media

$R$  = Tasa de reacción

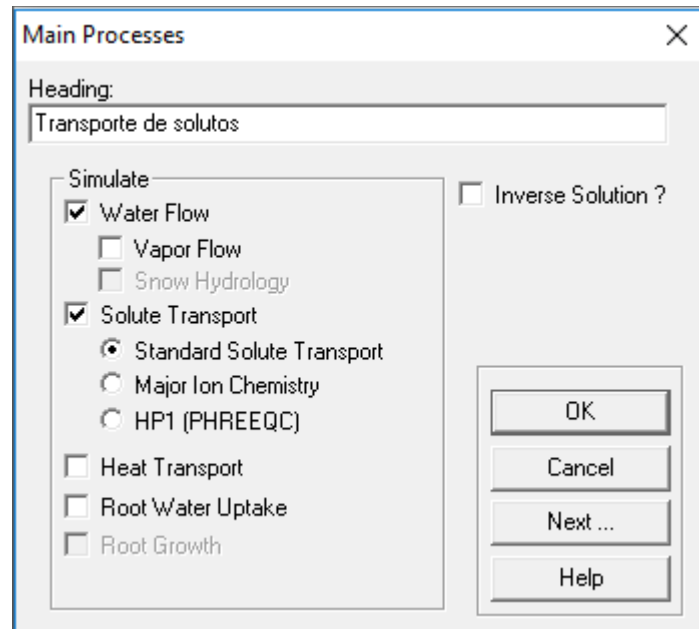
$E_i$  = Coeficiente de difusión

En la aplicación del modelo de simulación en el software Hydrus-1D se realizó el siguiente procedimiento:

➤ **Procesos principales**

Para especificar que variable se desea analizar se ingresa a *Main Processes* y se selecciona alguna de las opciones, tal como se muestra en la figura 19.

**Figura 19.** Procesos principales.

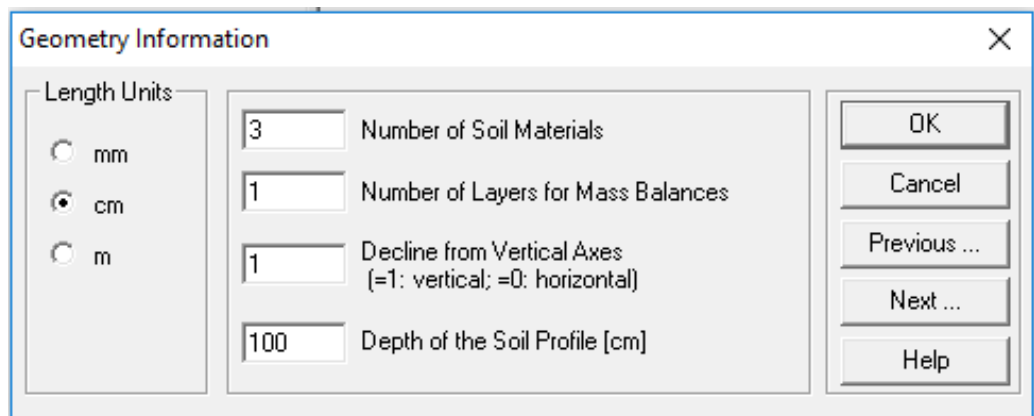


Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Información geométrica**

Después de especificar el tipo de flujo que se desea simular, se procede a definir las unidades de longitud, número de materiales o texturas del suelo y la profundidad del perfil del suelo, las cuales se establecen en la ventana *Geometry Information* (figura 20).

**Figura 20.** Información geométrica



Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Discretización de tiempo**

En la ventana *Time Information* (figura 21), se definen las unidades del tiempo, tiempo inicial, tiempo final y número de variables del tiempo (evaporación y precipitación).

**Figura 21.** Información del tiempo

**Fuente.** Bacheloth, 2017

➤ **Criterios de Iteración y asignación de la condición inicial**

En la ventana de criterios de iteración (figura 22), se define en qué se medirá la condición inicial la cual puede ser en cabeza de presión o contenido de agua, además, se establece el número máximo de iteraciones que utilizará el software. En ésta ventana, los valores fueron dejado por default, ya que es lo recomendable.

**Figura 22.** Criterios de Iteración

Section	Parameter	Value
Iteration Criteria	Maximum Number of Iterations	10
	Water Content Tolerance	0.001
	Pressure Head Tolerance [cm]	1
Time Step Control	Lower Optimal Iteration Range	3
	Upper Optimal Iteration Range	7
	Lower Time Step Multiplication Factor	1.3
	Upper Time Step Multiplication Factor	0.7
Internal Interpolation Tables	Lower Limit of the Tension Interval [cm]	1e-006
	Upper Limit of the Tension Interval [cm]	10000

Fuente. Bacheloth, 2017

### ➤ **Parámetros del medio poroso**

En esta sección, primero se seleccionó el modelo de van Genuchten modificado, seguidamente se selecciona *Next* para ingresar las propiedades del suelo a simular, en la ventana de parámetros del medio poroso (figura 23). Se procede a ingresar las texturas del suelo teniendo en cuenta el *Soil Catalog* del software, de ésta manera se establecen parámetros determinados dependiendo del tipo de suelo. Los parámetros predeterminados que se generan dependiendo del material del suelo son:

- Qr = Humedad residual
- Qs = Humedad de saturación
- l = Conectividad de poros
- Alpha = Parámetro de ajuste de la curva característica del suelo
- n = Parámetro de ajuste de la curva característica del suelo
- Ks = Conductividad hidráulica saturada

**Figura 23.** Parámetros del medio poroso

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/days]	l [-]
1	0.065	0.41	0.075	1.89	106.1	0.5
2	0.067	0.45	0.02	1.41	10.8	0.5
3	0.095	0.41	0.019	1.31	6.24	0.5

Soil Catalog: Sandy Loam Neural Network Prediction  Temperature Dependence

Buttons: OK, Cancel, Previous ..., Next ..., Help

Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Parámetros del transporte de solutos**

En esta sección, se procede a introducir los parámetros del transporte de solutos para cada tipo de suelo, dentro de las cuales se encuentra principalmente densidad del suelo y más adelante se introducen parámetros como coeficiente de partición y coeficiente de degradación, en este caso, del plaguicida o insecticida.

**Figura 24.** Parámetros del transporte de solutos

Soil Specific Parameters:					Solute Specific Parameters:		
Mat	Bulk.D.	Disp.	Frac = 1	Thlm = 0	Sol	Diffus. W.	Diffus. G.
1	1.55	1	1	0	1	1	0
2	1.45	1	1	0	2	1	0
3	1.33	1	1	0	3	1	0

Buttons: OK, Cancel, Previous ..., Next ..., Help

Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Variable de tiempo y condiciones de contorno**

En la ventana de variables del tiempo y condiciones de contorno (figura 25), se ingresan las series de tiempo de las variables precipitación y evaporación y el número de días de simulación, en éste caso se tomó 365 días. Estas variables de tiempo utilizadas en el software pueden observarse en el ANEXO III.

**Figura 25.** Variable de tiempo y condiciones de contorno

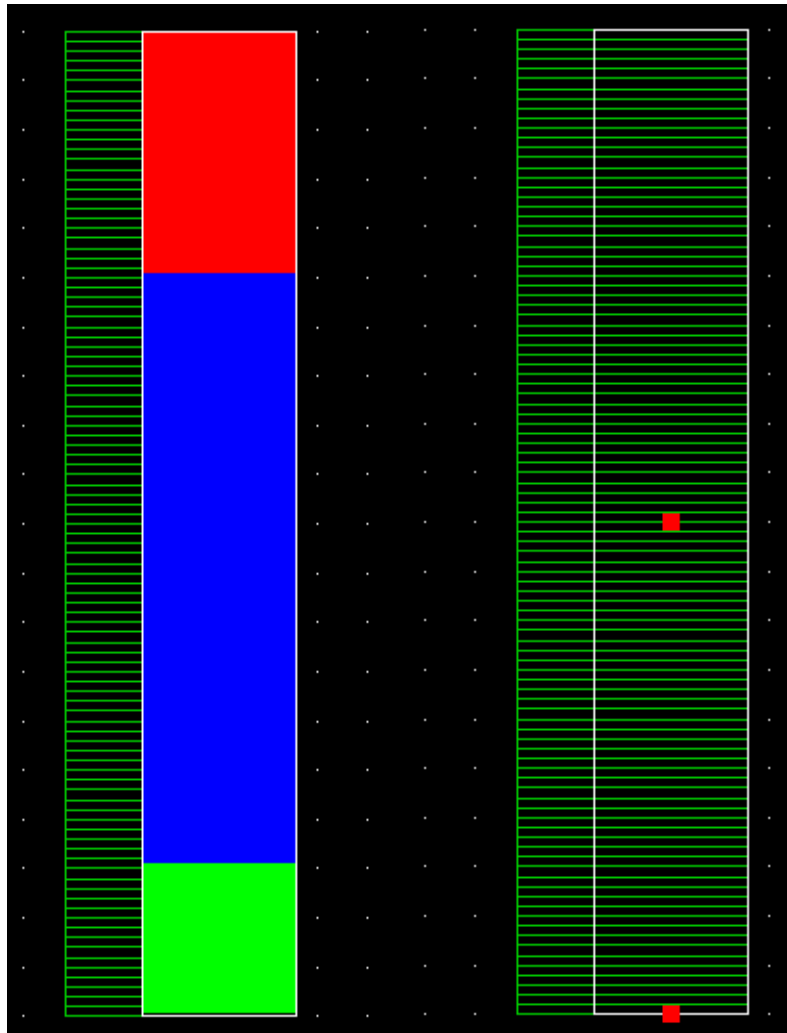
	Time [days]	Precip. [cm/days]	Evap. [cm/days]	hCritA [cm]	cTop - 1	cBot - 1	cTop - 2
1	1	1	0	100000	1	0	0
2	2	1.9	3.2	100000	0	0	0
3	3	0	3.8	100000	0	0	0
4	4	0	0.9	100000	0	0	0
5	5	0	2.4	100000	0	0	0
6	6	0.4	2.2	100000	0	0	0
7	7	0	4.2	100000	0	0	0
8	8	0	3.8	100000	0	0	0
9	9	1.4	3	100000	0	0	0
10	10	0.1	2.3	100000	0	0	0
11	11	0.9	0	100000	0	0	0
12	12	1.2	3	100000	0	0	0
13	13	0	3.3	100000	0	0	0
14	14	0	3.9	100000	0	0	0

Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Perfil del suelo y puntos de observación**

Seguidamente se procedió a realizar la representación gráfica del perfil del suelo, en el cual se especifican las diferentes texturas que presenta la columna de suelo y su profundidad, de igual manera, se especifican los puntos de observación para observar el comportamiento de los solutos en las profundidades especificadas para cada punto.

**Figura 26.** Representación gráfica del perfil del suelo



Fuente. Bacheloth, 2017

Finalmente se obtuvo las gráficas de concentraciones y las curvas de transporte de los contaminantes a lo largo del perfil de las dos columnas de suelo establecidas inicialmente, las cuales se detallan en el inciso de los resultados.

## **6.6 PROPUESTA PARA EL MANEJO DE CONTAMINANTES**

El desarrollo de la propuesta para el manejo de los contaminantes utilizados y encontrados en el suelo de los cultivos de fresa, se detalla en el inciso de los RESULTADOS.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 ENCUESTA

La encuesta realizada proporcionó información sobre los insecticidas y plaguicidas más utilizados en los cultivos de fresa, además de las dosis aplicadas por los agricultores, las cuales se detallan en la tabla 12. Mediante estos datos se puede observar que en la mayoría de los casos las dosis aplicadas son mucho más altas que las dosis recomendadas. Por tal motivo podrían presentarse alteraciones al suelo y a los cultivos. Los resultados de la encuesta aplicada se pueden observar en el ANEXO I.

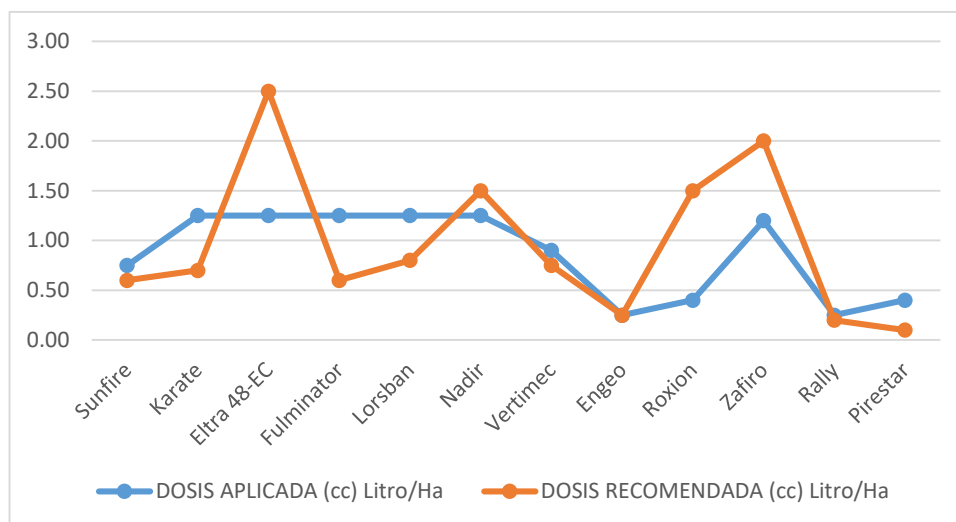
**Tabla 12.** Dosis de plaguicidas aplicada vs recomendada

PLAGUICIDAS E INSECTICIDAS	DOSIS APLICADA (cc) Litro/Ha	DOSIS RECOMENDADA (cc) Litro/Ha
Sunfire	0.75	0.60
Karate	1.25	0.70
Eltra 48-EC	1.25	2.50
Fulminator	1.25	0.60
Lorsban	1.25	0.80
Nadir	1.25	1.50
Vertimec	0.90	0.75
Engeo	0.25	0.25
Roxion	0.40	1.50
Zafiro	1.20	2.00
Rally	0.25	0.20
Pirestar	0.40	0.10

Fuente. Bacheloth (2017)



**Figura 27.** Dosis de plaguicidas aplicada vs recomendada



Fuente. Bacheloth (2017)

## 7.2 ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

### 7.2.1 pH

Los valores medidos de pH y plasmados en la tabla 13, indicaron que el cultivo de fresa ubicado en el predio el Desgredo, presenta un suelo ligeramente ácido y podría encontrarse una buena disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, el cultivo del predio el saladito, presenta un suelo fuertemente ácido, lo que podría indicar una posible toxicidad por elevada presencia de Aluminio y deficiencia de algunos nutrientes como Ca, K, Mg, N, P y S, por otro lado, puede deberse a exceso en el uso de agroquímicos que acidifican el suelo, poco contenido de materia orgánica y escasa actividad bacteriana. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 13.** pH

CULTIVO	# MUESTRA	pH
Fresa - El Saladito	1	5.10
	2	5.15
	3	4.93

	4	4.83
	5	4.61
Fresa - El Desgreo	6	6.46
	7	5.59
	8	6.41
	9	6.57
	10	6.61
Suelo No Contaminado	11	5.91

Fuente. Bacheloth (2017)

### 7.2.2 Humedad

En la tabla 14 se puede observar que la humedad en el suelo de los cultivos es relativamente alta, esto se puede presentar debido a las precipitaciones presentadas antes de la recolección de la muestra, además del riego constante que mantienen los agricultores a los cultivos. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

Tabla 14. Humedad.

CULTIVO	# MUESTRA	%HUMEDAD
Fresa - El Saladito	1	38.89
	2	40.06
	3	38.89
	4	36.99
	5	32.63
Fresa - El Desgreo	6	51.98
	7	40.45
	8	49.70
	9	50.60
	10	51.98
Suelo No Contaminado	11	32.63

Fuente. Bacheloth (2017)

### 7.2.3 Textura

Los resultados de textura establecidos en la tabla 15, muestran para el suelo de los cultivos un suelo franco, en la mayoría de los casos franco arenoso y en un solo caso, arenoso franco. Por su textura equilibrada, así como por mejores características físicas y químicas, este tipo de suelo es el más apto para cultivar, ya que la mayoría de las especies de plantas se desarrolla de manera adecuada en este tipo de terreno.

Por otro lado, también se determinó la textura para las muestras tomadas en los horizontes del perfil del suelo, especificadas como A, B, C y corresponde a profundidades variables de una columna de suelo de 100 cm. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 15.** Textura

Predio	N° Muestra	Mat. Suspensión	% Arenas	% Arcilla	% Limos	TEXTURA
El Saladito	1	30.9	69	14	17	Franco arenoso
	2	34.9	65	17	18	Franco arenoso
	3	44.9	55	11	34	Franco arenoso
	4	27.3	73	12	15	Franco arenoso
	5	35.3	65	16	19	Franco arenoso
	A	33.2	58	15	18	Franco arenoso
	B	35.6	35	38	27	Franco arcilloso
	C	40.2	55	42	8	Arcillo arenoso
El Desgredo	6	23.3	77	10	13	Franco arenoso
	7	17.3	83	6	11	Arenoso franco
	8	25.3	75	12	13	Franco arenoso
	9	33.3	67	14	19	Franco arenoso
	10	29.3	71	14	15	Franco arenoso
	A	38.3	37	40	29	Franco arcilloso
	B	19.5	60	28	12	Franco Arcillo arenoso
	C	40.9	57	89	46	Arcillo limoso
Suelo No Contaminado	11	32.9	67	19	14	Franco arenoso

Fuente. Bacheloth (2017)

#### 7.2.4 Color

En la tabla 16 se presentan los colores de suelo de los diferentes cultivos, en la mayoría de los casos el color predominante fue el marrón fuerte, esto puede deberse a la presencia de materia orgánica que se descompone en humus y se asocia con tonalidades oscuras, y contribuye a que este tipo de suelo presente una buena fertilidad. Por otra parte, se presentaron colores como amarillo rojizo y rojo amarillento, los cuales se asocian con alteración de los materiales parentales, alta liberación de Fe de las rocas, indica condiciones de meteorización, pH ácidos y ambientes de oxidación. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 16.** Color

CULTIVO	# MUESTRA	Color
Fresa - El Saladito	1	Marrón fuerte
	2	Marrón fuerte
	3	Marrón fuerte
	4	Amarillo rojizo
	5	Marrón fuerte
Fresa - El Desgreco	6	Marrón fuerte
	7	Marrón fuerte
	8	Marrón fuerte
	9	Marrón fuerte
	10	Amarillo rojizo
Suelo No Contaminado	11	Rojo amarillento

Fuente. Bacheloth (2017)

#### 7.2.5 Permeabilidad e infiltración

En la tabla 17 se logra observar los valores de permeabilidad resultantes para el cultivo de fresa del predio el saldito, de igual manera la curva de éste parámetro se puede detallar en la figura 28, mediante esta información se puede especificar que

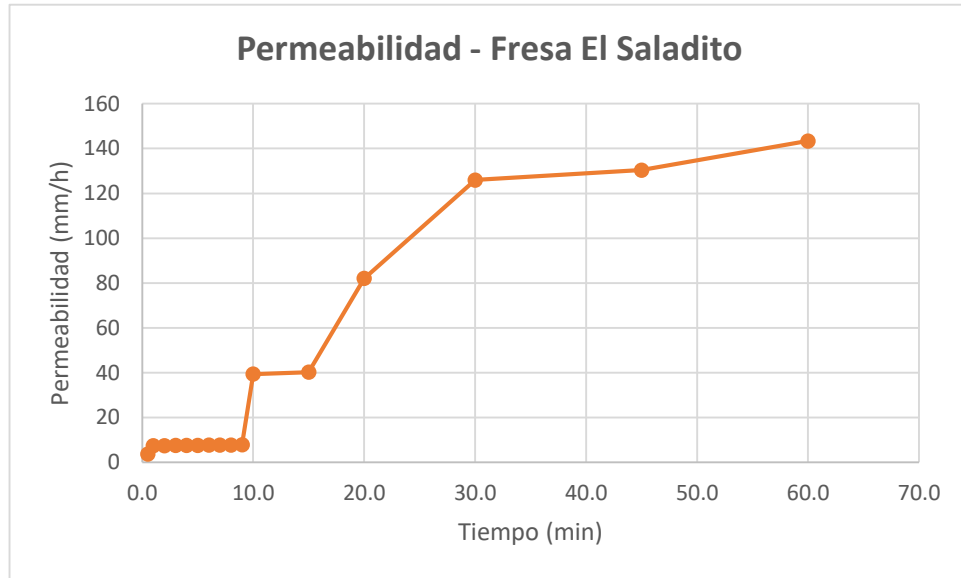
este suelo tiene una buena retención de agua a una profundidad baja, esto debido al porcentaje de arcilla presente en el terreno, la curva se mantuvo casi constante hasta el minuto 9, después de este lapso de tiempo el nivel de agua descendió de manera más rápida, presentando unos picos altos en la gráfica, esto debido a la percolación del agua por las paredes del perfil del suelo. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 17.** Permeabilidad Fresa El Saladito

Permeabilidad Método de Gilg-Gavard nivel variable							
Tiempo (Seg)	H (cm)	D	Lzf	Li	Lf	A	K (mm/h)
0	2.0	0.076	0.048	0.552	0.532	1.143	0
30	2.5	0.076	0.048	0.552	0.527	1.143	4
60	2.9	0.076	0.048	0.552	0.523	1.143	7
120	4.0	0.076	0.048	0.552	0.512	1.143	7
180	4.8	0.076	0.048	0.552	0.504	1.143	8
240	5.5	0.076	0.048	0.552	0.497	1.143	8
300	6.4	0.076	0.048	0.552	0.488	1.143	8
360	7.0	0.076	0.048	0.552	0.482	1.143	8
420	7.6	0.076	0.048	0.552	0.476	1.143	8
480	8.1	0.076	0.048	0.552	0.471	1.143	8
540	8.5	0.076	0.048	0.552	0.467	1.143	8
600	9.2	0.076	0.048	0.552	0.460	1.143	39
900	11.3	0.076	0.048	0.552	0.439	1.143	40
1200	13.3	0.076	0.048	0.552	0.419	1.143	82
1800	15.5	0.076	0.048	0.552	0.397	1.143	126
2700	18.7	0.076	0.048	0.552	0.365	1.143	130
3600	27.0	0.076	0.048	0.552	0.282	1.143	143

Fuente. Bacheloth, 2017

**Figura 28.** Permeabilidad Fresa El Saladito



**Fuente.** Bacheloth, 2017

En la tabla 18 y figura 29 puede observarse los valores y la curva de la infiltración presentada en el cultivo de fresa del predio el saladito, a una mayor profundidad este suelo presenta mayor contenido de arenas, por lo cual, el nivel de agua descendió más rápido en comparación a la prueba de permeabilidad, sobre todo a partir del minuto 20, ya que en este lapso de tiempo existió una saturación parcial del suelo, permitiendo de esta manera que el suelo se encharcara y que existiera una menor retención de agua y por lo tanto una tasa de infiltración mayor a los primeros minutos.

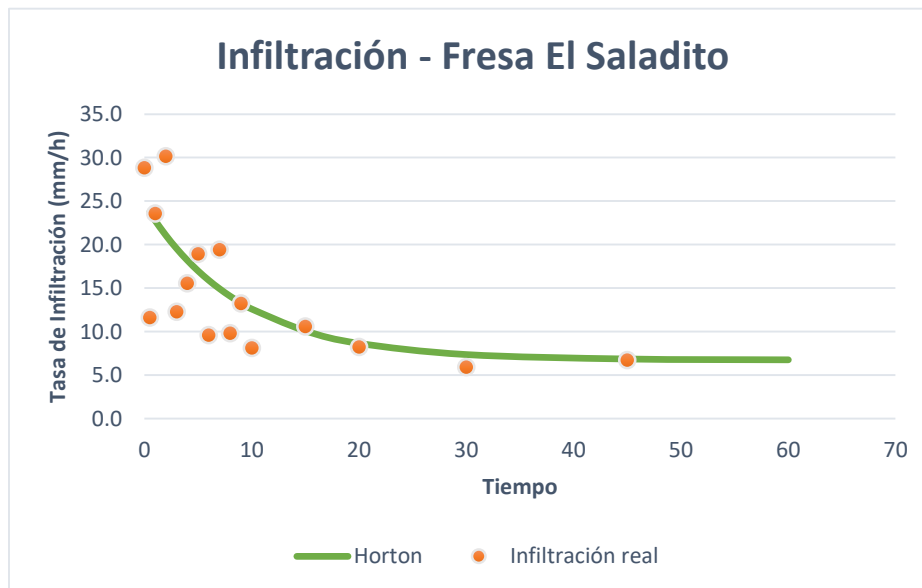
**Tabla 18.** Infiltración Fresa El Saladito

Infiltración Método de Porchet					
Tiempo	h (cm)	Profundidad (cm)	F (cm/min)	F (mm/h)	F-est-Horton
0	2.0	38.0	0	0	0
0.5	2.5	37.5	0.0480	28.8	23.7
1	2.7	37.3	0.0194	11.6	22.8
2	3.5	36.5	0.0393	23.6	21.1
3	4.5	35.5	0.0503	30.2	19.6
4	4.9	35.1	0.0205	12.3	18.2
5	5.4	34.6	0.0259	15.5	17.0
6	6.0	34.0	0.0316	18.9	15.9

7	6.3	33.7	0.0160	9.6	14.9
8	6.9	33.1	0.0324	19.4	14.1
9	7.2	32.8	0.0164	9.8	13.3
10	7.6	32.4	0.0221	13.3	12.6
15	8.8	31.2	0.0136	8.1	10.1
20	10.3	29.7	0.0177	10.6	8.6
30	12.5	27.5	0.0137	8.2	7.4
45	14.7	25.3	0.0099	5.9	6.8
60	17.0	23.0	0.0112	6.7	6.7

Fuente. Bacheloth, 2017

Figura 29. Infiltración Fresa El Saladito



Fuente. Bacheloth, 2017

La permeabilidad presentada en el cultivo de fresa del predio el Desgredo (tabla 19), fue similar a la del predio el Saladito, ya que mantuvo una curva casi constante hasta el minuto 10, ya que mantuvo una buena retención de agua, sin embargo, en el tiempo siguiente aumentó de gran manera la tasa de permeabilidad y el nivel del agua disminuyó de manera más rápida, esto pudo haberse presentado por la percolación del agua a través del perfil del suelo hacia capas más profundas al igual que en el suelo del predio mencionado anteriormente, por tal motivo se presenta un

alza en los picos de la gráfica de permeabilidad, la cual puede observarse en la figura 30.

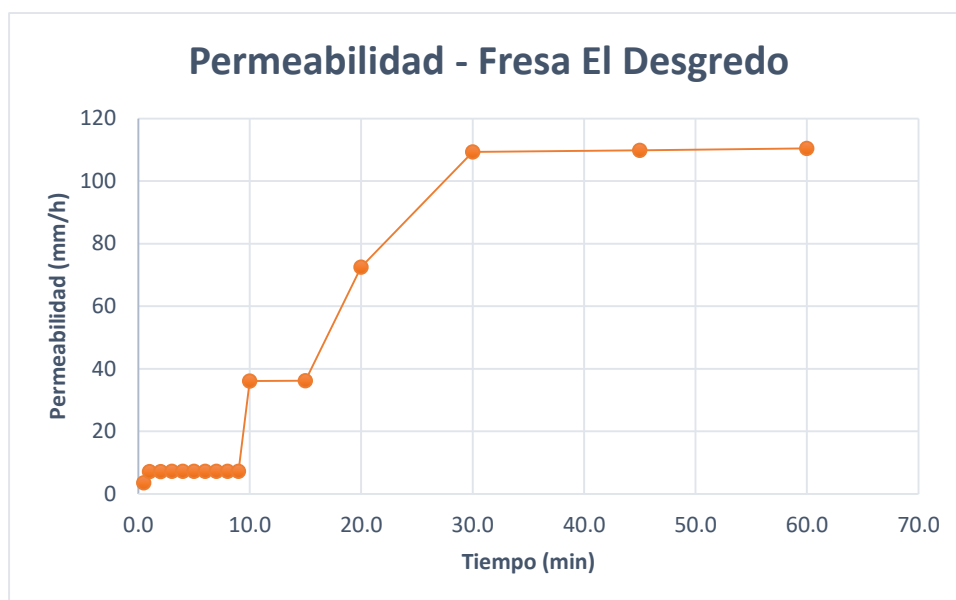
**Tabla 19.** Permeabilidad Fresa El Desgredo

Permeabilidad Método de Gilg-Gavard nivel variable							
Tiempo (Seg)	H (cm)	D	Lzf	Li	Lf	A	K (mm/h)
0	2.5	0.076	0.097	0.548	0.523	1.189	0
30	2.6	0.076	0.097	0.548	0.522	1.189	4
60	2.8	0.076	0.097	0.548	0.520	1.189	7
120	2.8	0.076	0.097	0.548	0.520	1.189	7
180	2.9	0.076	0.097	0.548	0.519	1.189	7
240	3.0	0.076	0.097	0.548	0.518	1.189	7
300	3.1	0.076	0.097	0.548	0.517	1.189	7
360	3.1	0.076	0.097	0.548	0.517	1.189	7
420	3.2	0.076	0.097	0.548	0.516	1.189	7
480	3.3	0.076	0.097	0.548	0.515	1.189	7
540	3.3	0.076	0.097	0.548	0.515	1.189	7
600	3.3	0.076	0.097	0.548	0.515	1.189	36
900	3.6	0.076	0.097	0.548	0.512	1.189	36
1200	3.8	0.076	0.097	0.548	0.510	1.189	72
1800	4.4	0.076	0.097	0.548	0.504	1.189	109
2700	4.9	0.076	0.097	0.548	0.499	1.189	110
3600	5.5	0.076	0.097	0.548	0.493	1.189	110

Fuente. Bacheloth, 2017



**Figura 30.** Permeabilidad Fresa El Desgredo



**Fuente.** Bacheloth, 2017

El suelo del predio el Desgredo presentó una infiltración relativamente baja en comparación al predio el Saladito (tabla 20), esto debido a que presenta mayor contenido de arcillas a mayor profundidad y una mejor retención de agua. En la curva mostrada en la figura 31, se logra observar una tendencia constante en la mayoría de los casos, en algunos datos registrados en tiempos variados se observa un alza en la curva, luego nuevamente desciende y se mantiene constante, por otro lado, cabe resaltar que se presenta una discrepancia bastante significativa y notoria entre la infiltración real y la infiltración estimada por el modelo de ajuste de Horton, lo que indica que esta curva de ajuste no se asemeja o no concuerda con los datos de infiltración real.

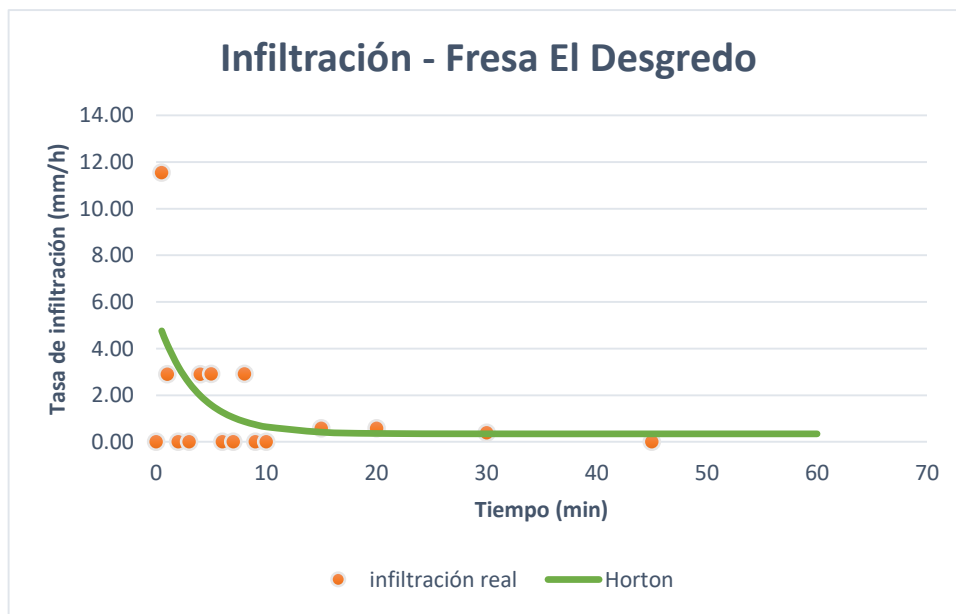
**Tabla 20.** Infiltración Fresa El Desgredo

Infiltración Método de Porchet					
Tiempo	h (cm)	Profundidad (cm)	F (cm/min)	F (mm/h)	F-est-Horton
0	2.5	37.8	0	0	0
0.5	2.5	37.8	0.0000	0.00	4.8
1	2.7	37.6	0.0192	2.93	4.2
2	2.8	37.5	0.0048	2.90	3.2
3	2.8	37.5	0.0000	0.00	2.5
4	2.8	37.5	0.0000	0.00	2.0

5	2.9	37.4	0.0048	2.90	1.6
6	3.0	37.3	0.0049	2.91	1.3
7	3.0	37.3	0.0000	0.00	1.1
8	3.0	37.3	0.0000	0.00	0.9
9	3.1	37.2	0.0049	2.92	0.7
10	3.1	37.2	0.0000	0.00	0.6
15	3.1	37.2	0.0000	0.00	0.4
20	3.2	37.1	0.0010	0.59	0.4
30	3.4	36.9	0.0010	0.59	0.4
45	3.6	36.7	0.0007	0.39	0.4
60	3.6	36.7	0.0000	0.00	0.4

Fuente. Bacheloth, 2017

Figura 31. Infiltración Fresa El Desgreo



Fuente. Bacheloth, 2017

### 7.2.6 Capacidad de intercambio catiónico

En la tabla 17 se presentan los valores de CIC calculados en el suelo de los diferentes cultivos. La CIC es un parámetro importante ya que consiste en la capacidad del suelo para retener ciertos elementos y liberarlos para entregarlos a las plantas, la alta CIC brinda una mayor capacidad de retener nutrientes y por ende

una mayor fertilidad. En los resultados obtenidos se observa una CIC media, es decir, no se presentan valores muy elevados y tampoco muy bajos, en general el suelo de los cultivos presenta una capacidad de intercambio catiónico buena, pero podría mejorarse un poco más con una adecuada fertilización que disminuya la acidez del suelo, ya que este factor influye en la baja CIC de los suelos por la elevada presencia de Aluminio. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 21.** Capacidad de intercambio catiónico

N° Muestra	Vol. gastado de NaOH(ml)	CIC (meq/100 gr)
1	1.8	36
2	1.5	30
3	0.9	18
4	1.1	22
5	1.6	32
6	2.2	44
7	2.2	44
8	1.4	28
9	2.3	46
10	1.6	32
11	2.3	46

Fuente. Bacheloth (2017)

### 7.2.7 Granulometría

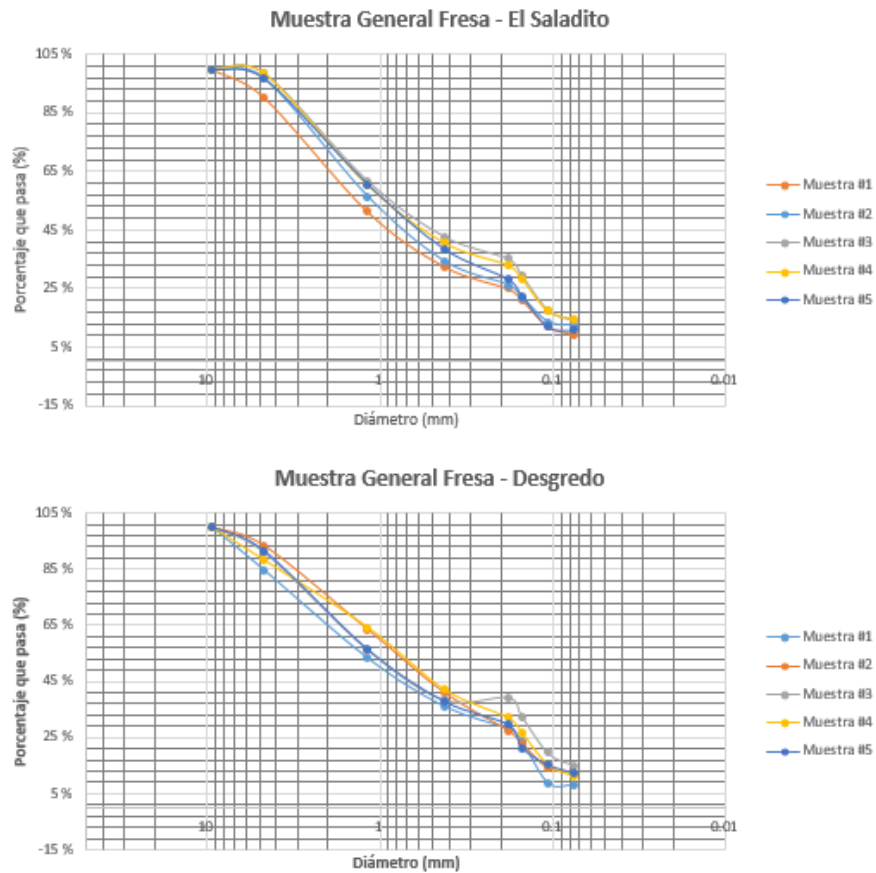
En la figura 20 puede observarse las diferentes curvas granulométricas realizadas a las muestras de suelo de los diferentes cultivos, mediante el proceso de tamizado se establecieron los diámetros de las partículas de suelo, se determinaron los porcentajes de suelo que pasa por un tamiz y el porcentaje retenido, para posteriormente ser graficado. Los coeficientes de uniformidad y curvatura resultantes de la curva granulométrica, pueden observarse en la tabla 18. El procedimiento realizado se puede observar en ANEXO IV.

**Tabla 22.** Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.

# Muestra	D10 (mm)	D30(mm)	D60(mm)	Cu	Cc
1	0.082	0.341	1.680	20.460	0.845
2	0.061	0.295	1.398	22.986	1.023
3	0.053	0.153	1.114	21.151	0.397
4	0.021	0.161	1.170	56.174	1.060
5	0.070	0.221	1.156	16.560	0.607
6	0.110	0.240	1.689	15.371	0.310
7	0.059	0.225	1.062	17.939	0.807
8	0.050	0.141	1.456	29.361	0.277
9	0.066	0.167	1.031	15.724	0.415
10	0.060	0.194	1.441	23.863	0.431
11	0.130	0.464	1.532	11.824	1.085

Fuente. Bacheloth, 2017

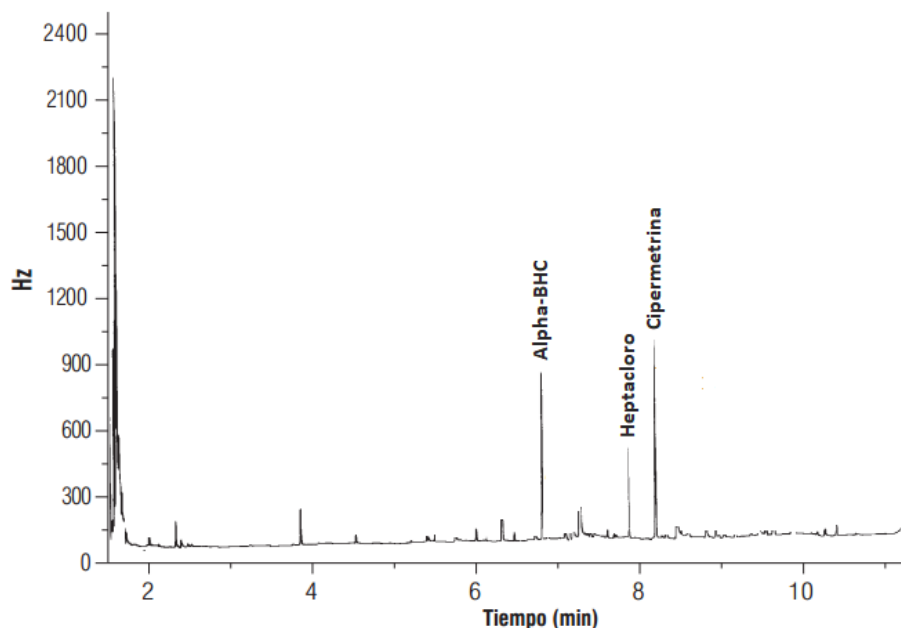
**Figura 32.** Curvas granulométricas.



Fuente. Bacheloth, 2017

### 7.3 DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES POR CROMATOGRAFÍA

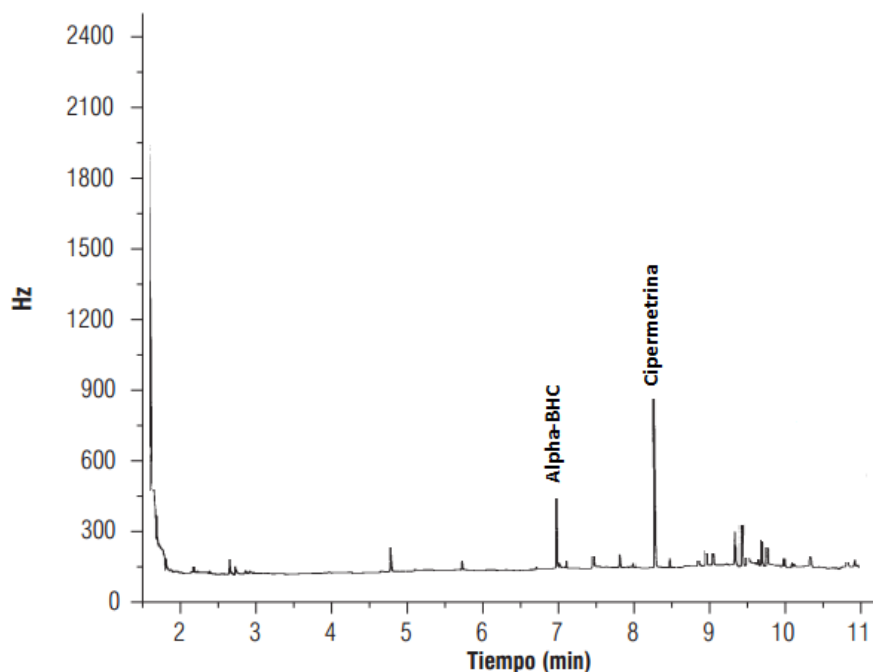
**Figura 33.** Cromatograma muestra de suelo superficial- Predio El Saladito



En la figura 33 y figura 34, se muestran los cromatogramas respectivos al predio el Saladito, obteniendo como resultado para el suelo superficial unos picos que indicaron presencia de Alpha-HBC; Heptacloro, el cual es un compuesto que se adhiere fuertemente a las partículas del suelo y Cipermetrina, la cual es tóxica para las abejas, tiene una persistencia moderada en el suelo y se descompone lentamente por el efecto de la luz solar.

Para la muestra de suelo tomada a una profundidad de 20 cm, se registró presencia de los contaminantes Alpha-BHC, esto puede deberse a diferentes factores, tales como, la precipitación que contribuye a que posiblemente los contaminantes se infiltren hacia capas más profundas del suelo, otro factor puede ser la baja retención de las partículas de la capa superficial del suelo o la alta capacidad de estos contaminantes para transportarse.

**Figura 34.** Cromatograma muestra de suelo a 20 cm - Predio El Saladito

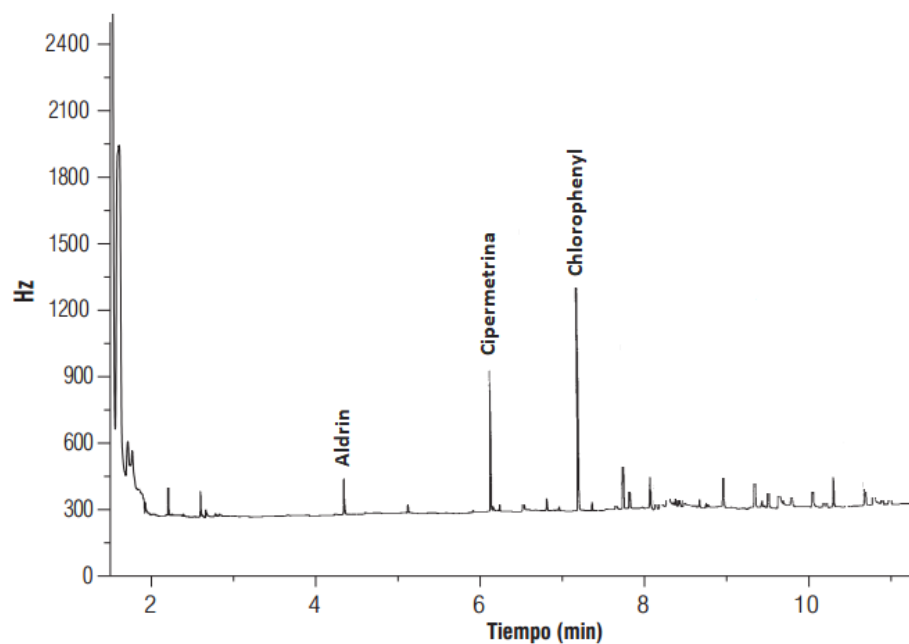


A continuación, se presentan las gráficas correspondientes a los cromatogramas de las muestras de suelo para el predio El Desgredo (figuras 35 y 36). En éste caso, para la muestra de suelo superficial se presentaron picos que indicaron presencia de Aldrín, Chlorophenyl y Cipermetrina, éste último se presentó también en el predio el saladito, esto debido a que es muy común que los agricultores utilicen algunos productos similares.

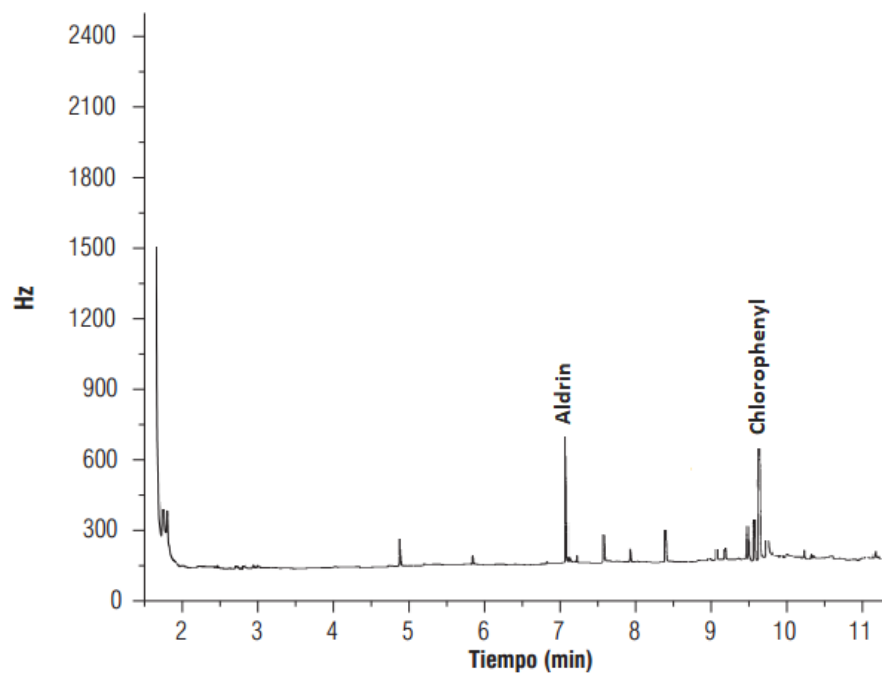
En la muestra de suelo tomada a una profundidad de 20 cm persistieron los compuestos Aldrín y Chlorophenyl, esto se puede presentar por las características del compuesto y del medio, los cuales permiten una persistencia mayor en el suelo y un mejor transporte a través del perfil, logrando de esta manera infiltrarse a mayores profundidades.

Estos contaminantes encontrados representan una afectación al medio ya que tienen un tiempo prolongado de persistencia, son tóxicos para la salud humana y para el medio ambiente.

**Figura 36.** Cromatograma muestra de suelo superficial- Predio El Desgrado



**Figura 35.** Cromatograma muestra de suelo a 20 cm - Predio El Desgrado

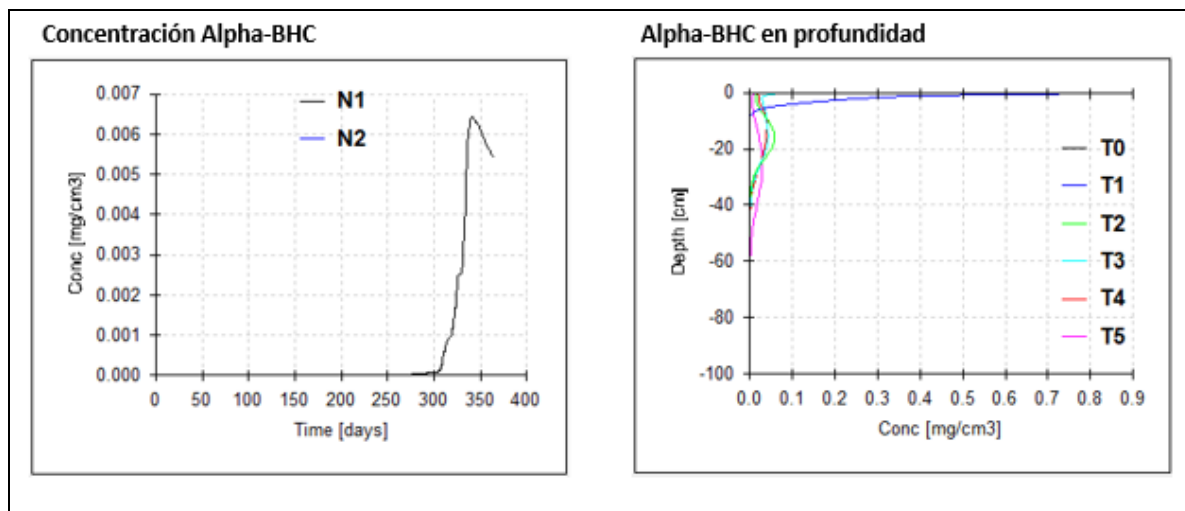


## 7.4 MODELACIÓN EN SOFTWARE HYDRUS-1D

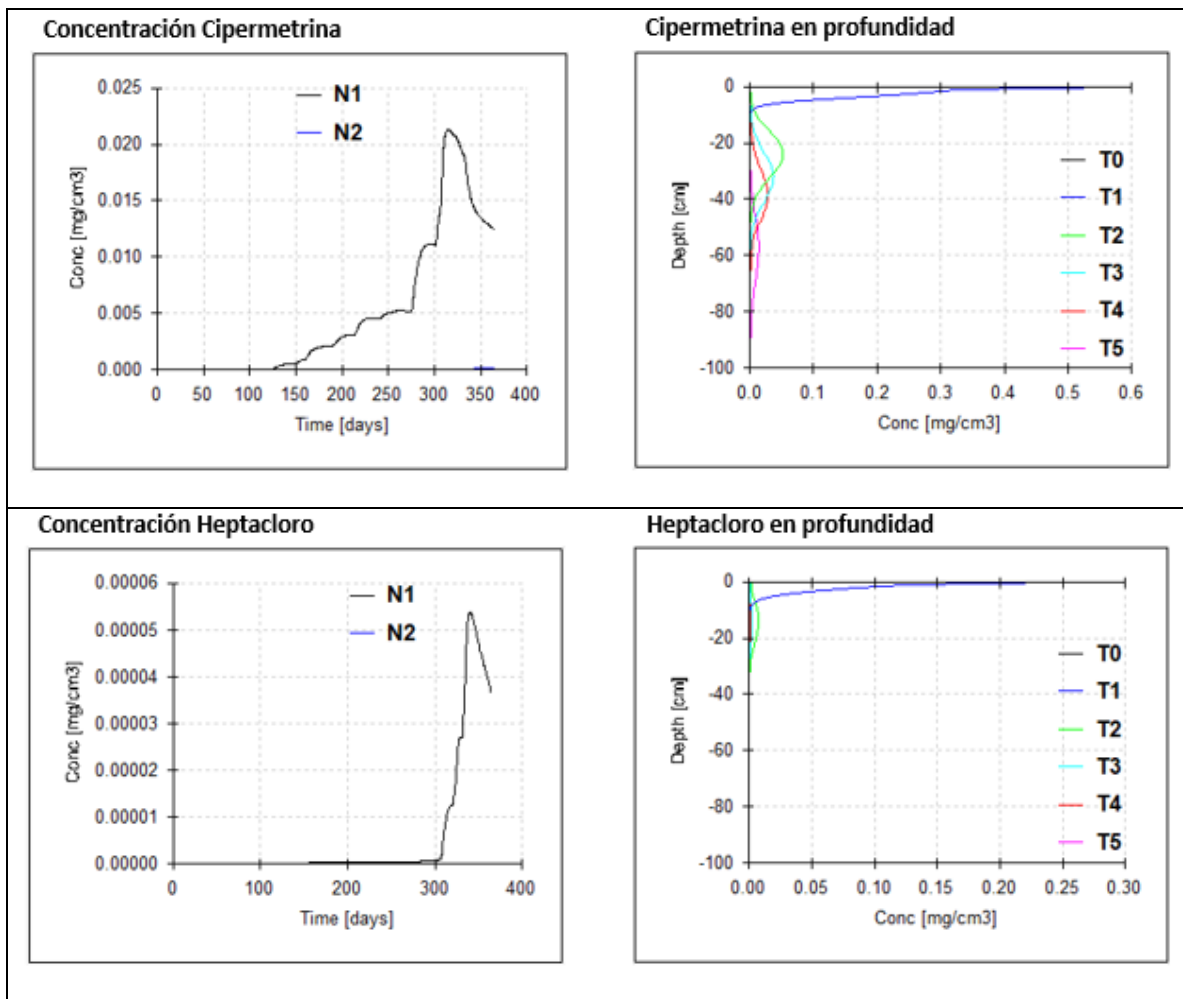
En la figura 37 y figura 38, se observa las concentraciones de cada compuesto en los puntos de observación establecidos y en el perfil de la columna de suelo, para cada uno de los cultivos de fresa.

Los compuestos simulados para el cultivo perteneciente al predio el saladito, presentaron concentraciones que tendrían incidencia hasta el mes de Noviembre, el compuesto que presenta mayor concentración es el Alpha-BHC alcanzando los 0.5 mg/cm<sup>3</sup> para la capa superficial, en segundo lugar, se encuentra la Cipermetrina con una concentración de 0.3 mg/cm<sup>3</sup> para esta misma capa, según la curva de transporte, éste último podría encontrarse en muy pequeñas concentraciones a profundidades de hasta 80 cm.

**Figura 37.** Curvas de transporte del Alpha-BHC, Cipermetrina y Heptacloro



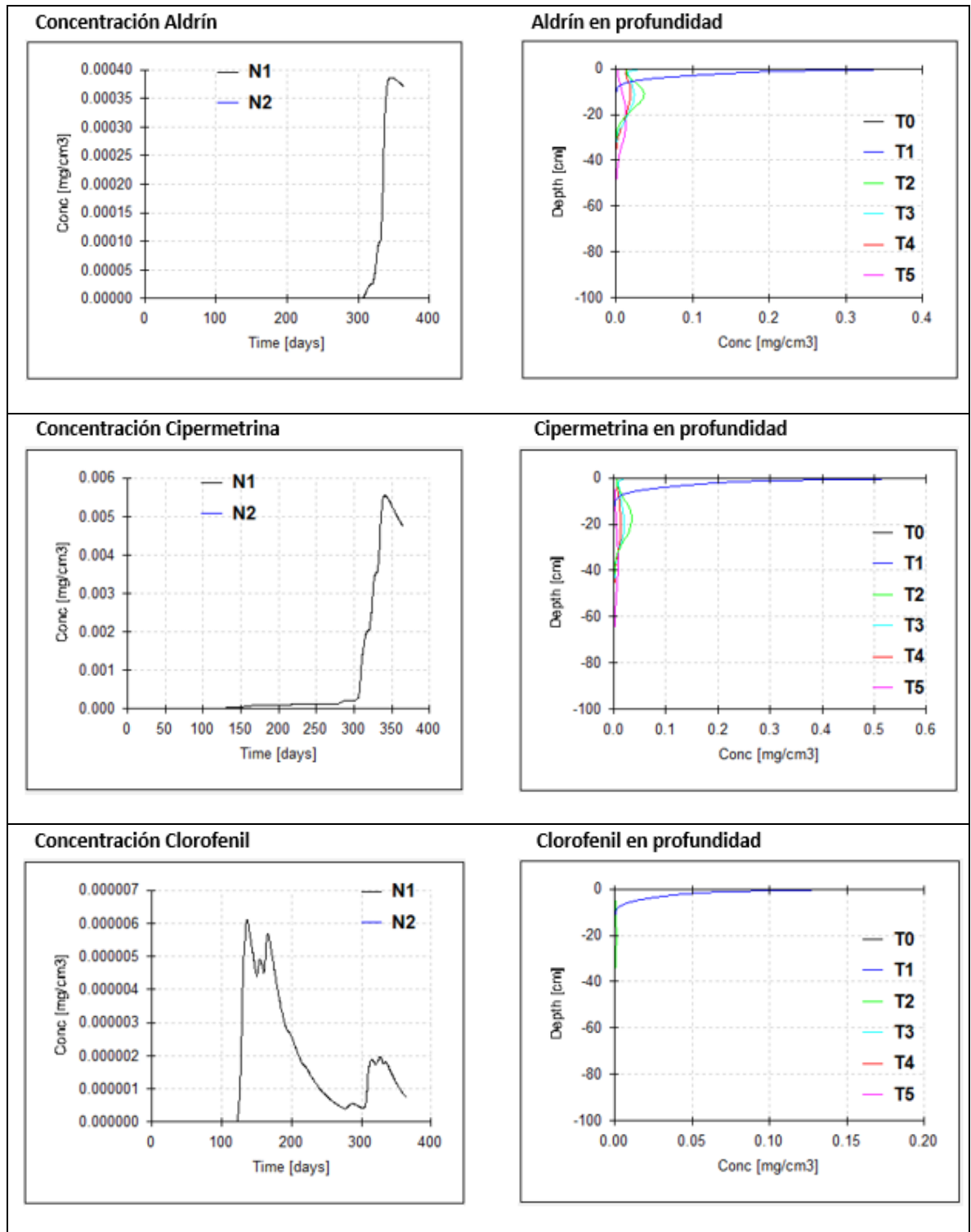




Fuente. Bacheloth, 2017

En el caso del cultivo de fresa perteneciente al predio el Desgredo, el compuesto con mayor concentración es la Cipermetrina con un valor de 0.4 mg/cm<sup>3</sup> en la capa superficial y podría encontrarse en pequeñas concentraciones a una profundidad de 30 cm, siendo esta mucho menor que en el caso del predio anterior. El compuesto que presenta una menor concentración es el Heptacloro con un valor de 0.10 mg/cm<sup>3</sup> para la capa superficial y 0.000006 mg/cm<sup>3</sup> para el punto de observación ubicado a 50 cm de profundidad para el mes de abril y disminuyendo drásticamente para el mes de octubre. Por último, el compuesto Aldrín presenta una concentración de 0.2 mg/cm<sup>3</sup> para la capa superficial y aproximadamente 0.00037 mg/cm<sup>3</sup> en el mes de noviembre para el punto de observación de 50 cm de profundidad.

**Figura 38.** Curva de transporte del Aldrín, Cipermetrina y Clorofenil



Fuente. Bacheloth, 2017

## **7.5 PROPUESTA PARA EL MANEJO DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DE ESTUDIO**

La propuesta planteada está basada en el manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas (Quejada O. *et al.*, Gobernación de Antioquia, 2014). Además, se han incluido algunos bioinsecticidas naturales consultados en diversas páginas y revistas de botánica, con el fin de brindar esta información a los agricultores.

De acuerdo con Wilford (2009) las BPA son un conjunto de normas, principios y recomendaciones técnicas aplicadas a las diversas etapas de la producción agrícola, que incorporan el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), el Manejo Integrado del Cultivo (MIC), Manejo Integrado de Riego y Fertilización (MIRF) y cuyo objetivo es ofrecer un producto de elevada calidad e inocuidad con un mínimo impacto ambiental, bienestar y seguridad para el consumidor y los trabajadores, y que permita además proporcionar un marco de agricultura sostenible, documentado y evaluable.

### **MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE FRESA**

La producción de fresa se desarrolla en condiciones agroambientales y climáticas diversas, debido a la gran cantidad de especies y variedades existentes.

La fresa se desarrolla de manera adecuada en suelos ligeramente ácidos, sueltos, aireados y bien drenados, ya que los suelos pesados limitan el desarrollo radicular. La raíz es altamente sensible a la salinidad generando reducciones de hasta el 50% en el rendimiento de la planta. Se deben evitar suelos donde se haya cultivado antes papa, tomate, pimentón, melón, sandía y calabaza, con el fin de prevenir la propagación de enfermedades que comparten con estos cultivos.

#### **➤ Manejo y conservación del suelo**

El cultivo y el manejo del suelo deben promover la conservación y recuperación de la fertilidad, el contenido de materia orgánica, la actividad biológica y la estructura del suelo. La preparación del terreno se debe hacer oportunamente y con la debida anticipación a la siembra. En lo posible, se deben lograr las mejores preparaciones con relación a la profundidad y nivelación con labranza mínima para así conservar una buena estructura.

## ➤ Manejo de plagas y enfermedades

Se deben tomar medidas de prevención y observación constante a los cultivos, para de esta manera actuar a tiempo contra las plagas y enfermedades, logrando una reducción en la aplicación de agroquímicos.

A continuación, se plantean diferentes clases de insecticidas hechos a base de productos naturales, generalmente plantas, los cuales son una alternativa para atacar plagas y enfermedades, reduciendo el uso de agentes químicos.

- **Ajo**

Un remedio muy sencillo de preparar que te va a servir para los hongos, bacterias, pulgones y ácaros. Deja unos 3 ajos en un litro de agua durante 24 horas en un recipiente tapado parcialmente. Cuela y pulveriza la zona a tratar dos veces al día, por la mañana a primera hora y a última hora de la tarde. Repite durante 7 días seguidos.

- **Ajenjo**

Esta planta sembrada en tu huerta o jardín es un remedio natural para repeler algunas plagas, pero además la podemos preparar y pulverizar sobre otras plantas con plagas para combatirlas. Te vale para los ácaros, mosca blanca, pulgones, cochinillas e incluso hormigas. Deja 250 g de ajenjo fresco macerando en 1 litro de agua en un recipiente parcialmente tapado durante 8 días. Después lo cueles y pulverizas la zona afectada.

- **Bicarbonato sódico**

Es un remedio natural para prevenir la aparición de hongos o para eliminarlos si ya han hecho acto de presencia en las plantas. Es efectivo para el mildiu y el oídio. Diluye 2 cucharadas en un litro de agua y pulveriza la zona que quieras tratar dos veces al día durante una semana.

- **Piretrina natural**

Insecticida de choque obtenido de extracto de pelitre o piretro de flores secas de Chrysanthemum (Pyrethrum) Cinerariifolium también llamado Piretrina natural. Caracterizado por su rápida acción por contacto, produciendo parálisis en pulgones, mosca blanca, ácaros etc. Tiene baja

toxicidad y es poco persistente (máximo tres días). Baja toxicidad para mamíferos, bajo riesgo de aparición de resistencia y amplio espectro de actividad. Acción fulminante. Su degradación en el medio ambiente es activada por la luz solar y el aire.

- **Cola de caballo**

La Cola de Caballo contiene una Saponina tóxica para los hongos llamada Equisetonina y ácido silísico, que favorece la estructura de la planta. Además de estos componentes posee también Flavonoides como Isoquercitósido, Galuteolina o Equisetrina. Por último, cabe destacar su riqueza en determinados ácidos orgánicos como Nicotina, Palustrina o Dimetilsulfona. Todos estos componentes hacen que la Cola de Caballo sea uno de los fungicidas más eficaces en agricultura ecológica. Incluso se le reconoce cierta acción insecticida contra pulgones y araña roja.

- **Ecoswing**

Ecoswing es un fungicida preventivo y curativo natural de amplio espectro, elaborado a partir de los ingredientes activos de alta concentración presente en una planta de la familia Rutaceae (*Swinglea glutinosa*).

Es ideal para el manejo integrado de enfermedades, en rotaciones de programas de agricultura más limpia, en la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y en programas de agricultura ecológica.

Los bioinsecticidas mencionados anteriormente, representan una disminución de carga contaminante en el suelo, agua y aire, además no tienen efectos negativos en la salud humana, ésta podría ser una alternativa amigable con el medio ambiente y en la mayoría de casos una reducción de costos.

## CONCLUSIONES

La zona de estudio presenta un régimen climático de tipo bimodal y se localiza sobre el flanco norte del Macizo de Santander sobre la Cordillera Oriental, con zonas de pendientes elevadas, lo que contribuye al escurrimiento y arrastre de materia orgánica presente en la capa superficial, dejando el suelo con pocos nutrientes y actividad bacteriana y de esta manera disminuyendo su fertilidad.

En general el suelo de los cultivos evaluados, presentaron una permeabilidad e infiltración con algunos valores bajos y otros altos, basados en el experimento in situ que se realizó, lo cual indica una baja retención de humedad en algunos casos y esto se relaciona directamente con el tipo de suelo, teniendo en cuenta que la textura presenta un alto contenido de arena. Por otra parte, los suelos en los que se presentó un porcentaje mayor de arcilla, hubo una permeabilidad e infiltración baja y mayor retención, lo que indica que este suelo retarda el transporte de contaminantes a través del perfil del suelo, haciéndolo menos susceptible a la contaminación y estabilizando los niveles de concentración con el paso del tiempo.

El análisis más relevante realizado en la caracterización fisicoquímica fue el pH, ya que este permitió observar la semejanza de suelos ácidos en la totalidad de las muestras de los diferentes cultivos, esto puede relacionarse directamente con el uso de agroquímicos ya que las dosis aplicadas por los agricultores sobre pasa las dosis recomendadas en las fichas técnicas de los productos.

La aplicación del modelo se realizó para un perfil de suelo en una zona no saturada, ya que la profundidad de la columna de suelo no tuvo contacto con el nivel freático, utilizando de esta manera el modelo de van Genuchten modificado para un flujo en zona no saturada.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar los resultados en la simulación, se recomienda realizar el laboratorio de determinación del coeficiente de absorción  $K_d$ , para cada uno de los solutos encontrados para cada perfil del suelo, ya que la capacidad que tienen los contaminantes para absorberse puede variar según las diferentes texturas del suelo.

Es importante tener en cuenta otros factores que pueden incidir en el transporte de contaminantes en el suelo, dentro de los cuales se encuentra la temperatura, corriente de vientos, radiación solar y riego del terreno. Estos factores no son tomados en cuenta por el software, pero sería recomendable poder aplicarlos a la simulación con el fin de obtener una curva de transporte más acertada.

El software Hydrus-1D nos muestra una simulación a lo largo de los 365 del año, por lo cual se recomienda un seguimiento y toma de muestras mensualmente por ese lapso de tiempo, con el fin de corroborar si persisten los contaminantes, tal como lo muestra la simulación.

## BIBLIOGRAFÍA

Regnaut-Roger, Catherine; Philogene, Bernard J.R.; Vincent, Charles (2003). *Biopesticides d'origine végétale [Biopesticidas de origen vegetal]*

Evaluación de Riesgos en Salud por la Exposición a Residuos Peligrosos, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Atlanta, Georgia, 1995.

Ríos, Sixto (1995). *Modelización*. Alianza Universidad

Šimůnek, J., M. Šejna, y M. Th. van Genuchten. 1998. El HYDRUS-1D paquete de software para simular el movimiento unidimensional del agua, el calor, y múltiples solutos en medios variably- saturada. Version 1.0. IGWMC - TPS - 70, Agua Subterránea Modelación Centro Internacional, Escuela de Minas, Golden, Colorado, 186pp Colorado.

Van Genuchten, M. Th.1978. transporte de masa en medios saturados-insaturados: soluciones unidimensionales. Investigación Rep. N ° 78-WR-11. Programa de recursos de agua. Princeton Univ. Princeton, NJ.

Vogel, T. 1987. SWMII - modelo numérico de flujo bidimensional en un medio poroso variablemente saturado. Investigación Rep. N° 87. Departamento de Hidráulica e Hidrología de cuencas. Univ agrícola., Wageningen, Países Bajos.

Neuman, SP 1972. Programas de ordenador de elementos finitos para el flujo en medios porosos saturados-insaturados. Segundo informe anual, Proyecto No. A10-SWC-77, Laboratorio de Ingeniería Hidráulica., Technion, Haifa, Israel.

H.U Gentile. Clasificación y Toxicología de PLAGUICIDAS. Ed Universidad Nacional del Comhue. Consultado el 12 de junio de 2017.

OSU Extension Pesticide Properties Database, J.J. Jenkins and P.A. Thomson, Oregon State University Extension Service, January 1999.

Catálogo Oficial de Plaguicidas, Cicoplafest, 1998.

Narváez J.F, Palacio J.A, Molina F.J., Gestión y Ambiente 2012.

[oda.state.or.us/nrd/water\\_quality/BMPs/Pesticides/Pesticides\\_Groundwater.pdf](http://oda.state.or.us/nrd/water_quality/BMPs/Pesticides/Pesticides_Groundwater.pdf). (Consultado el 08 de junio de 2017).

*Mecánica de suelos y cimentaciones 5a Ed Escrito por Carlos Crespo Villalaz.*

Lambe, T. W. & Whitman, R. V. (1997). *Mecánica de suelos*. México.

Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Consultado el 23 de agosto de 2013.



Aparicio Mijares F. J. 1999. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa. México. 303 p.

Buol, Stanley W., FD agujero y W. McCracken. 1997. Génesis y Clasificación de Suelos, 4ª ed. Iowa State Univ. Press, Ames.

Soil Survey Staff. (1975) *Soil Taxonomy: Un sistema básico de clasificación de suelos para realizar e interpretar estudios de suelos*.

*Protección del suelo y el desarrollo sostenible: Seminario Europeo: Soria, 15-17 de mayo de 2002*. IGME. 1 de enero de 2005. Consultado el 5 de febrero de 2017.

Fernández, Lucía Grijalbo (12 de mayo de 2016). *Elaboración de inventarios de focos contaminantes. UF1941*. Tutor Formación. Consultado el 7 de febrero de 2017.

Raimon, Guitart (20 de febrero de 2014). *Tóxicos: Los enemigos de la vida*. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona. Consultado el 5 de febrero de 2017.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ed. (1986). «DEFINICIONES PARA LOS FINES DEL CODEX ALIMENTARIUS». Consultado el 22 de marzo de 2016.

Gilden RC, Huffling K, Sattler B (enero de 2010). «Los pesticidas y los riesgos para la salud». *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs* **39** (1): 103-10.

Metcalf, C. L. y Flint, W. P., 1979.- Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control. 4ª Ed. Continental S.A., Mexico; 1208pp

Úbeda, José Manuel Casas; López, Francisca Gea; Tarí, Esmeralda Javaloyes; Peña, Alberto Martín; Navarro, José Ángel Pérez; Sánchez, Inmaculada Triguero; Boix, Francisco Vives (5 de febrero de 2017). *Educación medioambiental*. Editorial Club Universitario. ISBN 9788484546221. Consultado el 5 de febrero de 2017.

BAVER, L.D. Soil physics. 2ed. New York, Wiley, 1956. 398 p.

BAVER, GARDNER, W.H y GARDNER, W. R. Física de suelos. México, CRAT, 1973. 52p p.

DURAN, A y KAPLAN, A. Determinación de la densidad aparente, macroporosidad y microporosidad en algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1965 (Mimeografiado).

Schaetzl, R & S. Anderson SOIs: *Génesis y Geomorfología*. Cambridge: Ed. Cambridge, 2005

NKTyagi, 1996. Gestión Salinidad: la experiencia CSSRI y agenda de investigación futura. En: WBSnellen (Ed.), Hacia la integración de la gestión de riego y drenaje. ILRI, Wageningen, Países Bajos, 1997, pp. 17-27.

NTSingh de 2005. El riego y la salinidad del suelo en el subcontinente indio: pasado y presente. Lehigh University Press. ISBN 0-934223-78-5, 9780934223782, 404 p.

Abrol IP, Yadav JSP, Massoud F. 1988. Los suelos afectados por la salinidad y su gestión, Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), Boletín de Suelos.

Porta, López-Acevedo y Roquero (2003). Edafología (3ª ed.). Mundi-Prensa. p. 234. ISBN 84-8476-148-7.

López, Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby; revisión técnica, Rodolfo Álvarez Manzo, Silvia Ponce (2013). Química (11a. ed. edición). México; Madrid [etc.]: MacGraw-Hill.

Fenn, M. E.; Huntington, T. G.; McLaughlin, S. B.; Eagar, C.; Gomez, A.; Cook, R. B. 2006. Status of soil acidification in North America Journal of Forest Science 52:3-13



Kochhann, R.A. 1996. Alterações das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Kochhann, R.A Sistema Plantio Direto. In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo – RS, Brasil.



Aiken, George. United States of America. United States Geological Survey. Organic Matter in Ground Water. 2002. 1 May 2007.



"Natural Organic Matter," GreenFacts, 22 Apr, 2007 <http://www.greenfacts.org/glossary/mno/natural-organic-matter-NOM.htm>

## ANEXOS

### ANEXO I. Resultados de las encuestas aplicadas a los propietarios de los cultivos de fresa de la vereda monteadentro.

 <b>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 DE MONTE ADENTRO PAMPLONA NORTE DE SANTANDER"</b> <b>PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UNIVERSIDAD DE PAMPLONA</b> <b>INVESTIGADOR: YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA</b>			
<b>OBJETIVO:</b> Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.			
<b>DEPARTAMENTO:</b> Norte de Santander	<b>FECHA</b>	04-08-2017	
<b>MUNICIPIO:</b> Pamplona	<b>VEREDA</b>	Monte adentro	
<b>NOMBRE DEL PREDIO</b> El Saludito	<b>Coordenadas</b>	N 07° 20' 59,3" E 072° 39' 57,9"	
<b>NOMBRE ENCUESTADO</b> Rafael Portilla	<b>ALTITUD</b>	2643 m	
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de fresa <u>0,5</u> (Ha)?			
2. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando insecticidas y plaguicidas?			
<input type="checkbox"/> Menos de un año. <input type="checkbox"/> Entre uno y cinco años. <input checked="" 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>Eltra 4B-EC</u>		Marca 2: <u>Folminator</u>	
Marca 3: <u>lorben</u>		Marca 4: <u>karate</u>	
Marca 5: _____		_____	
4. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza?			
Marca 1: <u>Nachiv</u>		Marca 2: <u>Acaricidas</u>	
Marca 3: _____		Marca 4: _____	
Marca 5: _____		_____	
5. ¿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.	
6. ¿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.	
7. ¿Qué tipo de riego utiliza?			
<input checked="" type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Goteo			
8. ¿Cuál es el tiempo de riego para el cultivo de fresa <u>12 Hrs</u> ?			
9. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de fresa <u>250 cc</u> ?			
10. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de fresa <u>250 cc</u> ?			
11. ¿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.			

 <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 DE MONTE ADENTRO PAMPLONA NORTE DE SANTANDER" PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA INVESTIGADOR: YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA</p> 		
<b>OBJETIVO:</b> Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.		
<b>DEPARTAMENTO:</b> Norte de Santander	<b>FECHA</b>	04-08-2017
<b>MUNICIPIO:</b> Pamplona	<b>VEREDA</b>	Monte adentro
<b>NOMBRE DEL PREDIO</b> El Tuno	<b>Coordenadas</b>	N E
<b>NOMBRE ENCUESTADO</b> Beyker Ahua	<b>ALTITUD</b>	
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de fresa <u>1</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>Sunfire</u> Marca 2: <u>Kavate</u> Marca 3: <u>Eltra 48-EC</u> Marca 4: _____ Marca 5: _____		
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>Acaricidas</u> Marca 2: <u>Matababosa</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 dela 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 fresa <u>6 Hrs</u> ?		
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de fresa <u>150 CC</u> ?		
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de fresa <u>200 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.		

 <p style="text-align: center;"> <b>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 DE MONTE ADENTRO PAMPLONA NORTE DE SANTANDER"</b>  <b>PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>UNIVERSIDAD DE PAMPLONA</b>  <b>INVESTIGADOR: YERITZA PAOLA BACHELOTH PADILLA</b> </p> 	
<b>OBJETIVO:</b> Obtener información sobre los tipos de insecticidas y plaguicidas, la frecuencia y dosis utilizadas en los cultivos de fresa y arveja.	
<b>DEPARTAMENTO:</b> Norte de Santander	<b>FECHA:</b> 03-08-2017
<b>MUNICIPIO:</b> Pamplona	<b>VEREDA:</b> Monte adentro
<b>NOMBRE DEL PREDIO:</b> El desgredo	<b>Coordenadas:</b> N 07° 20' 59,5" E 072° 39' 57,9"
<b>NOMBRE ENCUESTADO:</b> Saul Portilla	<b>ALTITUD:</b> 2533 m
1. ¿Cuál es el área que tiene destinada para el cultivo de fresa <u>1</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>lorban</u> Marca 2: _____ Marca 3: _____ Marca 4: _____ Marca 5: _____	
3. ¿Cuáles son las marcas de plaguicidas que usted más utiliza? Marca 1: <u>Acaricidas</u> Marca 2: <u>Bertimex</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 fresa <u>4 Hrs</u> ?	
6. ¿Aproximadamente qué dosis de plaguicida aplica en el cultivo de fresa <u>180 cc</u> ?	
7. ¿Aproximadamente qué dosis de insecticida aplica en el cultivo de fresa <u>180 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 II. Fotografías aéreas de la zona de estudio.**

**Ubicación. Predio El Saladito – Vereda Monte dentro**



**Ubicación. Predio El Desgre do - Vereda Monte dentro**



### ANEXO III. Datos utilizados en el software Hydrus-1D

#### ➤ Información Hidrometeorológica – Año 2016

La precipitación y la evaporación, son variables que inciden en el transporte de solutos en el suelo ya que van ligados a la infiltración por medio de las diferentes capas del suelo y a la biodegradación de estos compuestos.

Tiempo	Precipitación (cm/día)	Evaporación (cm/día)	Tiempo	Precipitación (cm/día)	Evaporación (cm/día)
1	0.000	0.450	184	0.370	0.000
2	0.190	0.320	185	0.000	0.000
3	0.000	0.380	186	0.000	0.000
4	0.000	0.090	187	0.860	0.000
5	0.000	0.240	188	0.360	0.000
6	0.040	0.220	189	0.070	0.000
7	0.000	0.420	190	0.000	0.000
8	0.000	0.380	191	0.040	0.000
9	0.140	0.300	192	0.091	0.000
10	0.011	0.230	193	0.090	0.000
11	0.091	0.000	194	0.400	0.100
12	0.120	0.300	195	0.000	0.520
13	0.000	0.330	196	0.340	0.490
14	0.000	0.390	197	0.000	0.250
15	0.000	0.390	198	0.161	0.000
16	0.000	0.430	199	0.000	0.400
17	0.000	0.450	200	0.000	0.630
18	0.000	0.340	201	0.011	0.000
19	0.000	0.490	202	0.000	0.530
20	0.000	0.130	203	0.040	0.380
21	0.000	0.620	204	0.021	0.260
22	0.000	0.460	205	0.150	0.330
23	0.000	0.410	206	0.481	0.350
24	0.000	0.390	207	0.000	0.430
25	0.000	0.420	208	0.000	0.000
26	0.000	0.390	209	0.270	0.000
27	0.000	0.330	210	0.090	0.430

28	0.000	0.000	211	0.000	0.440
29	0.000	0.430	212	0.101	0.170
30	0.000	0.280	213	3.100	0.380
31	0.000	0.520	214	0.000	0.200
32	0.000	0.360	215	0.000	0.000
33	0.000	0.260	216	0.230	0.930
34	0.000	0.390	217	0.120	0.210
35	0.000	0.250	218	0.000	0.520
36	0.000	0.540	219	0.000	0.570
37	0.000	0.550	220	0.000	0.000
38	0.000	0.290	221	0.000	0.000
39	0.000	0.200	222	0.140	0.340
40	0.061	0.120	223	0.000	0.110
41	0.120	0.470	224	0.011	0.000
42	0.000	0.690	225	0.000	0.940
43	0.000	0.340	226	0.000	0.490
44	0.000	0.480	227	0.000	0.640
45	0.000	0.000	228	0.021	0.280
46	0.000	0.000	229	0.000	0.000
47	0.000	0.670	230	0.070	0.900
48	0.000	0.560	231	0.100	0.260
49	0.000	0.550	232	0.061	0.370
50	0.181	0.290	233	0.000	0.560
51	0.650	0.210	234	0.000	0.370
52	0.260	0.080	235	0.011	0.470
53	0.140	0.350	236	0.000	0.530
54	0.000	0.370	237	0.121	0.420
55	0.000	0.550	238	2.351	0.540
56	0.000	0.580	239	0.081	0.350
57	0.280	0.000	240	0.360	0.320
58	0.000	0.290	241	0.000	0.380
59	0.000	0.440	242	0.000	0.630
60	0.070	0.460	243	0.110	0.380
61	0.000	0.280	244	0.021	0.000
62	0.000	0.360	245	0.000	0.170
63	0.000	0.340	246	0.120	0.230
64	0.000	0.450	247	0.021	0.430
65	0.000	0.000	248	0.901	0.390
66	1.151	0.510	249	1.500	1.400
67	0.000	0.510	250	0.180	0.000



68	0.031	0.330	251	0.450	0.400
69	0.000	0.320	252	0.031	0.280
70	0.030	0.470	253	0.070	0.270
71	0.011	0.500	254	0.051	0.480
72	0.000	0.390	255	0.000	0.310
73	0.021	0.320	256	0.041	0.330
74	0.000	0.000	257	0.321	0.200
75	0.000	0.840	258	0.351	0.230
76	0.021	0.200	259	0.000	0.330
77	0.380	0.220	260	0.000	0.300
78	0.060	0.220	261	0.000	0.490
79	0.000	0.320	262	0.101	0.400
80	0.000	0.380	263	0.000	0.510
81	0.000	0.350	264	0.000	0.300
82	0.000	0.260	265	0.031	0.390
83	0.000	0.470	266	0.200	0.370
84	0.000	0.290	267	0.000	0.250
85	0.000	0.790	268	0.000	0.380
86	0.000	0.000	269	0.000	0.540
87	0.000	0.280	270	0.000	0.490
88	0.000	0.420	271	0.000	0.530
89	0.661	0.520	272	0.000	0.010
90	0.030	0.320	273	0.031	0.100
91	0.450	0.210	274	2.841	0.000
92	1.840	0.340	275	1.880	0.650
93	0.670	0.550	276	0.000	0.260
94	0.730	0.520	277	0.000	0.260
95	0.240	0.590	278	1.480	0.510
96	0.000	0.370	279	0.130	0.090
97	0.000	0.450	280	0.880	0.490
98	0.021	0.380	281	0.050	0.350
99	0.240	0.250	282	0.320	0.300
100	0.000	0.120	283	0.791	0.400
101	0.101	0.290	284	0.000	0.390
102	1.610	0.390	285	0.000	0.400
103	0.010	0.000	286	0.000	0.300
104	0.000	0.610	287	0.210	0.190
105	0.000	0.490	288	0.280	0.400
106	0.160	0.450	289	0.000	0.410
107	0.000	0.300	290	0.641	0.300

108	0.000	0.330	291	0.000	0.430
109	0.151	0.480	292	0.570	0.360
110	0.011	0.370	293	0.320	0.530
111	2.381	0.300	294	0.000	0.460
112	0.351	0.260	295	0.000	0.400
113	1.040	0.490	296	0.000	0.470
114	0.071	0.370	297	0.000	0.330
115	0.040	0.280	298	0.320	0.440
116	0.000	0.200	299	1.300	0.260
117	0.000	0.380	300	1.640	0.240
118	0.000	0.400	301	0.880	0.270
119	1.180	0.000	302	0.860	0.270
120	4.371	0.480	303	0.080	0.290
121	2.470	0.000	304	0.090	0.280
122	2.031	0.120	305	0.480	0.310
123	3.061	0.000	306	2.390	0.000
124	0.550	0.000	307	0.271	0.150
125	0.000	0.000	308	2.760	0.340
126	0.000	0.330	309	0.530	0.350
127	0.000	0.500	310	0.311	0.120
128	0.350	0.160	311	0.370	0.380
129	0.181	0.270	312	0.740	0.000
130	0.360	0.330	313	0.030	0.200
131	0.000	0.190	314	0.000	0.340
132	0.000	0.000	315	0.360	0.370
133	0.000	0.440	316	0.000	0.280
134	0.000	0.190	317	0.000	0.260
135	0.040	0.410	318	0.251	0.340
136	0.060	0.360	319	1.550	0.220
137	0.151	0.220	320	0.881	0.250
138	0.301	0.200	321	0.360	0.280
139	0.000	0.140	322	1.340	0.600
140	0.000	0.360	323	0.000	0.070
141	0.000	0.360	324	1.221	0.000
142	0.021	0.510	325	0.170	0.000
143	0.101	0.430	326	0.000	0.660
144	0.000	0.450	327	0.050	0.260
145	0.951	0.580	328	0.000	0.370
146	0.070	0.170	329	0.031	0.390
147	1.720	0.350	330	1.580	0.250

148	0.000	0.130	331	1.620	0.320
149	0.040	0.340	332	0.380	0.200
150	1.700	0.140	333	1.140	0.500
151	0.000	0.570	334	1.110	0.000
152	0.041	0.250	335	0.541	0.000
153	0.000	0.270	336	0.320	0.420
154	0.261	0.420	337	0.050	0.120
155	0.000	0.350	338	0.000	0.260
156	0.000	0.620	339	0.000	0.400
157	0.000	0.500	340	0.000	0.210
158	0.881	0.350	341	0.000	0.470
159	1.400	0.300	342	0.000	0.390
160	1.060	0.400	343	0.000	0.240
161	0.690	0.300	344	0.190	0.270
162	0.000	0.260	345	0.150	0.210
163	0.000	0.000	346	0.000	0.130
164	0.000	0.600	347	0.000	0.340
165	0.000	0.410	348	0.000	0.460
166	0.151	0.310	349	0.000	0.390
167	0.000	0.150	350	0.000	0.290
168	0.000	0.410	351	0.000	0.250
169	0.040	0.510	352	0.000	0.300
170	0.000	0.290	353	0.000	0.230
171	0.100	0.270	354	0.000	0.300
172	0.000	0.200	355	0.000	0.360
173	0.000	0.370	356	0.560	0.130
174	0.000	0.240	357	0.030	0.170
175	0.081	0.310	358	0.000	0.320
176	0.961	0.270	359	0.000	0.290
177	0.000	0.150	360	0.000	0.310
178	0.000	0.200	361	0.030	0.110
179	0.041	0.340	362	0.000	0.000
180	0.311	0.360	363	0.000	0.000
181	0.200	0.390	364	0.000	0.000
182	0.000	0.000	365	0.370	0.450
183	0.000	0.480			

Fuente. IDEAM

➤ **Propiedades hidráulicas del suelo**

**Predio el Saladito**

Textura	Mat	Qr	Qs	alpha	n	Ks	I	Bulk. D
Sandy Loam - Franco arenoso	1	0.065	0.41	0.03	1.5	106.1	0.5	1.55
Silt Loam - Franco Arcilloso	2	0.095	0.41	0.03	1.5	6.24	0.5	1.40
Sandy Clay- Arcillo Arenoso	3	0.1	0.38	0.03	1.5	2.88	0.5	1.35

Fuente. Bacheloth, 2017

**Predio el Desgreo**

Textura	Mat	Qr	Qs	alpha	n	Ks	I	Bulk. D
Clay Loam - Franco Arcilloso	1	0.095	0.41	0.019	1.31	6.24	0.5	1.40
Sandy Clay Loam - Franco Arcillo Arenoso	2	0.1	0.39	0.059	1.48	31.44	0.5	1.45
Silty Lay - Arcilla Limosa	3	0.07	0.36	0.005	1.09	0.48	0.5	1.46

Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Factores de retardo promedio y coeficientes de degradación**

	$\alpha$ -HBC	Heptacloro	Aldrín	Cipermetrina	Chlorophenyl
	1	2	3	4	5
Kd	0.38	0.52	0.74	0.35	0.29
mu	0.003	0.053	0.009	0.012	0.076

Fuente. Bacheloth, 2017

**ANEXO IV. Evidencias de los laboratorios realizados y trabajo de campo.**

➤ **Ensayo de permeabilidad e infiltración**



Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Caracterización fisicoquímica**



Fuente. Bacheloth, 2017





Fuente. Bacheloth, 2017



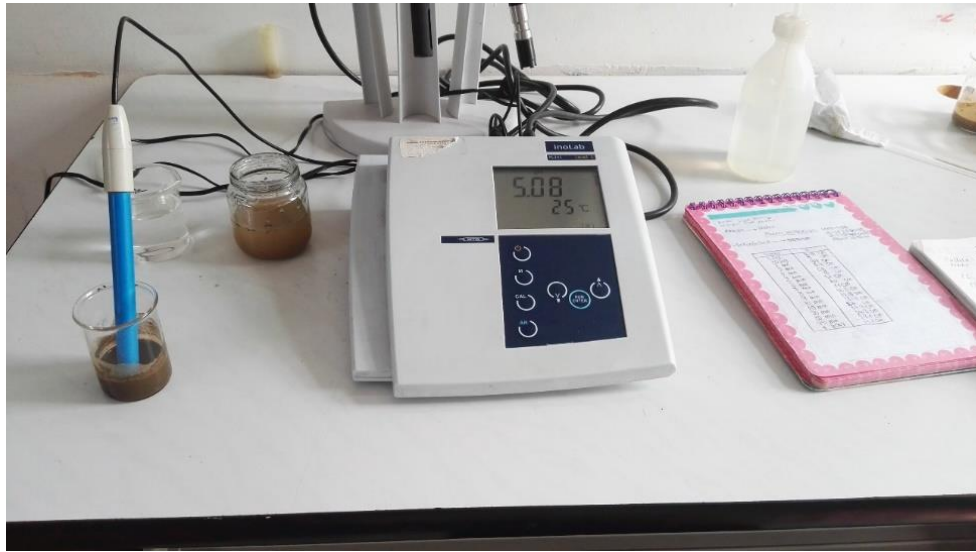
Fuente. Bacheloth, 2017



Fuente. Bacheloth, 2017



Fuente. Bacheloth, 2017



Fuente. Bacheloth, 2017

➤ **Extracción y determinación de contaminantes**



Fuente. Bacheloth, 2017





Fuente. Bacheloth, 2017



Fuente. Bacheloth, 2017