

**DETERMINACIÓN DE LA MOVILIDAD DEL CARBOFURAN EN SUELOS DE  
UN CULTIVO DE PAPA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAPINZÓN-  
CUNDINAMARCA**

**MARIA ALEJANDRA DELGADO SALAS**

**PAOLA FAJARDO GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ**

**2015**

**DETERMINACIÓN DE LA MOVILIDAD DEL CARBOFURAN EN SUELOS DE  
UN CULTIVO DE PAPA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAPINZÓN-  
CUNDINAMARCA**

**MARIA ALEJANDRA DELGADO SALAS**

**PAOLA FAJARDO GUTIÉRREZ**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental**

**Johan Alexander Álvarez Berrio**

**Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ**

**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al Ingeniero Ambiental Johan Alexander Álvarez Berrio por su colaboración desde el inicio del planteamiento de la investigación hasta el final de esta y a todos los docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental por todo el aporte brindado.

De igual manera agradecemos al señor Julio Zamudio propietario de la finca San José, por su cooperación en la toma de muestras y con la información dada.

Por ultimo agradecemos a nuestros padres quienes nos apoyaron en todo momento.

## TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS .....	12
OBJETIVOS .....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
GLOSARIO .....	14
RESUMEN .....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1. MARCO REFERENCIAL .....	18
1.1 Localización.....	18
1.2 Páramo de Guacheneque .....	19
1.3 Generalidades del área de influencia .....	19
2 Marco teórico.....	21
2.1 Plaguicidas .....	21
2.2 Carbofuran.....	24
2.2.1 Aplicación.....	25
2.2.2 Persistencia .....	26
2.2.3 Toxicocinética.....	26
2.2.4 Factores que afectan la movilidad .....	27
2.3 El cultivo de papa.....	29
2.4 Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC).....	31
2.5 Antecedentes .....	32
2.6 Marco legal .....	34
2.7 Climatología del sector .....	37
2.7.1 Precipitación total mensual .....	37
2.7.2 Evaporación.....	38
2.7.3 Temperatura .....	38
2.7.4 Humedad relativa.....	38

2.7.5	Brillo solar .....	38
2.8	Geología de la zona .....	39
2.8.1	Geomorfología de la zona .....	39
2.9	Edafología.....	40
2.9.1	Propiedades físicas .....	40
2.9.2	Propiedades químicas .....	40
3	METODOLOGIA .....	43
3.1	Selección de la zona de estudio.....	43
3.2	Extracción de las muestras de suelo.....	44
3.3	Realización del montaje.....	45
3.4	Realización del ensayo .....	47
3.4.1	Cálculos para la aplicación del plaguicida.....	47
3.4.2	Cálculos para la cantidad del ingrediente activo .....	47
3.4.3	Aplicación del plaguicida .....	48
3.5	Análisis de laboratorio .....	51
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	53
4.1	Resultados químicos de las muestras compuestas.....	53
4.1.1	Textura .....	54
4.1.2	pH.....	54
4.1.3	Materia orgánica .....	55
4.1.4	Capacidad de intercambio catiónico.....	56
4.1.5	Saturación de bases.....	56
4.1.6	Bases totales.....	57
4.1.7	Fosforo disponible .....	57
4.1.8	Coeficiente de adsorción de carbono orgánico (Koc).....	58
4.2	Análisis de resultados de lixiviado .....	58
4.2.1	Simulación de lixiviado con datos reales de la zona.....	60
4.3	Análisis estadístico .....	62
4.4	Correlación de la precipitación promedio mensual de la zona con los resultados obtenidos: .....	70

5. CONCLUSIONES.....	73
6. RECOMENDACIONES.....	75
7. ANEXOS .....	76
8. Bibliografía.....	107

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cartografía municipio de Villapinzón .....	18
Ilustración 2. Páramo de Guacheneque .....	19
Ilustración 3. Ubicación estación La Fortuna .....	20
Ilustración 4. Estructura química del Carbofuran .....	24
Ilustración 5. Aplicación plaguicida .....	26
Ilustración 6. Gusano blanco de la papa.....	31
Ilustración 7. Cartografía Villapinzón.....	41
Ilustración 8. Textura del suelo .....	42
Ilustración 9. Diagrama de flujo metodología.....	43
Ilustración 10. Esquema de los tratamientos de la investigación .....	45
Ilustración 11. Montaje de las columnas de suelo.....	46
Ilustración 12. Simulación de precipitación por goteo .....	49
Ilustración 13. Aspersión del plaguicida.....	50
Ilustración 14. Extracción del plaguicida.....	50
Ilustración 15. Lixiviados de las columnas de suelo .....	51
Ilustración 16. Extracción de las muestras .....	52

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de plaguicidas según organismo que controlan .....	21
Cuadro 2. Clasificación de plaguicidas según grado de toxicidad.....	22
Cuadro 3. Clasificación de plaguicidas según peligro .....	22
Cuadro 4. Clasificación de plaguicidas según composición química .....	23
Cuadro 5. Principales plagas y enfermedades del cultivo de papa.....	30
Cuadro 6. Legislación de plaguicidas en Colombia .....	34

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados análisis de muestras compuestas del IGAC .....	53
Tabla 2. Cantidad total de lixiviado y concentración de IA .....	59
Tabla 3. Simulación de aplicación de plaguicida con datos reales de la zona .....	61
Tabla 4. Pruebas de normalidad .....	62
Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA), concentraciones .....	63
Tabla 6. Comparaciones múltiples (DMS) .....	64
Tabla 7. Cantidad final del ingrediente activo .....	65
Tabla 8. Cantidad del ingrediente activo.....	66
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) cantidad de IA retenido .....	67
Tabla 10. Comparaciones múltiples (DMS), cantidad de IA retenido .....	68
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) % obtenido de Carbofuran .....	69
Tabla 12. Comparaciones múltiples (DMS) % obtenido de Carbofuran .....	69
Tabla 13. Datos obtenidos de la CAR del reporte diario de precipitaciones y niveles junio 2015.....	70
Tabla 14. Cantidad de lixiviado obtenido en laboratorio (ml) vs Cantidad de lixiviado con simulación de datos reales (ml). .....	71

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Precipitación total mensual (promedio) (mm).....	37
Gráfica 2. Evaporación (promedio) (mm) .....	38
Gráfica 3. Concentración de Carbofuran .....	60

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de seguridad CARBOFED .....	76
Anexo 2. Datos de precipitación y evaporación de la estación La Fortuna .....	80
Anexo 3. Guía OECD 312 .....	82
Anexo 4. Resultados de análisis del IGAC.....	92
Anexo 5. Resultados concentración de Carbofuran .....	95

## ABREVIATURAS

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
BT	Bases Totales
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
CCO	Contenido de Carbono Orgánico
EOT	Esquema de Ordenamiento Territorial
EPA	Environmental Protection Agency
IA	Ingrediente Activo
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
MO	Materia Orgánica
msnm	Metros sobre el nivel de mar.
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Organización Mundial de Salud
SB	Saturación de bases

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar la movilidad del plaguicida Carbofuran en suelos de un cultivo de papa provenientes del municipio de Villapinzón-Cundinamarca.

### **Objetivos específicos**

- Correlacionar los datos de precipitación de la zona de estudio con la movilidad del plaguicida Carbofuran.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del suelo de las muestras obtenidas en campo.
- Caracterizar el suelo de la zona de estudio antes y después de la aplicación del Carbofuran.
- Determinar por medio de cromatografía líquida la concentración del Carbofuran en los lixiviados.

## GLOSARIO

**Acuíferos:** es una formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. En estas formaciones se encuentran materiales variados como gravas, limo, calizas, areniscas, entre otros [1].

**Aguas subterráneas:** son aguas que se filtran a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que se encuentran debajo de la superficie de la tierra, el agua se almacena en las formaciones geológicas que tienen poros, principalmente es utilizada para riego, abastecimiento doméstico y uso industrial; su composición depende del tipo y características de las rocas y los suelos, la composición del agua lluvia, y procesos microbiológicos y químicos del suelo [2].

**Carbofuran:** es un plaguicida sistémico usado como insecticida, acaricida y nematocida, perteneciente al grupo químico de los carbamatos. El Carbofuran integra un grupo sustituto de insecticidas persistentes como el clordano, heptacloro y DDT; se usa en diferentes cultivos, pero principalmente en el de maíz, trigo, papa, arroz, algunas frutas y hortalizas [3].

**Capacidad de intercambio catiónico:** es un componente crítico de los sistemas químicos del suelo, influye directamente con la estabilidad estructural de los suelos, la disponibilidad de nutrientes, el pH y los equilibrios químicos del suelo con fertilizantes, representa la capacidad total de estos para enlazar cationes intercambiables como Ca, Mg, K, Cu, Zn y Fe, la CIC depende del pH, textura, arcillas y materia orgánica [4].

**Contenido de carbono orgánico:** es aquel que se encuentra relacionado con la cantidad de nutrientes del suelo y con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, se encuentra en forma de residuos orgánicos de vegetales, animales y microorganismos [5].

**Cromatografía:** es un método físico que permite la separación de los componentes de una mezcla debido a la influencia de dos efectos contrapuestos, de retención y desplazamiento, con el fin de poder identificar las cantidades de los diferentes componentes [6].

**Ingrediente activo:** son los químicos de los pesticidas, que matan o controlan las diferentes plagas [7]

**Insecticida:** son compuestos químicos y un tipo de plaguicida, el cual es usado para matar y controlar insectos; se clasifican según su estructura y modo de acción [8].

**Lixiviación:** es el proceso por el cual unos químicos se mueven hacia abajo a través de un perfil o columna de suelo [9]

**Lixiviado:** es la fase acuosa que percola a través de un perfil o una columna de suelo [9].

**Materia orgánica:** los organismos presentes en el suelo son aquellos que descomponen la materia (viva o muerta) de las plantas, transformándola en materia orgánica del suelo la cual se divide en dos fracciones, lábiles (más fáciles de digerir para los microorganismos) y fracciones húmicas; la materia orgánica del suelo está compuesta en su mayoría por carbono y tiene la capacidad de retener nutrientes, cationes y otros elementos que permiten el crecimiento de las plantas [10].

**Movilidad de plaguicidas:** es la facilidad con la que el plaguicida se lixivia, es decir la facilidad con la que es arrastrado junto con el agua de riego o de la lluvia a través de la profundidad del suelo, incluso hasta las aguas subterráneas, la movilidad depende de la solubilidad del plaguicida en el agua y de su afinidad con el suelo, además de las propiedades físicas y químicas del suelo [11].

**Nutrientes:** la cantidad de nutrientes en el suelo, determina el potencial para alimentar a los organismos vivos, los nutrientes se pueden dividir entre micro y macro nutrientes, los macro nutrientes se requieren en mayor medida y son principalmente el carbono, nitrógeno, hidrogeno, potasio, fosforo, magnesio, azufre y calcio, mientras que los micro nutrientes se requieren en menor medida y son el hierro, cobre, cloro, manganeso, boro, entre otros [10].

**Páramo:** regiones naturales definidas por la interrelación entre el suelo, clima, biota y la influencia humana, es un ecosistema estratégico por los servicios ambientales que ofrece: disponibilidad del recurso hídrico, acumulación de carbono, productividad, biodiversidad y paisaje [12].

**Plaguicidas:** sustancias o mezclas de sustancias, de carácter orgánico o inorgánico, que está destinada a combatir insectos, ácaros, roedores y otras especies indeseables de plantas y animales [13].

## RESUMEN

En el presente estudio se determinó la movilidad del plaguicida Carbofuran mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), en suelos de cultivo de papa en la vereda Chasques del municipio de Villapinzón en el departamento de Cundinamarca.

El municipio en los últimos años ha venido aumentando la producción de cultivos de papa, lo cual es causante de grandes problemas ambientales, especialmente en el suelo debido al uso de plaguicidas. El Carbofuran es uno de los plaguicidas usados en estos cultivos, es altamente tóxico y se considera altamente peligroso para las aguas subterráneas, por tal motivo es de gran importancia realizar estudios de su movilidad con el fin de determinar las posibles consecuencias que puede generar en la zona.

Para determinar la movilidad del Carbofuran, se recolectaron muestras de suelo de la finca San José ubicada en la vereda Chasques, una muestra compuesta a la que se le realizó un análisis físico-químico y 12 muestras con las que se realizó el montaje en columnas de diferentes alturas que fueron impactadas con el plaguicida Carbofed y agua destilada simulando precipitación; el lixiviado de las 12 muestras fue llevado a un laboratorio certificado para analizar (mediante HPLC) la concentración del ingrediente activo presente en cada una de las columnas, una vez hechos los análisis de laboratorio fue posible establecer que el plaguicida presenta movilidad.

Palabras clave: Plaguicida, Carbofuran, Movilidad, Ingrediente activo, HPLC.

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas que van desde los 2.500 hasta los 3.600 m.s.n.m, se caracterizan por la generación de agua, contribuyen a la regulación climática y son espacios aptos para la investigación del cambio climático [14]; estos ecosistemas en Colombia se han visto afectados por la agricultura y el uso de plaguicidas y fertilizantes que cambian la composición del suelo, afectando la fauna y flora del lugar, la cual es muy vulnerable a cualquier cambio en el ambiente; el páramo de Guacheneque se encuentra ubicado entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, su importancia se debe a que en él nace el río Bogotá [15].

Parte de este páramo se encuentra ubicado en el municipio de Villapinzón, el cual, debido a su posición geográfica cuenta con una alta capacidad de producción agrícola siendo uno de los principales abastecedores de papa del país [16], esto genera una problemática para el ecosistema, que se ve afectado por el uso de plaguicidas en los cultivos, incidiendo en los cuerpos de agua superficial y los acuíferos del sector en especial en la cresta de nacimiento del río Bogotá [17].

La movilidad de los plaguicidas depende de diversos factores, entre ellos se encuentran su solubilidad en agua, las condiciones meteorológicas de la zona y las propiedades del suelo [18]; es de gran importancia conocer los factores mencionados anteriormente para determinar si el plaguicida puede llegar o no a contaminar las aguas subterráneas.

Con el estudio de la movilidad en el suelo del plaguicida Carbofuran, se puede determinar la profundidad del suelo a la cual se infiltra y con ello verificar si puede tener o no una afección directa en los acuíferos de la zona, teniendo en cuenta las características meteorológicas y del suelo específicas de la zona de estudio.

A través de la presente investigación se determinó la movilidad del Carbofuran en 12 columnas de suelo (4 de 20 cm de profundidad, 4 de 40 cm de profundidad y 4 de 60 cm de profundidad), las cuales fueron extraídas de una finca en Villapinzón Cundinamarca, estas columnas de suelo fueron impactadas con el plaguicida Carbofed, que tiene como principio activo el Carbofuran, siguiendo el mismo procedimiento de aspersión que hacen los agricultores de la zona. Posteriormente se recogió el lixiviado de las columnas, para pasarlo por un filtro de arena, y analizarlo por cromatografía líquida de alta eficacia en laboratorio

A su vez se recolectaron dos muestras compuestas de suelo, la primera en campo y la segunda en laboratorio, en el laboratorio del IGAC se analizó la composición físico-química de cada muestra y se verificaron los cambios presentados con la aplicación del plaguicida en las muestras.

## 1. MARCO REFERENCIAL

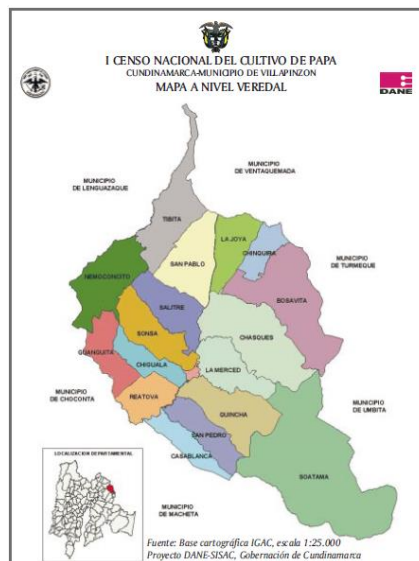
### 1.1 Localización

Villapinzón se encuentra en el altiplano Cundi-Boyacense, pertenece a la cuenca alta del río Bogotá. Su cabecera está localizada a los 05° 13' 09" de latitud norte y 73° 36' 00" de longitud oeste, tiene una altura aproximada de 2.715 m.s.n.m. y un área municipal de 235.000 hectáreas; tiene una extensión total de 249 km<sup>2</sup>, la cual se divide en 0,39 km<sup>2</sup> de área urbana y 248,51 km<sup>2</sup> de área rural, la altitud de la cabecera municipal es de 2.715 m.s.n.m. su temperatura media es de 13°C [16].

El municipio limita al norte con Ventaquemada (Boyacá) y Lenguaque (Cundinamarca), al sur con Chocontá, Tibirita (Cundinamarca) y Capilla de Tenza (Boyacá), al occidente con Chocontá y Lenguaque y al oriente con Ventaquemada, Turmequé y Umbita (Boyacá) [19]. El municipio de Umbita comparte jurisdicción del páramo de Guacheneque con el municipio de Villapinzón.

El municipio de Villapinzón se encuentra dividido catastralmente en 17 veredas, Como se muestra en la Ilustración 1, las cuales son: Bosavita, Casablanca, Chasques, Chigualá, Chinquira, Guanguita, La Joya, La Merced, Nemoconcito, Quincha, Reatova, El Salitre, San Pablo, San Pedro, Soatama, Sonsa y Tibita [16].

**Ilustración 1.** Cartografía municipio de Villapinzón



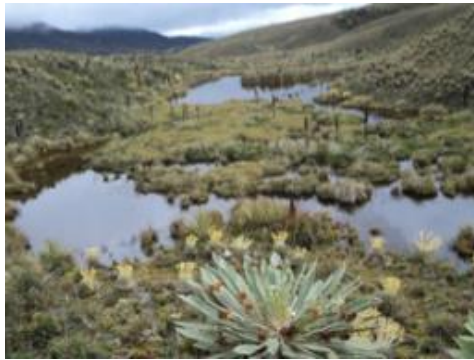
**Fuente [20].**

El presente estudio fue realizado en la vereda Chasques, la cual tiene un área de 1.850 hectáreas, lo que corresponde al 7,4% del territorio municipal, es una de las veredas de mayor importancia en cuanto al sistema hídrico del municipio ya que se encuentra parte del nacimiento del río Bogotá y se abastecen 3 acueductos rurales, en el sector medio se encuentra la Quebrada La Zorrera. La presencia de suelos altamente orgánicos es una de las características más relevantes de la edafología de la vereda, así mismo la presencia de bosque nativo primario y secundario de aproximadamente 700 hectáreas; la fauna es típica de páramo y subpáramo [16].

### **1.2 Páramo de Guacheneque**

El páramo de Guacheneque se encuentra a una altitud entre los 3.000 a 3.400 m.s.n.m, es de gran importancia debido a que se encuentra el nacimiento del río Bogotá, el cual a los 12 km desde su nacimiento alimenta 26 acueductos comunitarios que no cuentan con procesos de purificación del agua ya que en este punto el agua es considerada de excelente calidad y apta para consumo humano [15]. El páramo se encuentra rodeado de gran variedad de flora y fauna de bosque alto andino, como se muestra en la Ilustración 2, además de zonas naturales como el pozo de la nutria. Tiene una extensión de más de 1.200 hectáreas, y es una zona que se encuentra en protección por un acuerdo (acuerdo 10 de 1982) de la corporación regional autónoma (CAR) [21].

**Ilustración 2.** Páramo de Guacheneque



**Fuente. [21]**

### **1.3 Generalidades del área de influencia**

Para la correlación de los datos de la zona con la movilidad del Carbofuran, se seleccionó la estación “La Fortuna”, es una de las estaciones más cercanas que presenta datos de precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento, así como evaporación mensual de la zona; esta estación se encuentra ubicada en las coordenadas 05°17’N, 73°36’W en el departamento de Cundinamarca, en el municipio de Villapinzón, como se observa en la Ilustración 3.

**Ilustración 3. Ubicación estación La Fortuna**



**Fuente. [22]**

## 2 Marco teórico

### 2.1 Plaguicidas

Según la EPA, “un plaguicida es cualquier sustancia o mezclas de sustancias, de carácter orgánico o inorgánico, que está destinada a combatir insectos, ácaros, roedores y otras especies indeseables de plantas y animales que son perjudiciales para el hombre o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte comercialización de alimentos, producción de alimentos, productos agrícolas, madera, entre otros” [13].

Los plaguicidas se pueden clasificar de diferentes maneras dependiendo de la especie que se desea combatir (Cuadro 1), según su grado de toxicidad, el peligro que representan o su composición química.

**Cuadro 1.** Clasificación de plaguicidas según organismo que controlan

<b>Tipos de plaguicidas</b>	<b>Organismo que controlan</b>
Insecticidas	Insectos
Acaricidas	Ácaros y/o arañas
Herbicidas	Malezas
Fungicidas	Hongos
Rodenticidas	Roedores
Nematicidas	Nematodos
Molusquicidas	Caracoles y babosas
Bactericidas	Bacterias

**Fuente.** [23]

El Cuadro 2 presenta la clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su grado de toxicidad

**Cuadro 2.** Clasificación de plaguicidas según grado de toxicidad

<b>Grado de toxicidad</b>	<b>Características</b>
De baja peligrosidad	Los que por inhalación, ingestión y/o vía cutánea no entrañan riesgos apreciables
Nocivos	Los que por inhalación, ingestión, y/o vía cutánea pueden entrañar riesgos de gravedad limitada
Tóxicos	Los que por inhalación, ingestión, y/o vía cutánea pueden entrañar riesgos graves, agudos o crónicos
Muy tóxicos	Los que por inhalación, ingestión y/o vía cutánea pueden entrañar riesgos extremadamente graves, agudos o crónicos e incluso la muerte

**Fuente.** [23]

Los plaguicidas pueden ser clasificados como sumamente, muy poco o no peligrosos de acuerdo a sus características de toxicidad (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Clasificación de plaguicidas según peligro

<b>Clasificación según peligro</b>	<b>Características</b>
<b>IA</b> Sumamente peligroso	Muy toxico, el color de la banda de la etiqueta es rojo
<b>IB</b> Muy peligroso	Toxico, el color de la banda de la etiqueta es rojo
<b>II</b> Moderadamente peligroso	Nocivo, el color de la banda de la etiqueta es amarillo
<b>III</b> Poco peligroso	Cuidado, el color de la banda de la etiqueta es azul
<b>IV</b> Productos que normalmente no generan peligro	El color de la banda de la etiqueta es verde

**Fuente.** [24]

Finalmente, los plaguicidas es posible clasificar los plaguicidas de acuerdo a su composición química como lo muestra el Cuadro 4

**Cuadro 4.** Clasificación de plaguicidas según composición química

<b>Grupo químico</b>	<b>Ingrediente activo</b>
Arsenicales	Ácido arsénico, Zotox, ácido cacodílico, Bolate, Bophy, arsenito de calcio, Arsinyl, arsenato sódico, entre otros.
Carbamatos	Aldicarb, Carbofurano, fenoxicarb, metomilo, oxamilo, metiocarb, promecarb, entre otros.
Derivados de cumarina	Hidroxicumarinas, cumarinas
Derivados de urea	Linuron, Diuron
Dinitrocompuestos	DNOC, dinoterb
Organoclorados	DDT, dicofol, endosulfán, clordano, aldrin, dieldrin, endrina, entre otros.
Organofosforados	Paratión, malatión, cloritión, gutión
Organometálicos	Metilmercurio, tributilestaño
Piretroides	Aletrina, fenvalerato, permetrina, cipermetrina, entre otros.
Tiocarbamatos	Ferbam, ziram, mancozeb
Triazinas	Cloruro cianúrico, metribuzin.

**Fuente.** [25]

Se deben tener en cuenta diferentes aspectos fundamentales a la hora de efectuar la aplicación de los plaguicidas a los distintos cultivos, por ejemplo es fundamental seleccionar el equipo adecuado para la formulación del plaguicida empleado, la mayoría de estos se aplican como soluciones acuosas o suspensiones por medio de sistemas de aspersión hidráulicos, también se pueden usar equipos como los atomizadores rotatorios para poder elegir la velocidad deseada y el tamaño de las gotas a aplicar. Específicamente, los que son

diseñados para aplicar fungicidas e insecticidas producen gotas pequeñas, las cuales se mueven en dirección del viento [26].

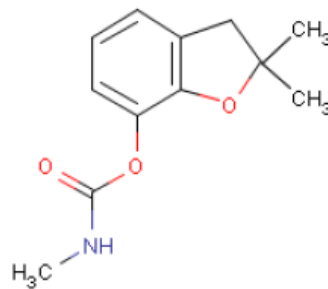
## 2.2 Carbofuran

El Carbofurano o Carbofuran es un plaguicida sistémico utilizado como insecticida, acaricida y nematicida, perteneciente al grupo químico de los carbamatos, estos son sustancias orgánicas conformadas por un átomo de nitrógeno junto con ácido carbámico, principalmente se caracterizan por su alta toxicidad, baja estabilidad química, nula acumulación en los tejidos, causan envenenamiento del sistema nervioso central (en los insectos).

Normalmente se emplean como insecticidas, sin embargo algunos son utilizados como fungicidas o herbicidas; ingresan al organismo por vía cutánea, respiratoria o digestiva, su principal vía de eliminación es la orina [27].

El Carbofuran integra un grupo sustituto de insecticidas persistentes como el DDT, clordano y heptacloro, el nombre químico (IUPAC) es 2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-il metilcarbamato. Su fórmula química es:  $C_{12}H_{15}NO_3$  [28]. La estructura química del Carbofuran se puede observar en la Ilustración 4 [29].

**Ilustración 4.** Estructura química del Carbofuran



**Fuente.** [29]

En cuanto a sus características físicas, a temperatura ambiente es un sólido cristalino de color blanco o gris, en forma de gránulos. Es poco soluble en los solventes convencionales de uso agrícola, pero presenta solubilidad elevada en diversos solventes orgánicos y en el agua, las principales vías de absorción son: vía gastrointestinal y dérmica [30].

Este plaguicida se usa para el control de una variedad de plagas de insectos que se presentan en diferentes cultivos de frutas, verduras u otros, principalmente en cultivos de alfalfa, alcachofa, plátano, cebada, café, maíz, algodón, uvas, avena, pimienta, plátano, papa, soja, remolacha, caña de azúcar, girasol y trigo, además también es usado en tierras agrícolas, plantas, arbustos, árboles, pino, entre

otros; las principales plagas que combate este plaguicida son: pulgones, escarabajos, diferentes gusanos, gorgojo, pulgas, polillas, saltamontes y nematodos; respecto al método de aplicación del Carbofuran, este se aplica en el suelo y en las plantas, se puede dar de forma aérea, sistemas de riego, pulverizadores y mediante equipos de mano [29].

En Colombia, el Carbofuran es aplicado principalmente para el control de diversas plagas que se generan en ciertos cultivos como: caña de azúcar, cereales, frutas, hortalizas y tubérculos [31], específicamente: en cucurbitáceas para control de nematodos (*Meloydogine spp*), en la cebolla para el gusano de la cebolla (*Hylemia antigua*), en la pimienta para nematodos, en el tomate para el pulgón (*Macrosiphum euphorbiae*, *Aphis gossypii*), en el arroz para el gorgojo, en el tomate de árbol para nematodos, en el lulo para ciertos vectores de virus, nematodos y cucarrones (*Diabrotica sp*, *Colaspis sp*), en la yuca para los gusanos blancos, en el plátano y banano para nematodos en la papa para el gusano blanco (*Premnotrypes*), en la arveja para control de insectos, en la palma africana para nematodos y ganoderma, en la mora para el barrenador del cuello (*Zascelis sp*) y en el cacao para nematodos [32].

Este insecticida actúa interfiriendo los impulsos nerviosos por inhibición de la acetilcolinesterasa, e ingresa en los organismos principalmente por contacto y por ingestión, por inhalación no se da en una medida representativa, debido al efecto sistémico que presenta, el insecticida al ser absorbido por las raíces de las plántulas, se presenta una mayor facilidad para que sea ingerido por los insectos [28].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Carbofuran se clasifica en el grupo 1b, es decir, altamente peligroso, ya que puede llegar a producir diferentes efectos adversos en las personas, dependiendo de la vía por la cual ingresa al organismo; además, según estudios realizados por la EPA, genera riesgos a diferentes especies de animales, y se ha comprobado que es un contaminante de las aguas superficiales y subterráneas [28].

### **2.2.1 Aplicación**

La aplicación del Carbofuran se realiza de manera manual con un sistema de aspersión; el funcionario debe llevar una mochila en su espalda como se evidencia en la Ilustración 5, se acciona a mano para obtener la presión de aplicación y dispone de una pistola en forma de lanza en el extremo, se utiliza generalmente cuando los cultivos son pequeños. La técnica de aplicación en este caso es mediante pulverizadores, ya que el plaguicida se encuentra en estado líquido y es impulsado a una determinada presión, al atravesar una boquilla calibrada le permite salir en forma de finas gotas [33].

### **Ilustración 5. Aplicación plaguicida**



**Fuente. [34]**

#### **2.2.2 Persistencia**

Este plaguicida cuenta con una vida media en los suelos de 30 a 60 días aproximadamente, básicamente se degrada por acción microbológica de tal forma que se produce dióxido de carbono, el Carbofuran cuenta con una baja adsorción en el suelo y alta solubilidad acuosa, lo cual contribuye a que este se encuentre fácilmente en aguas del ambiente (aguas superficiales, lagunas, aguas subterráneas), estudios revelan que este insecticida tiene una alta movilidad, lo cual indica que puede percolar hacia las aguas subterráneas, donde persiste en condiciones de pH y temperatura bajas [29]. Se ha demostrado que la vida media del Carbofuran varía dependiendo el contenido de materia orgánica, si es alto la persistencia es mayor [35].

#### **2.2.3 Toxicocinética**

Teniendo en cuenta las cuatro fases de la toxicocinética (absorción, distribución, metabolismo y eliminación), la del Carbofuran se puede describir de la siguiente manera:

En cuanto a las vías de absorción, este plaguicida puede ingresar al organismo de forma respiratoria, cutánea y gastrointestinal, el Carbofuran es un inhibidor de la colinesterasa [36], al ser inhalado se presentan efectos como flujo acuoso, malestar en el pecho, disnea, calambres abdominales, dolor de cabeza, dolor ocular, espasmos, sudoración, visión borrosa, debilidad, fatiga, temblor, entre otros [37].

La absorción por inhalación se presenta normalmente en la formulación, mezcla aplicación o almacenamiento del plaguicida [38]. Por vía cutánea, puede causar

efectos que tardan de 2 a 3 horas, como irritación, en caso de que se absorba gran cantidad del plaguicida a través de la piel, se pueden presentar varios síntomas mencionados anteriormente debido a la inhibición de la colinesterasa [37]. Esta absorción se presenta frecuentemente en intoxicaciones laborales, depende de las propiedades liposolubles del compuesto y se facilita la penetración cuando se presentan lesiones cutáneas en el individuo [38].

En cuanto a la absorción gastrointestinal, cuando se ingiere se suelen presentar efectos como vómito, náuseas, calambres abdominales, y algunos otros efectos mencionados en la absorción respiratoria, los síntomas se pueden presentar en minutos o tardar algunas horas [37]. Esta absorción se presenta normalmente por una ingestión voluntaria, o por consumo de alimentos que se encuentren expuestos al plaguicida [38].

Una vez en el organismo, actúa rápidamente en el hígado, sufriendo una hidrólisis a ácido metil carbámico y a otras sustancias de menor toxicidad, es importante tener en cuenta que este compuesto no se acumula en el organismo y su biotransformación se realiza a través de tres mecanismos principales: la hidrólisis, oxidación y conjugación [38]

Respecto a la eliminación del Carbofuran y de algunos carbamatos en general, se da por medio de la orina, heces y el aire expirado, sin embargo la principal vía de eliminación es por la orina [38].

#### **2.2.4 Factores que afectan la movilidad**

La movilidad del plaguicida depende de las condiciones físicas y químicas que presente el suelo en el que es aplicado, los factores que afectan directamente son la naturaleza del plaguicida, la naturaleza del suelo, la climatología y las labores agrícolas [11].

El plaguicida puede movilizarse sin que ocurran cambios en su estructura química por [39]:

Acarreo: Es el movimiento de finas partículas de plaguicida al momento en el que se aplica en el cultivo, el movimiento puede ser horizontal o vertical. Se ve afectado por la densidad del plaguicida, la velocidad del viento, la presión de la aplicación y el tipo de boquilla utilizado. En este caso el Carbofuran tiene una densidad de 1,18 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C; la velocidad del viento promedio de la zona está en el rango de 1,5 a 2 (m/seg), que según la escala de Beaufort es una brisa muy débil [40], la presión de la aplicación por el tipo de boquilla usado es alta lo que

garantiza que el plaguicida se aplique correctamente; para nuestro caso estos factores tienen poca influencia ya que en la zona la velocidad promedio del viento es baja y la presión de la boquilla con la que se aplica el plaguicida es alta.

Adsorción en el suelo: Los factores que intervienen en este proceso son la textura y el pH, en este caso la textura del suelo antes de ser impactado por el plaguicida es franco arcilloso, la adsorción en el suelo aumenta si este presenta valores altos de arcilla, lo que indica que si hay adsorción debido a que el suelo presenta un 31,4 % de presencia de arcillas antes de ser impactado. El pH obtenido es de 4,5 lo que beneficia la adsorción ya que esta se incrementa teniendo bajos valores de pH [39].

Percolación o infiltración: este factor también se ve afectado por la textura del suelo, que en este caso es bajo por los altos contenidos de arcilla en el suelo [39].

Escorrentía: los factores que afectan este proceso son, la topografía, pendiente, compactación y textura del suelo, materia orgánica, precipitación (intensidad, cantidad, tiempo). El terreno usado para esta investigación presentaba un bajo grado de pendiente lo que impide que las partículas de plaguicida viajen horizontalmente, el porcentaje de materia orgánica en el suelo es de 4,9 representando un valor medio según especificaciones del IGAC, a mayores porcentajes de materia orgánica encontradas en el suelo menor es la movilidad del plaguicida ya que sería retenido por esta y no se infiltraría a mayores profundidades, por la precipitación de la zona que presenta valores variados a lo largo del año, el plaguicida tendría mayores valores de escorrentía en los meses de abril y septiembre que son los meses con mayores valores y menor escorrentía en enero, junio y diciembre que son los meses con menores valores de precipitación [39].

O con cambios en su estructura química:

Fotólisis: En el suelo este proceso ocurre de 0.5 a 2 mm de profundidad, consiste en cambios químicos del plaguicida por interactuar con la luz ultravioleta presente en la zona. Los datos de radiación solar de Villapinzón varían de 320 a 380 (cal/cm<sup>2</sup>) en los meses en que se realiza el cultivo de papa [39].

Hidrólisis: Es un proceso donde se transforman moléculas de gran tamaño en unas más pequeñas y fácilmente degradables, principalmente es la reacción entre una molécula de agua con otra molécula (en este caso, moléculas del plaguicida) donde la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otro compuesto químico, cuando existe un pH bajo la concentración de los iones H<sup>+</sup>

acelera la hidrólisis y la descomposición de la materia orgánica también ayuda a este proceso [41]. Por lo tanto la hidrólisis es una de las causas de cambiar la estructura química del plaguicida (en este caso del Carbofuran) generando su descomposición y se efectúa cuando este reacciona con el agua [42].

Degradación microbiana: En este proceso cambia la estructura química del plaguicida debido a degradación microbiana, ocurre mayormente en las dos primeras pulgadas de suelo; pueden ocurrir dos tipos de degradación, en la primera (biodegradación) el plaguicida es metabolizado en  $\text{CO}_2$  y compuestos inorgánicos que los microorganismos utilizan para crecimiento y producción de energía; y la segunda (cometabolismo) el plaguicida es transformado pero no se utiliza como fuente de energía por el microorganismo. Los factores que afectan este proceso son: concentración del plaguicida, población microbiana, humedad, temperatura, pH y profundidad del suelo [39].

### **2.3 El cultivo de papa**

El cultivo de papa se considera que juega un papel importante en el sistema de alimentación mundial, contribuyendo a suplir los requerimientos energéticos y de nutrientes a más de dos millones de personas, especialmente en los países en desarrollo [43]. En Colombia su consumo per cápita anual es de 60 kilos, lo cual indica la importancia que esta tiene en la canasta familiar, este cultivo es la principal actividad agrícola de clima frío, abarcando aproximadamente 250 municipios (se estima un área sembrada de 160.000 hectáreas al año), es considerado una importante fuente de empleo a lo largo del país, ya que beneficia directamente a más de 110.000 familias; con una producción total anual cercana a 2'900.000 toneladas [44].

En Colombia, la producción de papa con fines comerciales se desarrolla en terrenos ubicados en zonas con altitudes entre los 2.000 a 3.000 m.s.n.m, teniendo en cuenta que la zona de producción óptima son aquellas con altitudes entre los 2.500 y los 3.000 m.s.n.m, es necesario seguir ciertas actividades para su cultivo como: la preparación del terreno, obtención de la semilla, siembra, mantenimiento, sistema de riego, fertilización, control de plagas, cosecha y mercadeo del producto [45]. Las principales zonas productoras se encuentran en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Nariño, donde se encuentra gran porcentaje de zonas de páramo de todo el país [44].

En el cultivo de este tubérculo se presentan diferentes ataques de plagas y algunas enfermedades que obligan a que los agricultores realicen procesos de prevención, manejo y control, teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos financieros con los que cuenta cada uno, (Cuadro 5); el daño que causan estos organismos depende de las condiciones ambientales (en su mayoría), además de la presencia de focos de infestación, calidad de la semilla, entre otros, a

continuación se presenta un cuadro con la información de las plagas y enfermedades más comunes que afectan el cultivo de papa [44].

**Cuadro 5.** Principales plagas y enfermedades del cultivo de papa

<b>Suelo / Tubérculo</b>	<b>Follaje</b>	<b>Almacenamiento</b>
Gusano Blanco de la papa <i>Premnotrypes vorax</i>	Pulguilla <i>Epitrix cucumeris</i>	Polilla pequeña o Palomilla <i>Phthorimaea operculella</i>
Polilla Guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i>	Tostón, mosco o entretelado <i>Lyríomyza quadrata</i> <i>Lyríomyza huidobrensis</i>	Polilla Guatemalteca de la Papa <i>Tecia solanivora</i>
Tiroteador <i>Naupactus</i> sp.	Muques o comedores de follaje <i>Copitarsia consueta</i> <i>Pedidroma</i> sp.	Afidos <i>Rhopalosiphoninus latysiphon</i>
Polilla Pequeña o Palomilla <i>Phthorimaea operculella</i>	Polilla Pequeña o Palomilla <i>Phthorimaea operculella</i>	Polilla Gigante de la Papa <i>Symmetrischema plaesiosema</i>
Chisa, mojoy o morrongo <i>Ancognatha scarabaeoides</i> <i>Phyllophaga obsoleta</i>	Polilla Gigante de la papa <i>Symmetrischema plaesiosema</i>	
Babosa <i>Milax gagates</i>	Trips <i>Frankliniella tuberosi</i> <i>Thrips palmi</i>	
	Chupadores Moscas blancas <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	
	Trozadores <i>Agrotix ípsilon</i> <i>Feltiasp.</i>	

**Fuente.** [46]

Los insectos que más atacan el tubérculo son la polilla guatemalteca, la palomilla, el gusano blanco (Ilustración 6), y el tiroteador, para estas plagas los agricultores aplican los insecticidas de diferente grado toxicológico en aspersiones dirigidas al follaje o al suelo, dependiendo del objetivo de control [46].

El Carbofed se aplica al cultivo de papa con el fin de controlar el gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) [47]. Esta plaga deposita sus larvas que perforan el

tubérculo, formando túneles en los que depositan sus excrementos dañando el cultivo [48].

#### **Ilustración 6.** Gusano blanco de la papa



**Fuente.** [49]

Otra plaga que afecta seriamente el cultivo de papa en Colombia es el nematodo dorado *Globodera* spp., este se encuentra en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca; son gusanos microscópicos que se alimentan de los nutrientes de la planta mediante succión [50]; lo que causa problemas en las raíces y evita el crecimiento normal de planta, causando grandes pérdidas económicas a los agricultores; las formas más comunes de atacar esta plaga son usando semillas certificadas, no cultivando papa seguido en el mismo terreno o usar plaguicidas nematicidas como el Carbofuran [51].

#### **2.4 Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)**

La cromatografía es un método físico que permite la separación de los componentes de una mezcla debido a la influencia de dos efectos contrapuestos, que son de retención y desplazamiento, el primero es un efecto producido sobre los componentes de la mezcla por una fase estacionaria, que puede ser un sólido o un líquido anclado a un soporte sólido, y el segundo es un efecto ejercido sobre los componentes de la mezcla por una fase móvil, que puede ser un líquido o un gas [52].

En la cromatografía líquida, la fase móvil es un líquido que fluye por medio de una columna que se contiene en fase fija, la separación cromatográfica en HPLC es el resultado de las interacciones específicas entre las moléculas de la muestra en ambas fases (móvil y estacionaria). La HPLC permite separar macromoléculas y especies iónicas, materiales poliméricos y una gran variedad de otros grupos polifuncionales de alto peso molecular [53].

## 2.5 Antecedentes

En Cundinamarca se tomaron unas muestras de suelo de una profundidad máxima de 20 cm con el fin de determinar la adsorción-desorción del Carbofuran, se escogieron lotes en descanso para evitar la interferencia de residuos de Carbofuran, se realizó el análisis físico y químico de las muestras de suelo, para el ensayo se tuvieron en cuenta concentraciones diferentes del plaguicida (relacionándolo con las concentraciones aplicadas en los cultivos de fresa de la zona), los resultados se obtuvieron gracias a un cromatógrafo líquido de alta eficacia, una de las conclusiones de la investigación es que el Carbofuran (Furadan) tiene una mayor adsorción en el suelo con mayor contenido de carbono orgánico, no obstante el plaguicida se clasifica entre móvil a moderadamente móvil por lo que puede lixiviar a través del perfil de los suelos y contaminar las aguas subterráneas [54].

En Cali se realizó un estudio nombrado “Movilidad de los plaguicidas Carbofuran e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept”, en primer medida se realizó una caracterización del suelo, donde se obtuvieron datos de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, granulometría y conductividad, en segunda medida para el ensayo de movilidad se tuvieron en cuenta columnas empacadas de suelo disturbado siguiendo las condiciones de la guía OECD 106, usando unas columnas de 30 cm de alto y 5.2 cm de ancho, simulando una lluvia de 300 mm por 48 horas (687 ml / 48 horas) a las cuales se adicionaron 3.4 mg de cada plaguicida, se determinó la concentración de los plaguicidas en el lixiviado de las columnas.

Las mediciones de la concentración de cada plaguicida, se realizaron mediante el método de fluorescencia, también se realizó un ensayo de movilidad en campo, por medio de un lisímetro de campo; para el análisis de resultados, hallaron el coeficiente de retardo de los plaguicidas (Carbofuran = 4,29 e imidacloprid = 6,09), de lo cual se concluyó que el Carbofuran presenta una mayor velocidad de transporte, lo que indica un mayor potencial de contaminar las fuentes subterráneas [55].

Una investigación en Argentina revela los métodos para poder determinar Carbofuran, debido a la química de los carbamatos generalmente implican el uso de un solvente, la detección clásica de los carbamatos se apoya sobre métodos de la química analítica, como la cromatografía, espectrometría UV y espectrometría de masa, la cromatografía se basa en el principio de separación de una mezcla de compuestos orgánicos presenta distintas variantes: gaseosa,

líquida y líquida de alta resolución (HPLC). Los métodos con mayor precisión de análisis de carbamatos son los cromatográficos especialmente el HPLC [56].

A raíz de la anterior investigación, se realizó un ensayo de movilidad del Carbofuran en columnas de suelo, se seleccionó un suelo correspondiente a un Kandihumult típico que no presentaba tratamiento con pesticidas, se tomaron muestras superficiales de suelo entre 0 a 20 cm de profundidad (los tratamientos en este estudio se dividen en el contenido de MO, uno con 3% y otro con 5%, con 3 repeticiones cada uno), las columnas de suelo se prepararon en tubos de PVC de 46 mm de diámetro y 200 mm de largo en el inferior se adicionó una capa de malla de nylon (para el filtro), se adicionaron 280 g de suelo tamizado al cual se le aplicó 66 mg de Carbofuran y agua destilada con el fin de facilitar la lixiviación, se efectuaron 4 muestreos del agua percolada a los 0,5,8 y 15 días, las concentraciones del plaguicida se determinaron mediante HPLC. Los resultados de este ensayo muestran que hay diferencias de la movilidad respecto al contenido de materia orgánica, en el tratamiento con menor nivel de MO el Carbofuran fue arrastrado casi en totalidad en el lixiviado, por otro lado, en el tratamiento con mayor contenido de MO el arrastre del plaguicida fue más lento, teniendo en cuenta que el contenido de MO disminuye el transporte de agroquímicos a través del suelo; el experimento explica que ante un exceso de agua se puede provocar una rápida movilidad hacia una mayor profundidad del perfil de suelo [57].

También en Argentina se realizó un ensayo en columnas de suelo, se hizo uso de tubos de PVC de 46 mm de diámetro y 200 mm de largo, se trabajó con un suelo correspondiente a molisol de la localidad de San Martín, con 4 tratamientos: suelo hortícola (0-20 cm y 20-40 cm) y suelo en descanso (0-20 cm y 20-40 cm), cada uno con 4 repeticiones, cada columna contenía 300 g de suelo tamizado y se saturaron con agua destilada además se adicionó 66 mg/l de Carbofuran, periódicamente se agregaban volúmenes conocidos de agua para mantener las columnas de suelo a capacidad de campo, la extracción de las muestras de suelo se efectuó a los 0,7, 30 y 60 días de aplicado el plaguicida, la extracción del Carbofuran se realizó mediante la utilización de un solvente orgánico (acetato e etilo) para poder hacer uso de HPLC, los resultados se analizaron mediante el método estadístico ANOVA y se realizó la prueba de diferencias de medias de Tukey, de esta investigación se pudo concluir que el Carbofuran presenta movilidad en todos los tratamientos la cual depende de la materia orgánica presente en el suelo (la retención del plaguicida está relacionada con el contenido

de MO), también se concluye que a medida que pasa el tiempo la concentración del plaguicida va disminuyendo [58].

En la región de Mnasra en Marruecos, se llevó a cabo un estudio experimental del movimiento de agua y transporte del Carbofuran sobre el suelo de una parcela agrícola para poder evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas a causa de este plaguicida, se utilizó un modelo matemático el cual representa el destino del plaguicida dependiendo del sistema de riego utilizado además del contenido de agua y concentración de este en el suelo, en la parte experimental se trabajó teniendo en cuenta niveles de riego mayores para poder facilitar la lixiviación (350 mm), las simulaciones usadas en el estudio muestran que el Carbofuran alcanza una profundidad de 100 cm e indican que de acuerdo al índice de movilidad del plaguicida este lixivia fácilmente después de una lluvia intensa o riego repetitivo, en este caso los resultados recalcan la importancia de los métodos de riego y se concluye que las aguas subterráneas están expuestas a contaminación a causa de la lixiviación del Carbofuran especialmente en suelos que presentan bajo contenido de arcilla y poca cantidad de materia orgánica [59]

## 2.6 Marco legal

Para el presente estudio es importante tener en cuenta la normativa legal existente respecto al manejo, manipulación, disposición final, entre otros, de los plaguicidas en Colombia, en el Cuadro 6 se puede evidenciar la normativa más importante que se maneja en el país respecto a los plaguicidas.

**Cuadro 6.** Legislación de plaguicidas en Colombia

Normativa	Objetivo
Ley 9 de 1979	<p>Establece normas necesarias para la protección de la salud de las personas en cuanto a la fabricación, transporte, almacenamiento, disposición y uso de los plaguicidas.</p> <p>Prohíbe el contacto de los plaguicidas con alimentos, medicamentos, o cualquier sustancia que al ser contaminada pueda generar un riesgo en la salud humana; también establece normas sobre los residuos de los plaguicidas, con el fin de generar una</p>

	disposición óptima.
Decreto 1843 de 1991	<p>Se reglamentan algunos títulos de la ley 09 de 1979 respecto al uso y manejo de plaguicidas. Se debe tener en cuenta un control y vigilancia epidemiológica con el fin de que no se generen afecciones a la salud de la comunidad, sanidad animal, y deterioro al ambiente.</p> <p>Se presenta la clasificación de toxicidad y el permiso de uso en el país.</p>
Decreto 1840 de 1994	Reglamenta el artículo 65 de la ley 101 de 1993, se asigna al ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) el control y vigilancia del uso y manejo de plaguicidas, teniendo en cuenta concepto toxicológico y licencia de venta.
Resolución 03759 de 2003	Se dictan disposiciones sobre el registro y control de los plaguicidas químicos de uso agrícola, reglamenta que solo los que cuenten con el registro otorgado por la ANC-ICA, podrán fabricar, importar, exportar, envasar y distribuir plaguicidas químicos de uso agrícola.
Decreto 1443 de 2004	Establece medidas ambientales para el manejo de los plaguicidas, y para la prevención y el manejo seguro de los residuos peligrosos que provienen de estos, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.
Ley 1252 de 2008	Deroga a la Ley 430 de 1998, reglamenta que en cuanto a la

	<p>generación de los residuos peligrosos, se debe realizar una caracterización físico-química de los residuos, se deben implementar planes de gestión integral de residuos peligrosos, garantizar que el envasado y etiquetado se realice de una forma adecuada, no se deben eliminar los residuos en ecosistemas estratégicos o zonas donde no sea permitida esta acción.</p>
Resolución 1231 de 2013	<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se niega dentro del proceso de reevaluación el dictamen técnico ambiental para el producto formulado FURADAN, a partir del ingrediente activo Carbofuran.</p>

**Fuente.** Las Autoras

También se tuvo en cuenta la legislación internacional ya que en Colombia no se cuenta con normativa específica para el Carbofuran.

En países como Estados Unidos se han venido implementando diferentes normas o leyes que prohíben o restringe el uso de Carbofuran, en 1991 a través de un acuerdo de la EPA, se limitó la venta de Carbofuran y desde 1994 sólo se podía usar este plaguicida en ciertos cultivos y el número de aplicaciones fue reducido en algunos suelos para disminuir las concentraciones en aguas subterráneas, desde entonces está clasificado como un plaguicida de uso restringido [60].

En el 2008, Estados Unidos presentó un borrador de Notificación de Aviso de Cancelación de Registro (NOIC) [61], en este documento básicamente se presenta los detalles de todos los procesos técnicos y las pruebas de laboratorio que se realizaron con el Carbofuran, contaron con estudios de toxicidad realizados en ratas y algunos pájaros, gracias a estos estudios, llegaron a la conclusión que los productos que contienen Carbofuran generalmente ocasionan efectos adversos a los seres humanos y al ambiente [60].

En la Unión Europea, gracias a la Comisión de las Comunidades Europeas, se tomó la decisión de cancelar todas las autorizaciones de los productos que

contienen Carbofuran, para evitar los efectos que este producía a la salud humana y al ambiente, a finales del 2008 se cumplió el plazo para el retiro definitivo de todos los productos que contenían Carbofuran en el mercado [61].

Este plaguicida ha sido restringido en países como China, Argentina, Estados Unidos y Panamá, en este último solo puede ser aplicado por personal aprobado por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario con un equipo especial, también se prohibió usarlo en zonas residenciales, afluentes o cursos de aguas naturales [61].

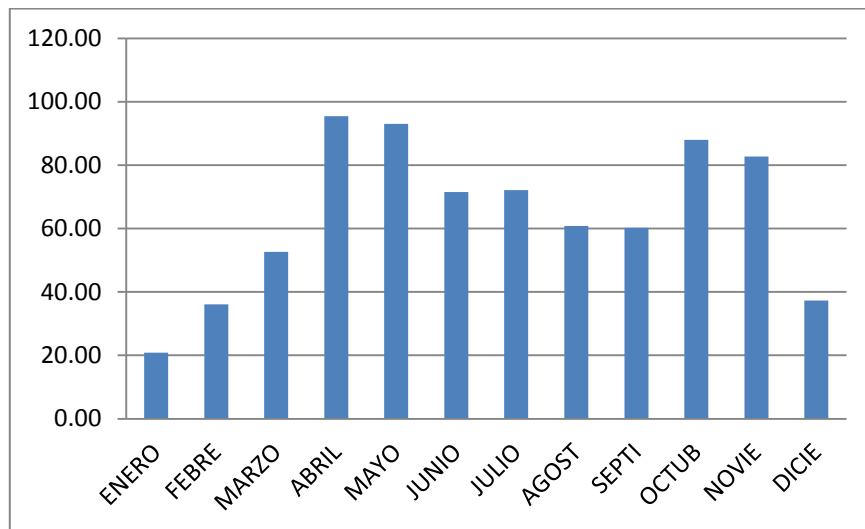
## 2.7 Climatología del sector

Dado que la estación “La Fortuna” no cuenta con datos completos de temperatura y humedad relativa, es necesario tener en cuenta datos de estaciones que se encuentran fuera del municipio para poder realizar un análisis completo de los aspectos climáticos del sector [16].

### 2.7.1 Precipitación total mensual

En la Gráfica 1 se puede observar que la precipitación mensual de la zona en milímetros, es bimodal teniendo mayores valores en los meses de abril y octubre, y menores valores de precipitación en los meses de enero a marzo y diciembre (Ver Anexo 2).

**Gráfica 1.** Precipitación total mensual (promedio) (mm)

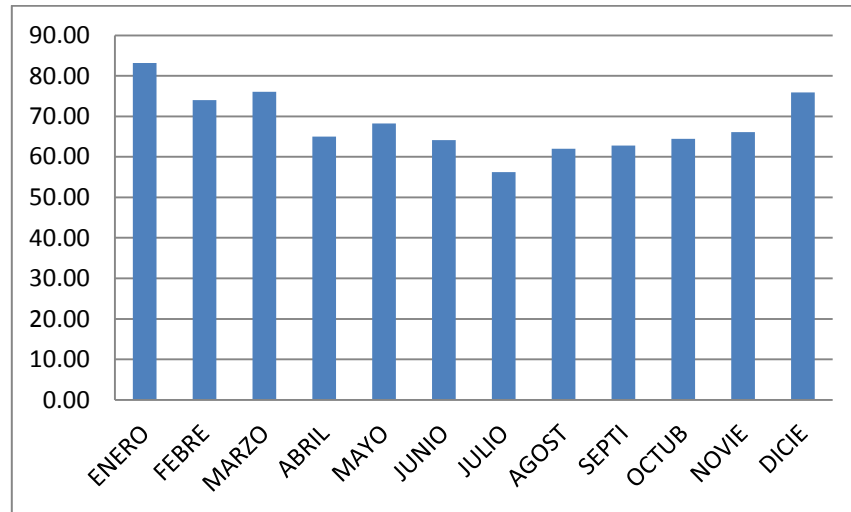


Fuente. [22]

### 2.7.2 Evaporación

En la Gráfica 2 se observan los valores de evaporación de la zona, en promedio presentan un comportamiento monomodal, en los meses de junio a agosto presentan menores valores y en los meses de enero y diciembre presentan mayores valores de evaporación (Ver Anexo 2).

**Gráfica 2.** Evaporación (promedio) (mm)



Fuente. [22]

### 2.7.3 Temperatura

En esta zona la temperatura está determinada por gradientes topográficos o altitudinales, que ocasionan una disminución de la temperatura del aire de aproximadamente de  $0,6^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de elevación, según el IDEAM se reporta una temperatura media mensual de  $12^{\circ}\text{C}$  con valores máximos promedio mensual de  $14^{\circ}\text{C}$  y mínimos de  $10^{\circ}\text{C}$  [16].

### 2.7.4 Humedad relativa

En el municipio se registran valores de humedad relativa mínima del 75% en el mes de enero y máximas del 95% en el mes de julio, normalmente los valores medios de humedad sobrepasan el 80% en todas las épocas del año [16].

### 2.7.5 Brillo solar

En cuanto a brillo solar hay un registro promedio anual de 113,9 horas con un máximo de 135,8 y un mínimo de 88,2 horas [16].

## **2.8 Geología de la zona**

La estratigrafía de la vereda Chasques está constituida por diferentes formaciones:

- Aluvión y coluvión: pertenece al período cuaternario, se caracteriza por contener arcilla limosa lacustre, depósitos glaciales, terraza de material no consolidada y depósito sedimentario húmedo. Los aluviones recorren grandes distancias y se depositan en capas o estratos delgados, poseen materiales que son aptos para la extracción de agregados utilizados en construcción. Estos corresponden a las zonas más planas del municipio [16].
- Formación areniscas del Cacho: corresponde al período terciario, se caracteriza por contener areniscas cuarzosas de grano medio [16].
- Formación Guadalupe Superior: Pertenece a la edad del Cretáceo Superior, se divide en tres partes, la parte superior se caracteriza por contener arenisca cuarzosa de grano medio, la parte media se caracteriza por contener limolita cuarzosa, sílicea en capas delgadas y arcillita limosa, la parte inferior se caracteriza por contener arenisca cuarzosa de grano medio y arcillita limosa [16].

### **2.8.1 Geomorfología de la zona**

Esta hace referencia a la topografía, teniendo en cuenta la configuración del paisaje, la inclinación, concavidad, convexidad, exposición de la pendiente, transporte, erosión y deposición de materiales, la geomorfología de la vereda Chasques comprende las siguientes formaciones:

- Formación areniscas del Cacho: forma escarpes fuertes que se destacan en el terreno, en límites con Lenguaque constituye colinas aisladas del tipo e montañas y colinas erosionales [16].
- Formación Guadalupe Superior: En esta unidad se originan montañas y colinas estructurales desde moderadamente inclinadas hasta fuertemente inclinadas debido a las rocas que se encuentran. Generalmente constituyen altas pendientes y en algunas zonas se conforman pequeños altiplanos, los cuales son utilizados para labores agropecuarias. También se encuentran materiales aptos para construcción, sin embargo su extracción puede generar daño ambiental por la destrucción de las areniscas debido a que presenta alta capacidad de almacenamiento de agua la cual alimenta los acuíferos y nacimientos del río Bogotá [16].

## **2.9 Edafología**

La caracterización del suelo se divide en las propiedades físicas y químicas, las cuales se han agrupado por el material, drenaje, erosión entre otras características morfológicas [62]; de acuerdo al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Villapinzón las propiedades físicas y químicas del suelo de la vereda Chasques son las siguientes:

### **2.9.1 Propiedades físicas**

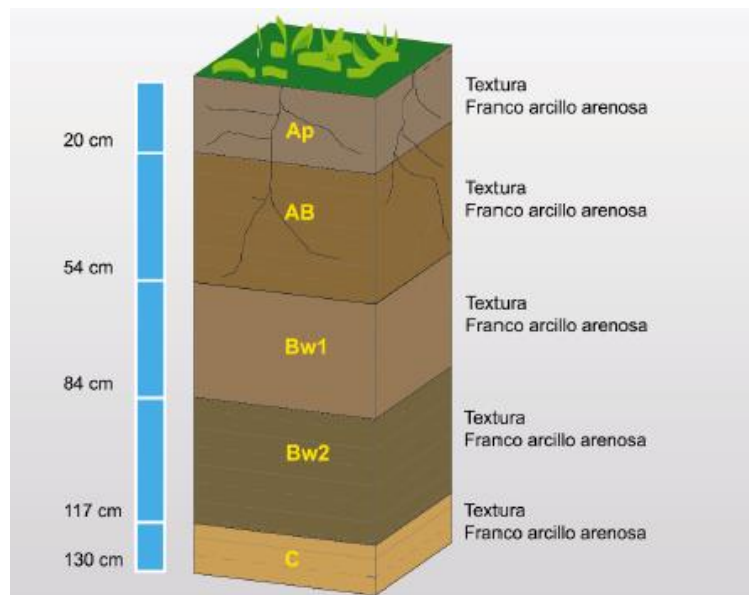
- Textura: en los primeros horizontes se encuentran principalmente texturas francas y franco-arcillosas, a mayor profundidad incrementa el contenido de arcilla, lo que permite una mayor retención de agua y nutrientes para las plantas [16].
- Estructura: en los primeros horizontes presenta una formación de bloques subangulares debido a la interacción del material orgánico y la arcilla, que se da por las variaciones de humedad y temperatura favoreciendo la permeabilidad de agua y aire [16].
- Consistencia: en general se presenta una consistencia friable en los primeros horizontes debido a la presencia de materia orgánica la cual ayuda a aumentar el contenido de humedad y firme en los últimos [16].
- Color: en los primeros horizontes debido al contenido de materia orgánica predomina el color negro, pardo y gris oscuro [16].
- Drenaje: la mayor parte de los suelos presentan una estructura fina lo cual genera que el drenaje interno sea de lento a muy lento, y debido a las pendientes hace que el drenaje externo sea muy rápido [16].

### **2.9.2 Propiedades químicas**

- pH: generalmente en los suelos de paramo, está comprendido entre 4,4 y 5,2, lo que indica la presencia de aluminio intercambiable en cantidades variables entre 0,2 y 6,5 meq/100 gr de suelo, lo que se considera determinante para los cultivos [16].
- Contenido de carbono orgánico: mide el porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno, normalmente se encuentran valores entre 11 – 19 % lo que se considera alto debido a la mineralización lenta que se presenta [16].
- Bases intercambiables, bases totales y saturación de bases: son una medida de fertilidad de los suelos, en zonas de paramos se presentan valores bajos a muy bajos, lo cual se ha visto afectado por la fertilización de los cultivos de papa [16].



### Ilustración 8. Textura del suelo



Fuente. [64]

Teniendo en cuenta el complejo de la zona (CC-228), los resultados de análisis químicos muestran que son suelos de reacciones extremada a fuertemente ácida, con altos contenidos de calcio, potasio y fosforo en el horizonte superficial, los cuales van disminuyendo en horizontes inferiores, en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases son altas en el primer horizonte y también van decreciendo a medida que aumenta la profundidad, la fertilidad en general es moderada a alta [64].

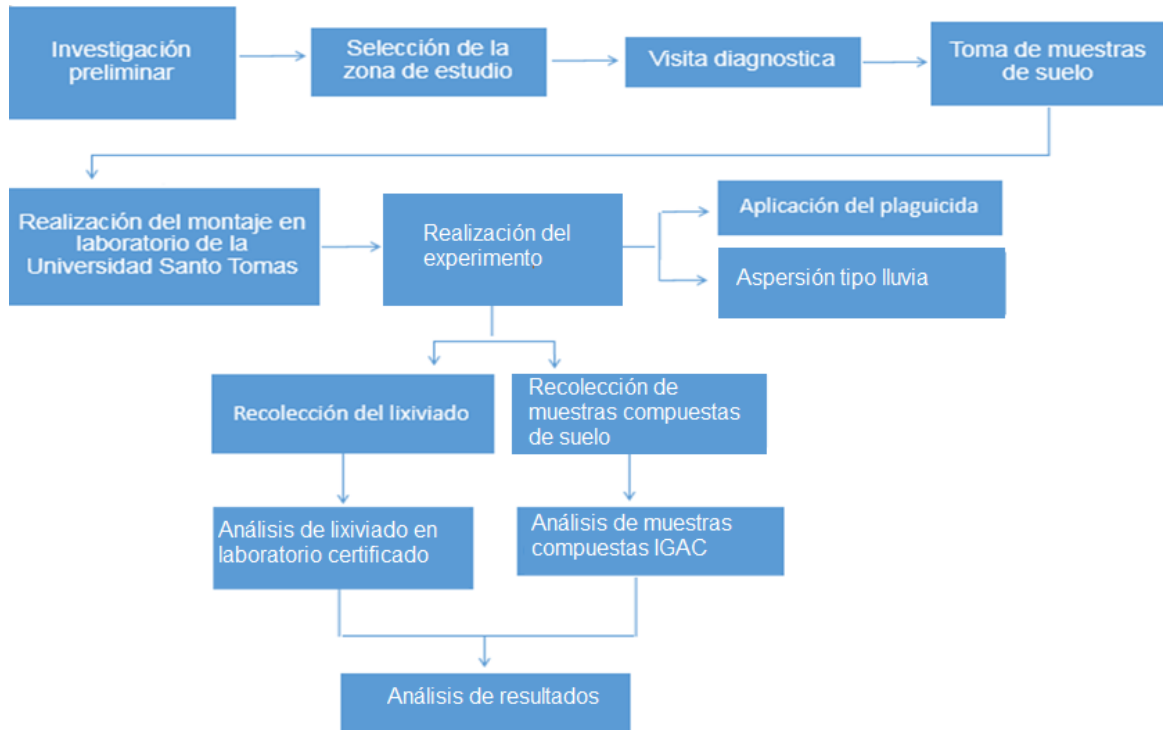
Respecto a los perfiles que presenta este suelo, se puede distinguir que la textura es franco arcillo arenosa, de 0 – 16 cm se presenta una gran actividad de macroorganismos el pH es de 5.0, de 16 – 41 cm, también se presenta un color negro poros medios, actividad de macroorganismos y el pH es de 4.7, de 41-52 cm el color es una mezcla de pardo grisáceo muy oscuro y pardo grisáceo oscuro, se sigue presentando actividad de macroorganismos y el pH es de 4.5, de 52 – 66 cm, se presenta una mezcla de color de pardo grisáceo oscuro y amarillo, se da poca actividad de macroorganismos y el pH es de 4.5 [64].

Por lo general en esta zona se cuenta con un porcentaje de arcilla entre 18 a 35% lo que lo caracteriza por ser un suelo de textura media, lo que indica que el suelo tiene un buen desempeño agrícola, y tienen tendencia uniforme a retener agua [64].

### 3 METODOLOGIA

La determinación de la movilidad del plaguicida Carbofuran en el cultivo de papa y los posibles efectos al entorno se llevó a cabo como se muestra en la Ilustración 9

**Ilustración 9.** Diagrama de flujo metodología



**Fuente** Las Autoras

#### 3.1 Selección de la zona de estudio

Se seleccionó una finca en el municipio de Villapinzón, en la cual se realizan actividades como ganadería y agricultura, específicamente se trabaja el cultivo de papa, para esta selección se tuvo en cuenta que esta zona es de gran importancia por ser zona de subpáramo, también por su cercanía al río Bogotá en la parte alta de la cuenca y por la importancia de la zona ya que las fuentes hídricas que se encuentran allí, abastecen a varias poblaciones. Así mismo condiciones como: la facilidad de acceso, la posibilidad de seleccionar diferentes terrenos para la toma de muestras, el monocultivo de papa, el tipo de suelo presente en la zona, formaron parte de los criterios de selección.

De acuerdo a estos criterios, se seleccionó la finca San José, de la vereda Chasques en el municipio de Villapinzón, es importante recalcar que en el terreno escogido no se realiza ningún tipo de cultivo hace dos años, para certificar que no había ningún residuo del plaguicida en la zona que pudiera afectar el posterior análisis de datos en laboratorio.

En Junio del 2014, se realizó la primer visita a la finca de estudio, donde se identificaron los lotes de donde se podrían extraer las muestras necesarias de suelo, además se realizó una entrevista al dueño de la finca, quien es agricultor de la zona desde hace ya varios años, por lo tanto tiene gran conocimiento en cuanto a los cultivos de papa de la zona.

Posteriormente, se realizó una visita a la finca, donde se tomaron todas las muestras necesarias de suelo, para poder realizar el montaje de laboratorio y obtener los análisis de la práctica, el terreno se escogió con el fin de tener certeza de que no existan residuos de plaguicidas en el suelo.

### **3.2 Extracción de las muestras de suelo**

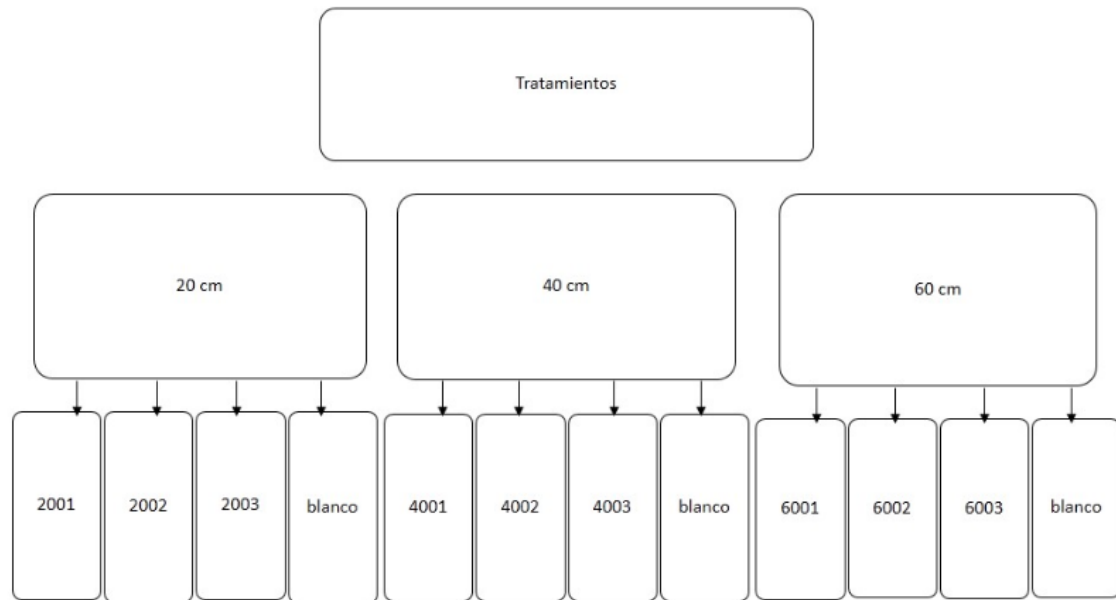
La extracción de las muestras de suelo se divide en dos: la primer parte consiste en la caracterización química del suelo y la segunda parte consiste en el estudio de movilidad del Carbofuran.

En primera medida, el método de muestreo seleccionado fue el de zig-zag, con el fin de recolectar una muestra compuesta de suelo [65], fueron tomadas 10 muestras cada 10 metros, para obtener un total de 2 kilogramos de suelo, en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se llevó a cabo una caracterización química de la muestra compuesta lo que permitió reconocer exactamente el tipo de suelo trabajado, la caracterización se divide en diversos parámetros y métodos: medida de pH mediante un pH-metro y método de potenciómetro, determinación de materia orgánica (carbón orgánico) mediante el método de Walkley Black, la textura del suelo mediante el método de Bouyoucos, determinación de fosforo por medio del método Bray II, la capacidad de intercambio catiónico y las bases totales mediante acetato de amonio y cuantificación por volumetría [66].

En segunda medida, para el estudio de movilidad del Carbofuran se tomaron 12 muestras de suelo en un punto específico del terreno de la finca con el fin de garantizar que todas cuenten con características físico-químicas similares, ya que para el presente estudio el único factor a variar es la profundidad del suelo, estas muestras fueron recolectadas en tubos de PVC, que facilitaba la extracción del

suelo sin ser alterado; las muestras se dividieron en tratamientos y testigos: contando con 3 tratamientos diferentes, los cuales fueron diferenciados por alturas del suelo, el primer tratamiento refería una altura de 20 cm, el segundo de 40 cm y el tercero de 60 cm, cada uno de ellos contó con 3 repeticiones y un blanco o testigo, como se puede observar en la Ilustración 10.

**Ilustración 10.** Esquema de los tratamientos de la investigación



**Fuente** Las Autoras

Estos tratamientos se escogieron con el objetivo de diferenciar la movilidad del Carbofuran a distintas profundidades de suelo y poder determinar si a la mayor altura del suelo (60 cm) existe o no presencia del plaguicida, teniendo en cuenta estudios donde se ha trabajado con columnas de suelo de 20 cm donde se observó una movilidad del plaguicida representativa [57], además de ensayos de movilidad que se han realizado hasta alturas de 30 cm comprobando que existe presencia de Carbofuran en esta altura [55].

### **3.3 Realización del montaje**

Teniendo en cuenta lo mencionado por Micol Mastrocicco, el uso de las columnas de suelo es un método muy factible para predecir la movilidad de plaguicidas con ayuda de cromatografía líquida (HPLC) [67], además Gutiérrez afirma que el uso de columnas empaquetadas ayudan a determinar la movilidad de Carbofuran y el Imidacloprid [55], y con respecto a los materiales permitidos

para las columnas de suelo según la guía OECD 312 (*Organization for Economic Co-operation and Development*, ver Anexo 3), por tal motivo se escogieron columnas de PVC para la realización del montaje.

Cada columna tenía un diámetro de 7,62 cm (3 pulgadas), 4 de ellas contaban con una altura de 30 cm (contenían 20 cm de suelo), otras 4 con 50 cm de altura (contenían 40 cm de suelo) y las últimas 4 presentaban una altura de 70 cm (contenían 60 cm de suelo). Se construyó un soporte de madera que contaba con una altura de 40 cm, 55 cm de largo y 70 cm de ancho, en el cual se sostenían los 12 tubos con el fin de que quedaran suspendidos para poder recolectar el lixiviado en la parte inferior, como se muestra en la Ilustración 11.

**Ilustración 11.** Montaje de las columnas de suelo



**Fuente.** Las Autoras

Teniendo en cuenta que el lixiviado es la fase acuosa que percola a través de un perfil o una columna de suelo, en la parte inferior de cada tubo se implementó un filtro de arena de cuarzo, siguiendo como referencia la OECD 312; luego de cada filtro cada tubo venía condicionado con una tapa la cual contaba con orificios que permitieron la percolación del lixiviado que fue recogido en recipientes plásticos PET, este lixiviado fue llevado a un laboratorio certificado para hallar la concentración del ingrediente activo en cada muestra por medio de HPLC; el montaje se realizó en el laboratorio de concreto y hormigón de la Universidad Santo Tomas, donde también se efectuó el ensayo.

### 3.4 Realización del ensayo

Uno de los factores fundamentales para realizar el ensayo fue conocer la cantidad exacta de plaguicida que se aplicó a cada una de las muestras, teniendo en cuenta la cantidad real que se le aplica al cultivo de papa en la finca escogida; para ello se realizaron los cálculos correspondientes.

#### 3.4.1 Cálculos para la aplicación del plaguicida

Para los cálculos se tuvo en cuenta la información proporcionada por el agricultor de la finca, la finca escogida tiene una extensión de una hectárea para la cual se debe usar 5 litros de plaguicida Carbofuran los cuales se disuelven en 200 litros de agua.

$$5 \text{ Litro de plaguicida} \rightarrow 200 \text{ litros de agua}$$

Un litro de plaguicida se disuelve en 40 litros de agua

$$1 \text{ litro de plaguicida} \rightarrow 40 \text{ litros de agua}$$

Para nuestro estudio usamos dos litros de agua que era la capacidad del aspersor, haciendo la conversión 0,05 litros de plaguicida se deben disolver en los 2 litros de agua que contenía el aspersor.

$$0,05 \text{ litros de plaguicida} \rightarrow 2 \text{ litros de agua}$$

Haciendo la conversión a mililitros para la mezcla se usaron 50 ml de plaguicida los cuales se disolvieron en 2.000 ml de agua; sumando la cantidad de plaguicida y de agua que se agregó en el aspersor da un valor de 2.050 ml de la solución, la cual se dividió en las nueve columnas a las cuales se les aplicó 228 ml de la solución en dos ocasiones con ocho días de diferencia, según como lo hacen los agricultores de la zona, a los blancos se les aplico la misma cantidad pero solo de agua destilada.

$$50 \text{ ml de plaguicida} + 2000 \text{ ml de agua} : 2050 \text{ ml de la solución}$$

$$\frac{2050 \text{ ml de la mezcla}}{9} : 228 \text{ ml de la solución}$$

#### 3.4.2 Cálculos para la cantidad del ingrediente activo

Teniendo en cuenta que la concentración inicial del Carbofed es de 330 g/l , y que el plaguicida se aplicó dos veces, una cada ocho días y la cantidad fue de 50 ml de Carbofuran en 2 litros de agua, se tiene que:

$$50 \text{ ml} * 330000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 16500000 \frac{\text{mg ml}}{\text{l}}$$

$$\frac{16500000 \frac{\text{mg ml}}{\text{l}}}{2000 \text{ ml}} = 8250 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 8.25 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$

8.25 g/l, es la concentración del Carbofuran en 50 ml de este.

Teniendo en cuenta la segunda vez que se aplicó el plaguicida, se tiene que:

$$100 \text{ ml} * 330000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 33000000 \frac{\text{mg ml}}{\text{l}}$$

$$\frac{33000000 \frac{\text{mg ml}}{\text{l}}}{4000 \text{ ml}} = 8250 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 8.25 \frac{\text{g}}{\text{l}} \text{ Concentración del ingrediente activo}$$

Lo cual afirma que la concentración del plaguicida es de 8.25 g/l en los 100 ml totales que se agregaron durante la parte experimental.

Para la cantidad inicial del ingrediente activo que se aplicó a todas las muestras, se tuvo en cuenta la cantidad total tanto de agua destilada como de la mezcla con el plaguicida durante los 10 días, lo cual da un total de 1156 ml o 1.156 l, por lo tanto se obtiene que:

$$1.156 \text{ l} * 8250 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 9537 \text{ mg} = 9.537 \text{ g} \text{ Cantidad del ingrediente activo}$$

La concentración inicial del Carbofuran es de 330 g/l [68], por lo tanto la concentración aplicada en las 9 columnas analizadas fue de 8.25 g/l, es decir que la cantidad inicial del ingrediente activo del Carbofuran aplicado en cada columna es de 9,537 g.

### 3.4.3 Aplicación del plaguicida

Siguiendo la guía OECD, es importante realizar una simulación de precipitación en las columnas, para obtener óptimos resultados, teniendo en cuenta que la precipitación es uno de los factores que más influye con respecto a la movilidad de plaguicidas [9]; por lo tanto desde el primer día de montaje se realizó la simulación de precipitación mediante un sistema de goteo con ayuda de botellas de plástico de 1,5 litros de capacidad, como se puede observar en la Ilustración 12.

Se aplicaron 100 ml de agua destilada diariamente exceptuando los dos días que se aplicó el plaguicida (ya que en estos 2 días se aplicó el plaguicida diluido en agua destilada, por lo tanto no era necesario volver aplicar los 100 ml por goteo), la duración del goteo era de 2 horas diarias, lo cual contribuyó a que se obtuviera mayor cantidad de lixiviado de cada columna.

**Ilustración 12.** Simulación de precipitación por goteo



**Fuente.** Las Autoras

Para la aplicación del plaguicida, se tuvieron en cuenta distintos factores: en primera medida, se evaluó la hoja de seguridad del plaguicida Carbofed (ver Anexo 1), ya que es un elemento de gran toxicidad; en segunda medida era fundamental contar con agua destilada para la dilución del plaguicida, además de un aspersor con buena capacidad para simular el método de pulverización como se muestra en la Ilustración 13 donde se puede observar que la boquilla es de turbulencia o chorro cónico, específicamente de cono lleno donde el difusor presenta un orificio central además de los periféricos lo cual permite que la pulverización llene el cono y ayuda a incrementar el tamaño de la gota [33] , y por último se tuvo en cuenta los datos exactos de cuanto plaguicida (Carbofuran) usan en el cultivo, en cuanto agua lo disuelven y cada cuanto lo aplican, esto con el fin de poder adaptar la práctica a la realidad.

### **Ilustración 13.** Aspersión del plaguicida



**Fuente.** Las Autoras

Para evitar contacto directo con el plaguicida, posibles derrames o accidentes con este, se aplicó con ayuda de una jeringa al aspersor (como se observa en la Ilustración 14), para tener mayor exactitud en la aplicación del plaguicida y también para mayor seguridad personal; para esta investigación, se aplicó a cada columna un total de 700 ml de agua destilada utilizada para la simulación de precipitación (100 ml por día), es decir que el método de goteo solo se realizó durante 7 días, además de 456 ml del Carbofed diluido en agua destilada (228 ml un día y 228 ml a los 8 días después), lo que da un total de 1156 ml de lo aplicado a cada columna. Es importante resaltar que a los blancos no se aplicó la dilución del plaguicida, sin embargo se les aplicó agua destilada en la misma cantidad que la dilución (456 ml).

### **Ilustración 14.** Extracción del plaguicida



**Fuente.** Las Autoras

El montaje en el laboratorio duró 10 días, teniendo en cuenta que la aplicación del Carbofed se realizó dos veces (cada 8 días), ya que de esta manera se efectuaba la aplicación del plaguicida en los cultivos de papa de la finca de Villapinzón. Después de la segunda aplicación del Carbofuran, al día siguiente se tenía que proceder con la recolección de los lixiviados en recipientes plásticos (como se muestra en la Ilustración 15), y su debido envasado para ser llevado al laboratorio certificado donde se le realizaron los análisis por medio de cromatografía líquida.

**Ilustración 15.** Lixiviados de las columnas de suelo



**Fuente.** Las Autoras

### **3.5 Análisis de laboratorio**

Los lixiviados recogidos de cada columna se llevaron a un laboratorio certificado para su análisis por cromatografía líquida; para llevar las muestras de los lixiviados de cada una de las columnas al laboratorio certificado, fue necesario recolectar cada muestra en botellas de plástico (PET) vacías de capacidad de 600 ml, con su debido rotulado; para una mayor facilidad a la hora de envasar los lixiviados se decidió hacer uso de un embudo (como se observa en la Ilustración 16) y evitar tener contacto alguno con las muestras, una probeta para medir exactamente la cantidad de los lixiviados de cada una de las columnas, y las 12 botellas de plástico.

### Ilustración 16. Extracción de las muestras



**Fuente.** Las Autoras

La cromatografía líquida de alta eficacia consiste en inyectar la muestra en estado líquido en una columna que tiene un recubrimiento que interactúa con el plaguicida y la separación se hace por afinidad, para el plaguicida Carbofuran se usa acetronilo y agua, y con esto se determina el tiempo en que el plaguicida se demora en recorrer la columna y así hallar su concentración [69].

El proceso consta de dos partes, en la primera parte se hace una separación, por si en la muestra hay presencia de más analitos, y en la segunda parte se le aplica a la muestra iones para fragmentar la masa, este proceso se realiza con argón, cada componente tiene fragmentos con una masa diferente, la medición de estas masas es lo que permite conocer la presencia del Carbofuran y su concentración en la muestra; luego de este proceso el equipo arroja un cromatograma que es una gráfica a la cual se le debe hallar el área bajo la curva la cual indica la concentración del plaguicida [69].

Además de los lixiviados, se realizó una muestra compuesta del suelo impactado con el plaguicida, para ser llevado al IGAC, con el fin de poder determinar los cambios que se dieron en cuanto a las características químicas del suelo, comparándolas con las características iniciales, esto con el fin de poder determinar como el Carbofuran es capaz de afectar las propiedades físico-químicas del suelo.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los análisis de los resultados de la caracterización físico-química de las muestras de suelo antes y después de ser impactadas con el plaguicida Carbofed que se llevó a cabo en el IGAC, y posteriormente el análisis de los resultados de las 12 muestras del lixiviado obtenido.

##### 4.1 Resultados químicos de las muestras compuestas

En la Tabla 1 se muestra los resultados que se obtuvieron del laboratorio de suelos de IGAC, la muestra inicial es la muestra compuesta que se tomó directamente en el terreno y la muestra final fue tomada de las columnas de suelo impactadas con el plaguicida en el laboratorio. Cada muestra contaba con un peso de 2 kilogramos. Estas muestras se tomaron con el fin de identificar las características del medio y los factores del suelo que afectan la movilidad del plaguicida.

**Tabla 1.** Resultados análisis de muestras compuestas del IGAC

		Muestra inicial	Muestra final
arena %		33,1	63,4
limo%		35,5	13,6
arcilla%		31,4	23,0
Textura		Franco arcilloso	Franco arcillosa arenosa
pH		4,5	5,2
Mo	C. O. %	4,9	4,4
CIC		31,9	28,5
Ca		4,9	4,2
Mg		1,0	0,77
K		1,0	0,74

Na		0,06	0,25
Bt (bases totales)		7,0	6,0
saturación bases totales		21,8	20,9
Fosforo (mg/kg)	disponible	154,0	142

**Fuente. IGAC**

#### **4.1.1 Textura**

La caracterización del suelo antes de ser impactado con plaguicida indica que su textura es franco arcillosa, teniendo en cuenta diversos estudios de movilidad de plaguicidas uno de los factores más importantes es la presencia de minerales arcillosos ya que afectan directamente la movilidad o transporte de plaguicidas, debido a la capacidad de adsorción que presentan [59], a mayor cantidad de arcillas existe una mayor adsorción de plaguicida, se presenta una relación inversamente proporcional respecto a la movilidad, ya que a mayor contenido de arcillas se presenta una menor movilidad del plaguicida [70], lo que indica en este caso que el suelo retuvo parte del plaguicida retardando su movilidad; después de ser impactado con el plaguicida la caracterización del suelo indica que la textura es franco arcillosa arenosa, la variación de la textura en las muestras antes y después de la aplicación del Carbofuran puede corresponder a que la muestra inicial es una muestra compuesta del terreno y la muestra final se tomó de cada una de las columnas de suelo impactadas (las cuales inicialmente se recolectaron en un punto específico de la finca), lo cual incrementa la posibilidad de una variación en la textura del suelo, no obstante es probable que se haya generado un error en el laboratorio ya que la textura se realiza por el método de Bouyoucos el cual no es muy preciso.

Comparando los resultados de textura con el estudio de suelos de la zona, se puede decir que es similar, ya que los horizontes de suelo que presenta la zona de estudio son de textura franco arcillo arenosa [64], lo que ayuda a comprobar que probablemente se produjo un error en el laboratorio a la hora de analizar la textura.

#### **4.1.2 pH**

El potencial de hidrógeno determina el grado de adsorción de iones por las partículas presentes del suelo, e identifica si el suelo es alcalino o ácido, es un

indicador que está directamente relacionado con los nutrientes de las plantas, la solubilidad, disponibilidad y movilidad de algunos contaminantes inorgánicos que normalmente están presentes en el suelo; el valor del pH en el suelo por lo general varía entre 3.5 a 9.5, por lo general los suelos muy ácidos (por debajo de valores de 5.5) presentan cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso, y no se encuentran gran actividad de organismos [10].

En este caso el pH inicial del suelo es de 4.5 lo que indica según los análisis obtenidos del IGAC, que es extremadamente ácido, mientras que en el segundo análisis después de la aplicación del plaguicida el pH es de 5.2 lo que indica que es muy fuertemente ácido (ver Anexo 4), por lo que se puede llegar a inferir que el suelo se encuentra con contenidos elevados de manganeso y aluminio, además es importante tener en cuenta que la acidez del suelo depende de una serie de factores como: el clima, los componentes orgánicos, la acumulación de sales, y la aplicación de fertilizantes que modifican el pH del medio edáfico [64], en regiones donde presenta un alto índice de precipitación como Villapinzón, el agua ejerce un lavado que elimina cationes básicos por lo tanto se genera una acidificación del suelo [71].

En este caso el aumento que se dio en este caso en el pH puede ser por acción del aumento de las bases que genera la descomposición de la materia orgánica [65]. También el cambio de la acidez del suelo posiblemente se produjo por el pH con el que cuenta Carbofed: 7.16 [72], ya que es probable que el suelo absorbió parte del plaguicida, lo que contribuyó a un aumento del pH del suelo.

#### **4.1.3 Materia orgánica**

En el presente estudio la cantidad de materia orgánica en el suelo antes de ser impactado con el plaguicida fue de 4,9% lo que indica un valor medio según las condiciones generales del IGAC (ver Anexo 4) y posterior a la aplicación el contenido de MO disminuyó a un valor de 4,4% el cual sigue siendo un valor medio; esta disminución se da probablemente ya que al aplicar el plaguicida los microorganismos presentes en el suelo usan esta materia orgánica como fuente de energía para descomponer el plaguicida [73] sin embargo no se presentó un cambio de rango ya que el valor de MO sigue siendo medio en los dos casos, es decir que no es un cambio significativo.

Estos valores de MO representan los restos orgánicos en el suelo que son descompuestos por la actividad biológica (biodegradación) la cual permite una liberación de elementos minerales y gaseosos, el carbono usualmente se presenta en materia orgánica y en minerales carbonatados, este factor se

encuentra directamente relacionado con el clima, relieve, material parental y vegetación, además del uso del suelo y la velocidad de la descomposición de residuos orgánicos o vegetales (los cuales son la fuente básica del carbón orgánico), en condiciones ácidas se producen pérdidas de compuestos orgánicos móviles que son lavados de la capa superficial y se acumulan en algún horizonte subsuperficial [64]. En el caso de la zona de estudio, según el estudio de suelos se presenta actividad de macroorganismos en los diferentes perfiles de suelo, lo que contribuye a la descomposición de residuos orgánicos o vegetales [64].

Para la presente investigación se debe tener en cuenta que la materia orgánica o cantidad de carbono orgánico es uno de los factores más importantes respecto a la movilidad de plaguicidas en el suelo [57], teniendo en cuenta diferentes estudios realizados se puede afirmar que el contenido de materia orgánica también afecta la movilidad del plaguicida ya que a mayor porcentaje de esta, hay mayor adsorción del plaguicida lo cual disminuye la movilidad y el transporte de este [74].

#### **4.1.4 Capacidad de intercambio catiónico**

En este caso se puede evidenciar que la CIC es alta en un principio, ya que según los resultados del IGAC a valores mayores de 20 cmol/kg ya se consideran altos y en este caso es 31,9 cmol/kg; después de la aplicación del Carbofed la capacidad de intercambio catiónico disminuyó en las muestras de suelo analizadas sin embargo sigue siendo alta, ya que presenta un valor de 28,5 cmol/kg que es mayor a 20 cmol/kg, esto se relaciona con la disminución de materia orgánica y de arcilla que se obtuvo. Teniendo en cuenta que la CIC es una medida de la cantidad de cargas negativas que se encuentran presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo, es decir en la arcilla, materia orgánica y algunas sustancias húmicas, representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener como Ca, Mg, Na, K, entre otros [10].

La capacidad de intercambio catiónico se ve afectada por lluvias o riegos que provocan la dilución del suelo y aportan  $H^+$  [75], en este caso el rango de la CIC no varía (ver Anexo 4), sin embargo se evidencia en los resultados que su valor disminuye probablemente por la adición de agua destilada simulando lluvia que disminuyó la capacidad de retener cationes del suelo y la disponibilidad de nutrientes [10].

#### **4.1.5 Saturación de bases**

En el suelo se pueden presenciar los cationes ácidos como el hidrogeno y aluminio, y los básicos como calcio, magnesio, potasio y sodio, la saturación de

bases representa la fracción de los cationes básicos que se encuentran en los coloides del suelo [10]. En este caso de estudio, se puede observar que en la primera muestra analizada la saturación de bases es de 21,8 % el cual es un valor bajo teniendo en cuenta las condiciones generales para interpretar los análisis químicos del IGAC y la SB de la muestra final es de 20,9% el cual también es un valor bajo (ver Anexo 4), esto se puede relacionar directamente con el pH, ya que los suelos ácidos tienen bajas concentraciones de calcio, magnesio, potasio y sodio (es decir que no se encuentra mayor presencia de cationes básicos), por lo tanto el porcentaje de la saturación de bases es bajo (inferior a 35%), además en suelos donde el pH se encuentra por debajo de 5.5, la saturación de bases es inferior al 50% [64].

El Carbofuran afecta este factor disminuyendo su valor posiblemente al reducir los nutrientes presentes en el suelo, al cambiar su valor la SB, se reduce también la cantidad de nutrientes y esto afecta directamente el contenido de materia orgánica lo que interfiere con la movilidad del plaguicida [76].

#### **4.1.6 Bases totales**

De acuerdo con los resultados del IGAC las bases totales disminuyeron pasando de un valor de 7 (cmol/ kg) a un valor de 6 (cmol/ kg), lo cual no es un cambio muy significativo (ver Anexo 4), sin embargo la disminución de este factor pudo ocurrir ya que al aplicar el plaguicida y agua a las muestras de suelo ocurrió un lavado lo que disminuyó la cantidad de nutrientes en el suelo [76]. Este contenido de bases totales en el suelo abarca el contenido de nutrientes como el calcio, el magnesio, el potasio y el sodio; según los resultados obtenidos el calcio disminuyó pasando del valor de 4,9 (cmol/ kg) a 4,2 (cmol/ kg), el magnesio disminuyó de 1,0 (cmol/ kg) a 0,77 (cmol/ kg) y el potasio también disminuyó de 1,0 (cmol/ kg) a 0,74 (cmol/ kg), lo que indica que la aplicación del plaguicida y la simulación de la lluvia afectó los nutrientes del suelo disminuyéndolos. Las bases totales disminuyen a medida que aumenta el grado de lavado de los suelos [64].

Se encontró que el sodio aumento su concentración pasando del valor 0,06 (cmol/ kg) a 0,25 (cmol/ kg), teniendo en cuenta que este es uno de los cationes intercambiables presentes del suelo y se relaciona con la salinidad de este medio, se puede inferir que su cambio se da por las reacciones del Carbofed con el suelo [72], no obstante, es importante recalcar que el valor del sodio en los dos casos es bajo.

#### **4.1.7 Fosforo disponible**

Teniendo en cuenta el presente estudio se puede observar que el nutriente que se encuentra en gran cantidad es el fosforo con un valor en la muestra inicial de 154,0 (mg/kg), en la segunda muestra se presentó una disminución de este

nutriente a un valor de 142 (mg/kg) teniendo en cuenta las condiciones generales para interpretar los análisis químicos del IGAC (ver Anexo 4), los resultados del fósforo indican un valor alto en los dos casos, (es decir que la disminución que se presentó no es muy significativa), esto debido a que es uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas (es indispensable para la fotosíntesis) que lo absorben del suelo por medio de sus raíces, por lo tanto está relacionado directamente con la materia orgánica [65], en este caso al disminuir la materia orgánica con la aplicación del plaguicida, el fósforo también disminuyó. Además el fósforo también se relaciona directamente con la acidez que presenta el suelo, en suelos donde el pH es inferior a 5.6 este es fijado por compuestos del hierro y de aluminio [64].

#### **4.1.8 Coeficiente de adsorción de carbono orgánico (Koc)**

EL Koc para el Carbofuran es de 22 (ml/l), lo que indica que el plaguicida no presenta una tendencia de fijarse al suelo por lo que se afirma que tiene una alta movilidad y puede llegar a muy bajas profundidades por percolación en el suelo en sus días promedio de vida [77], en este caso se puede inferir que efectivamente se presenta una movilidad del plaguicida que se puede relacionar con el coeficiente de adsorción, no obstante cabe aclarar que debido a los altos contenidos de materia orgánica y arcillas se pudo presentar una retención del plaguicida en el suelo.

#### **4.2 Análisis de resultados de lixiviado**

En la Tabla 2 se muestra la cantidad total de lixiviado que se obtuvo en cada una de las muestras; a cada columna se le agregó 700 ml de agua destilada (100 ml por día) la cual era para la simulación de precipitación, además de 456 ml del Carbofed diluido en agua destilada, lo que da un total de 1.156 ml, además se puede observar las concentraciones totales del ingrediente activo del Carbofed (Carbofuran), resultantes del lixiviado de cada columna impactada y sus respectivos testigos o blancos.

**Tabla 2.** Cantidad total de lixiviado y concentración de IA

<b>Profundidad</b>	<b>muestra</b>	<b>Cantidad de lixiviado (ml)</b>	<b>concentración (mg/l)</b>
<b>20 Cm</b>	1	910	175
	2	910	126
	3	865	173
	4	940	0
<b>40 Cm</b>	1	850	121
	2	900	137
	3	910	129
	4	880	0
<b>60 Cm</b>	1	875	117
	2	680	113
	3	790	115
	4	810	0

**Fuente.** Las Autoras

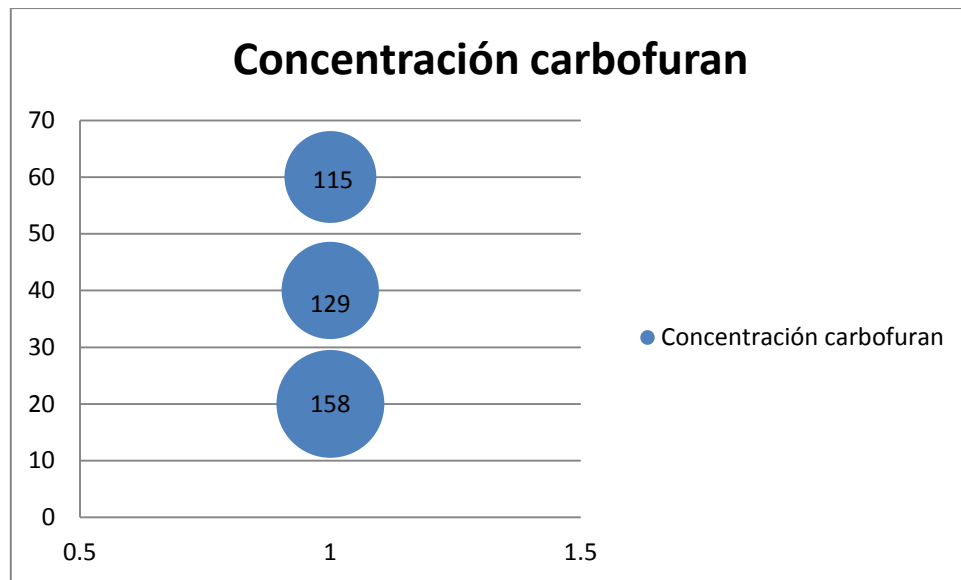
En primer lugar se puede observar que en los testigos o blancos se obtuvo un resultado fuera del límite de comunicación, lo que demostró que en el terreno no se encontraba presencia del plaguicida debido a que la zona escogida no tenía cultivos en más de dos años y probablemente el plaguicida se degradó completamente en este tiempo.

En segundo lugar, se puede afirmar que en las tres profundidades escogidas de suelo se encontró presencia del ingrediente activo del Carbofed en los lixiviados recogidos.

Los valores de concentración del Carbofuran presentes en el lixiviado de las columnas se encuentran entre los valores 113 mg/l y 175 mg/l; comparándolo con los valores permisibles de Carbofuran en agua potable según la EPA, que se encuentra en 0,04 mg/l [78], se puede observar que los valores obtenidos en el lixiviado son mucho mayores a los permitidos por la norma.

En la Gráfica 3 se puede observar el promedio de las concentraciones del Carbofuran en el lixiviado obtenido en las muestras de 20, 40 y 60 cm, se evidencia que la mayor concentración se obtuvo en la profundidad de 20 cm con un valor de 158 mg/l, seguida por la profundidad de 40 cm con un valor de 129 mg/l, seguido a su vez por la profundidad de 60 cm con un valor de 115 mg/l; con esto podemos concluir que se retuvo más cantidad de plaguicida en la muestra de 60 cm, seguida por la muestra de 40 cm, debido a que su profundidad era mayor que la de 20 cm.

**Gráfica 3.** Concentración de Carbofuran



**Fuente.** Las Autoras

#### **4.2.1 Simulación de lixiviado con datos reales de la zona**

La finca escogida para este proyecto tenía como área una hectárea, para la cual los agricultores de la zona aplican en el cultivo 5 litros del plaguicida Carbofuran diluido en 200 litros de agua; para el presente estudio se contaba con un aspersor de capacidad de dos litros, se diluyeron 0,05 litros de plaguicida en los dos litros de agua que contenía el aspersor.

Teniendo en cuenta el área de los tubos de PVC en los cuales se realizó el experimento, se tiene que cada tubo tenía 3 pulgadas de diámetro cada uno con un área de  $0.004560367 \text{ m}^2$ , haciendo la simulación con lo que le aplican en campo al cultivo a cada tubo debió aplicársele  $0.0022801835 \text{ ml}$  de plaguicida diluido en  $0,0912 \text{ ml}$  de agua, lo que da un total de  $0,094 \text{ ml}$  de solución.

En la Tabla 3 se pueden observar las diferencias de los valores si se hubiera aplicado la cantidad exacta de plaguicida que aplican en el terreno en la finca escogida; se evidencia una gran diferencia ya que el plaguicida que se percolaría con los datos reales de la zona sería en cantidades mucho menores que con los datos obtenidos en laboratorio; la cantidad aplicada en laboratorio del Carbofuran fue necesaria para poder llevar a cabo el experimento y asegurarnos de que existiría infiltración y posteriormente se lixiviara, así con estos datos poder hacer la relación con los datos reales de la zona y comparar.

**Tabla 3.** Simulación de aplicación de plaguicida con datos reales de la zona

<b>Profundidad</b>	<b>muestra</b>	<b>Cantidad de lixiviado (ml) aplicando 228 ml de solución</b>	<b>Cantidad de lixiviado (ml) aplicando 0,010 ml de solución</b>
20 Cm	1	910	0,042
	2	910	0,042
	3	865	0,040
	4	940	0,043
40 Cm	1	850	0,039
	2	900	0,041
	3	910	0,042
	4	880	0,040
60 Cm	1	875	0,040
	2	680	0,031
	3	790	0,036
	4	810	0,037

**Fuente.** Las Autoras

### 4.3 Análisis estadístico

En primer lugar fue necesario realizar una prueba de normalidad de los datos, con el fin de determinar si las variables dependientes siguen una distribución normal [79], en este caso la variable dependiente es la concentración del ingrediente activo del plaguicida, para esto se tienen en cuenta dos hipótesis:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): la variable 'concentración' presenta una distribución normal.

Hipótesis alterna ( $H_1$ ): la variable 'concentración' no presenta una distribución normal.

En este caso, debido a la cantidad de datos se debe tener en cuenta la prueba de Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ) que se observa en la Tabla 4, cuando los datos de la significancia (P) son menores a 0.05 se debe rechazar la hipótesis nula es decir que no existe una normalidad en los datos, cuando la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula [80]; por lo tanto en este caso se afirma la aceptación de la hipótesis nula debido a que los valores de significancia sobrepasan el valor de 0.05, por lo tanto se puede proceder a un análisis de varianza para las concentraciones del Carbofuran.

**Tabla 4.** Pruebas de normalidad

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Profundidad	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentracion	1,00	,372	3	.	,781	3	,069
	2,00	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3,00	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Fuente** Las Autoras

Para poder analizar los resultados de las concentraciones del ingrediente activo del plaguicida, se realizó un análisis de varianza (Tabla 5), con el fin de poder determinar la variación de los resultados según los tratamientos escogidos y sus respectivas repeticiones.

Para poder llevar a cabo el análisis de varianza, es necesario tener en cuenta dos hipótesis:

La hipótesis nula o de igualdad, donde no hay diferencias significativas entre las medias de las concentraciones (por tratamiento), y la hipótesis alternativa donde hay diferencias significativas entre las concentraciones de cada tratamiento.

**Tabla 5.** Análisis de varianza (ANOVA), concentraciones  
**ANOVA**

Concentracion					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2886,000	2	1443,000	5,172	,049
Dentro de grupos	1674,000	6	279,000		
Total	4560,000	8			

**Fuente** Las Autoras.

Como se observa en la Tabla 5, en este caso  $P < \alpha$  (la probabilidad es menor a 0,05), se puede decir que se rechaza la hipótesis de igualdad o nula, lo que indica que hay una significancia en el modelo [80], es decir una diferencia entre las concentraciones de los diferentes tratamientos. Este análisis indica que el objetivo de estudio es válido teniendo en cuenta la cantidad de tratamientos y repeticiones.

Sin embargo, para poder determinar las diferencias entre grupos, es necesario hacer uso de un análisis de comparaciones múltiples (DMS) como se muestra en la Tabla 6, en este caso se puede observar que entre la profundidad de 20 cm y la de 40 cm no existe una diferencia significativa, no obstante, entre la profundidad de 20 cm y 60 cm si existe una diferencia significativa.

**Tabla 6.** Comparaciones múltiples (DMS)

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Concentracion

DMS

(I) Profundidad	(J) Profundidad	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	29,00000	13,63818	,078	-4,3714	62,3714
	3,00	43,00000*	13,63818	,020	9,6286	76,3714
2,00	1,00	-29,00000	13,63818	,078	-62,3714	4,3714
	3,00	14,00000	13,63818	,344	-19,3714	47,3714
3,00	1,00	-43,00000*	13,63818	,020	-76,3714	-9,6286
	2,00	-14,00000	13,63818	,344	-47,3714	19,3714

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente** Las Autoras

Lo que indica que entre las profundidades de 20 cm y 40 cm del suelo en la zona de estudio no existe una diferencia en cuanto a la movilidad del plaguicida, teniendo en cuenta el estudio de suelos de la zona, entre estos dos horizontes se presentan características similares, respecto a la textura (Franco arcillo arenosa) el pH, la CIC, MO, fósforo, saturación de bases totales, entre otros, estos factores en los primeros horizontes presentan valores altos (exceptuando el pH que cuenta con un valor bajo que representa alta acidez) que se relacionan con la movilidad del plaguicida; sin embargo a mayor profundidad las características químicas y físicas del suelo empiezan a tener unas variaciones significativas (disminuyen los valores a medida que aumenta la profundidad del suelo) [64], las cuales influyen directamente con la movilidad del Carbofuran.

En base a los tratamientos escogidos para este estudio y sus respectivas repeticiones, se puede afirmar que a mayor profundidad de suelo el contaminante (Carbofuran) presenta una retención en este, ya que a los 20 cm de altura, las concentraciones son más altas y estas van disminuyendo cada vez, sin embargo en las profundidades de 60 cm sigue existiendo la presencia del plaguicida, por tal motivo teniendo en cuenta que en el caso de la finca de Villapinzón se aplicaba una cantidad total de 5 litros del plaguicida por hectárea, se puede deducir que la concentración y cantidad de aplicación son factores importantes ya que probablemente a mayor concentración se puede presentar una mayor presencia del contaminante y debido a su movilidad puede llegar a afectar las aguas

subterráneas de la zona [42], sin embargo es importante recalcar que debido a la edafología de la zona se podría dar una gran adsorción o retención del Carbofuran debido a la cantidad de materia orgánica y arcillas que presenta, factores que disminuyen la movilidad de los contaminantes [81].

Para la cantidad final del ingrediente activo, se tiene en cuenta el total de lixiviado de cada muestra, con su respectiva concentración de plaguicida (resultados del laboratorio), por lo tanto en la Tabla 7 se puede observar los cálculos de la cantidad final del ingrediente activo en cada uno de los lixiviados de las columnas, se multiplica el valor del lixiviado por la concentración del plaguicida teniendo como resultado la cantidad obtenida de IA; se evidencia una diferencia entre las 3 profundidades, ya que en las muestras de 60 cm se obtuvo valores menores comparados con las muestras de 20 y 40 cm, así mismo los valores de las profundidades de 40 cm son menores que las de 20 cm.

**Tabla 7.** Cantidad obtenida del ingrediente activo

<b>Número de muestra</b>	<b>Cantidad obtenida del ingrediente activo</b>
Muestra 1 (0201):	0.159 g
Muestra 2 (0202):	0.114 g
Muestra 3 (0203):	0.149 g
Muestra 4 (0204):	0 g
Muestra 5 (0401):	0.102 g
Muestra 6 (0402):	0.123 g
Muestra 7 (0403):	0.117 g

Muestra 8 (0404):	0 g
Muestra 9 (0601):	0.102 g
Muestra 10 (0602):	0.076 g
Muestra 11 (0603):	0.090 g
Muestra 12 (0604):	0 g

**Fuente.** Las autoras

En la Tabla 8 se muestra la cantidad de ingrediente activo que fue aplicado a cada una de las columnas y el resultado que se obtuvo en laboratorio de la cantidad del mismo presente en cada uno de los lixiviados recolectados.

**Tabla 8.** Cantidad del ingrediente activo

Profundidad	Muestra	Cantidad inicial de ingrediente activo (g)	Cantidad obtenida de ingrediente activo (g)	Cantidad de ingrediente activo retenida (g)	% Cantidad obtenida del ingrediente activo (g)	% Cantidad retenida del ingrediente activo (g)
20 Cm	1	9,537	0,159	9,378	1,67	98,33
	2	9,537	0,114	9,423	1,20	98,80
	3	9,537	0,149	9,388	1,56	98,44
	4	0	0	0	0,00	0,00
40 Cm	1	9,537	0,102	9,435	1,07	98,93
	2	9,537	0,123	9,414	1,29	98,71
	3	9,537	0,117	9,42	1,23	98,77

	4	0	0	0	0,00	0,00
<b>60 Cm</b>	1	9,537	0,102	9,435	1,07	98,93
	2	9,537	0,076	9,461	0,80	99,20
	3	9,537	0,09	9,447	0,94	99,06
	4	0	0	0	0,00	0,00

**Fuente.** Las Autoras

Se puede evidenciar que en las tres profundidades se presentó una retención del ingrediente activo mayor al 98%, esto debido a las características físicas y químicas que presenta el suelo en el cual se realizó el estudio, ya que presenta un valor alto de contenido de arcilla y materia orgánica, los cuales son factores que permiten una alta retención del plaguicida [55].

En la Tabla 9 se presenta el análisis estadístico respecto a la cantidad del ingrediente activo que fue retenido en el suelo, teniendo en cuenta las diferentes profundidades

**Tabla 9.** Análisis de varianza (ANOVA) % retenido de Carbofuran

**ANOVA**

Retenido

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,438	2	,219	7,166	,026
Dentro de grupos	,183	6	,031		
Total	,621	8			

**Fuente.** Las Autoras

Para este caso se plantea una hipótesis nula, la cual se refiere a que no hay diferencias significativas entre la cantidad de ingrediente activo retenida en el suelo (por profundidad), y la hipótesis alternativa donde hay diferencias significativas entre la cantidad de IA retenida en el suelo.

Según los resultados del análisis de varianza, se rechaza la hipótesis nula ya que se puede determinar que existe una significancia entre los datos de la cantidad retenida de plaguicida en el suelo según las diferentes profundidades.

En la Tabla 10 se puede observar que se presentan diferencias significativas entre la profundidad de 20 cm y la de 60 cm en cuanto a la cantidad retenida del Carbofuran en el suelo. Esto se da debido a que en los primeros horizontes del suelo, las características físicas y químicas son muy similares [64], principalmente el contenido de arcillas es similar, el cual es un factor que contribuye a la retención del plaguicida [55].

**Tabla 10.** Comparaciones múltiples (DMS), % retenido de Carbofuran

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Retenido  
DMS

(I) Profundidad	(J) Profundidad	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	-,28000	,14267	,097	-,6291	,0691
	3,00	-,54000*	,14267	,009	-,8891	-,1909
2,00	1,00	,28000	,14267	,097	-,0691	,6291
	3,00	-,26000	,14267	,118	-,6091	,0891
3,00	1,00	,54000*	,14267	,009	,1909	,8891
	2,00	,26000	,14267	,118	-,0891	,6091

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente Las Autoras**

Con estos resultados se puede evidenciar que la mayor parte del plaguicida aplicado fue retenido por el suelo, esto se pudo dar por diferentes razones como la adsorción en el suelo la cual se incrementa por la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra presente en el suelo de estudio además del alto contenido de arcilla y su textura que es franco arcillosa [82].

En la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza respecto al porcentaje de la cantidad obtenida de Carbofuran respecto a los diferentes tratamientos.

Siguiendo los análisis estadísticos anteriores, para este caso también se plantean dos hipótesis, la hipótesis nula donde no existen diferencias entre los resultados de los porcentajes y la hipótesis alternativa donde existen diferencias entre los porcentajes del Carbofuran obtenido.

**Tabla 11.** Análisis de varianza (ANOVA) % obtenido de Carbofuran

**ANOVA**

Obtenido					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,438	2	,219	7,166	,026
Dentro de grupos	,183	6	,031		
Total	,621	8			

Fuente **Las Autoras**

Teniendo en cuenta que el valor de la significancia es menor a 0.05, se puede afirmar que existen diferencias entre los resultados del porcentaje de la cantidad de Carbofuran obtenida de la fase experimental, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Con respecto a las comparaciones múltiples que se encuentran en la Tabla 12, se puede identificar que existen diferencias entre los tratamientos de la profundidad de 20 cm y la de 60 cm respecto al porcentaje de la cantidad obtenida de Cabofuran, mientras que entre las otras profundidades no se presentan diferencias, esto se debe a las características químicas y físicas que presenta el suelo, teniendo en cuenta que los primeros horizontes cuentan con similares condiciones [64].

**Tabla 12.** Comparaciones múltiples (DMS) % obtenido de Carbofuran

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Obtenido

DMS

(I) Profundidad	(J) Profundidad	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	,28000	,14267	,097	-,0691	,6291
	3,00	,54000*	,14267	,009	,1909	,8891
2,00	1,00	-,28000	,14267	,097	-,6291	,0691
	3,00	,26000	,14267	,118	-,0891	,6091
3,00	1,00	-,54000*	,14267	,009	-,8891	-,1909
	2,00	-,26000	,14267	,118	-,6091	,0891

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente **Las Autoras**

#### 4.4 Correlación de la precipitación promedio mensual de la zona con los resultados obtenidos:

Teniendo en cuenta que el Carbofuran es altamente soluble en agua [31] y la precipitación es el principal factor que afecta la movilidad del plaguicida [85], es importante verificar el comportamiento del este con los datos reales de precipitación de la zona de estudio, en la cual el cultivo de papa se realiza en los meses de marzo a septiembre y la aplicación del plaguicida se hace los primeros días del mes de Junio según el dueño de la finca Julio Zamudio; para ello contamos con datos de la CAR de precipitación diaria en el municipio de Villapinzón los primeros 8 días del mes de Junio del presente año [83] como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Datos obtenidos de la CAR del reporte diario de precipitaciones y niveles junio 2015

Días	( $l/m^2$ )	( $ml/m^2$ )
1	0	0
2	4,2	4.200
3	5,8	5.800
4	6,3	6.300
5	4,7	4.700
6	3,4	3.400
7	2,05	2.050
8	0,7	700

Fuente. [83]

Reemplazando los datos de la simulación de precipitación en laboratorio con datos reales de la zona para observar cómo cambia el experimento con la precipitación que se presenta los días en que es aplicado el Carbofuran en el cultivo, en la tabla 16 se muestra la diferencia entre los datos de lixiviado obtenidos en laboratorio con simulación de lluvia de 700 ml y los datos que se obtendrían con la precipitación real de la zona.

Haciendo la conversión con los datos de precipitación registrados en la CAR se obtuvo que para la misma área del tubo utilizada para nuestro experimento un valor de 123,804 ml; si se hubiera aplicado esa cantidad a las columnas usadas en laboratorio se obtendría el lixiviado que se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Cantidad de lixiviado obtenido en laboratorio (ml) vs Cantidad de lixiviado con simulación de datos reales (ml).

	muestra	Cantidad de lixiviado (ml)	Cantidad de lixiviado con simulación de datos reales (ml)
20 Cm	1	910	160,9
	2	910	160,9
	3	865	153,0
	4	940	166,3
40 Cm	1	850	150,3
	2	900	159,2
	3	910	160,9
	4	880	155,6
60 Cm	1	875	154,8
	2	680	120,3
	3	790	139,7
	4	810	143,3

**Fuente.** Las Autoras

Se puede observar una reducción en la cantidad de lixiviado obtenido con los datos reales de la zona, ya que la precipitación promedio de Villapinzón es menor que la simulada en laboratorio; se debe tener en cuenta que este proyecto se realizó en un periodo de 8 días en los cuales se sobresaturó el suelo de agua para lograr obtener el lixiviado lo que no ocurre en campo, lo cual altera el resultado de los datos obtenidos.

Para finalizar la presente investigación, se puede afirmar que en las tres profundidades de suelo seleccionadas, existe movilidad del plaguicida debido a la presencia de Carbofuran en los lixiviados de cada una de las columnas [84], excepto en los blancos en las cuales no se registró concentración del ingrediente activo lo cual permite afirmar que efectivamente la persistencia del Carbofed en el suelo no sobrepasa los 120 días [68].

En relación con los resultados obtenidos, se mostró una reducción de la concentración del Carbofuran en los lixiviados con respecto a la profundidad del suelo, esto debido a múltiples factores que afectan la movilidad, como la

estructura física y química que presenta el suelo, no obstante la presencia de plaguicida en los lixiviados conlleva a que se presenten grandes problemas de contaminación en las aguas subterráneas y superficiales [85].

Este problema se puede presentar en la zona de Villapinzón ya que ciertas condiciones meteorológicas como la precipitación, contribuyen a que se presente una mayor facilidad respecto a la movilidad del plaguicida y una mayor percolación de este, además el Carbofuran aplicado puede ser transportado con las aguas superficiales mediante la escorrentía alcanzando cursos de agua cercanos [86].

Por lo tanto, esto puede generar graves consecuencias ambientales y toxicológicas, ya que la fuente cercana a la zona de estudio es parte del río Bogotá la cual abastece a gran parte de la población de la zona rural, en relación con la toxicocinética del Carbofuran, en animales acuáticos este genera alteraciones importantes después de una determina exposición principalmente: inhibición de la colinesterasa, altera la neurotransmisión, interfiere con las actividades neurológicas, entre otros [36], también genera alteraciones en animales terrestres, aves y algunos mamíferos [29]; así mismo es probable que al ser consumida la fuente hídrica de esta zona, genere problemas en la salud de las personas por ser considerado un neurotóxico, sin embargo la biodisponibilidad del plaguicida es menor a causa de la cantidad de materia orgánica y el contenido de arcillas que pueda presentar el suelo [87].

Además es importante tener en cuenta que este plaguicida tiene varios métodos para su degradación, a través de hidrólisis, fotodegradación y la degradación bacteriana que depende de las condiciones ambientales; la hidrolisis se da más rápido en aguas con un pH mayor o igual a 7 (es decir, en condiciones básicas) se presenta una vida media hasta de 28 días, en aguas ácidas es difícil que se genere el proceso de la hidrolisis; la fotodegradación es un método rápido en capas de agua delgada y presenta una vida media de 6 días, normalmente en suelos franco arenosos el Carbofuran se degrada en 78 días, se presenta un bajo potencial de bioconcentración del contaminante [29].

Por tal motivo es fundamental realizar estudios de la presencia del Carbofuran directamente en las aguas subterráneas para saber con precisión los problemas ambientales y toxicológicos que se pueden estar generando en la zona de Villapinzón.

## 5. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en laboratorio y la revisión bibliográfica realizada a lo largo de la investigación, se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo a la simulación de precipitación realizada en laboratorio se observa que este factor puede influir considerablemente en la movilidad del Carbofuran, ya que actúa como un agente conductor facilitando la percolación e infiltración del mismo; en el municipio de Villapinzón, la precipitación en los meses que se realiza el cultivo (marzo a septiembre) presenta valores altos que varían de 50 a 100 mm mensuales, lo que probablemente incrementa la movilidad del plaguicida en la zona de estudio, ya que este es altamente soluble en agua.
- Según los resultados de parámetros fisicoquímicos obtenidos en las muestras de suelo, se observa que los más influyentes en la movilidad del Carbofuran fueron: la materia orgánica, la textura (por su contenido de arcillas) y el pH; estos factores determinan la retención y adsorción del plaguicida en los primeros horizontes del suelo, para el caso concreto el contenido de materia orgánica y de arcillas era elevado, y el pH ácido. Esto probablemente contribuyó a una retención de la mayor parte de Carbofuran en el suelo, ya que a mayor porcentaje de materia orgánica se presenta una mayor adsorción de plaguicidas, además el contenido de arcillas también representa una capacidad de adsorción del suelo respecto a estos contaminantes.
- Teniendo en cuenta los resultados de la cromatografía líquida se observa que en los lixiviados de las columnas que fueron impactadas con el plaguicida Carbofed había presencia de este, lo que evidencia que el plaguicida si tiene movilidad, a pesar que la mayor parte se retuvo en el suelo, debido a esto, en el caso de los cultivos en Villapinzón es probable que exista una percolación del plaguicida a las aguas subterráneas por medio de la escorrentía, lo que puede generar problemas ambientales y toxicológicos.
- Con respecto a la geología y edafología que presenta Villapinzón y la vereda Chasques según el esquema de ordenamiento territorial, se puede deducir que es probable que se presente una gran retención del Carbofuran en los suelos de la zona (debido a las características físicas y

químicas) teniendo en cuenta que en los primeros horizontes se encuentran principalmente texturas francas y franco-arcillosas y a mayor profundidad el contenido de arcillas va incrementando, no obstante es probable que se presente la movilidad del plaguicida hasta las aguas subterráneas.

- Con respecto al análisis de varianza (ANOVA), se puede demostrar que existe significancia entre las concentraciones de Carbofuran en los tres tratamientos de estudio, sin embargo, se presentan diferencias significativas entre las profundidades de 20 cm y 60 cm, mientras que en las otras profundidades no se presentan diferencias, esto debido a que las características físicas y químicas del suelo son similares en los primeros horizontes.

## 6. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que en el estudio realizado se demostró que el tiempo de duración del montaje fue suficiente para que en el lixiviado se encontrará presencia del Carbofuran, se recomienda para futuros estudios hacer variaciones del tiempo con el fin de comparar como afecta este factor a la movilidad del plaguicida.
- Para realizar la caracterización de la zona es importante contar con datos meteorológicos reales y actualizados, y compararlos con la movilidad del plaguicida.
- Se recomienda realizar estudios en las aguas subterráneas de la zona, para poder rectificar si el Carbofuran percola a estas teniendo en cuenta su alta movilidad.
- Según el estudio realizado se encontró presencia de Carbofuran a una altura de 60 cm, por lo tanto se recomienda realizar este estudio a mayores profundidades, para determinar cuál sería la profundidad máxima a la que puede llegar el plaguicida.
- Dado que las características físico-químicas del suelo inciden en la movilidad del plaguicida, se recomienda realizar este mismo estudio con otro tipo de suelo para rectificar que influencias tienen estas en la movilidad del plaguicida.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Hoja de seguridad CARBOFED

<b>HOJA DE SEGURIDAD</b>  <b>CARBOFED 330 S.C.</b> <b>PRODUCTO FORMULADO</b>  <b>FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS</b> Carrera 100 No. 25H-55 Teléfono 4251150 Fax 4252023 Bogotá	<b>TELEFONO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS:</b>  <b>CISPROQUIM</b> Bogota: 2886012 Fuera de Bogotá: <b>01-8000-916012</b> Línea gratuita
---	--



#### SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

Producto	: CARBOFED 330 S.C.
Nombre de la Compañía	: FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS
Dirección de la Compañía	: Carrera 100 No. 25 H 55
Formulador	: AGROZ S.A.
Dirección formulador	: Km 1 vía Espinal – Ibagué
Presentación	: Suspensión Concentrada

#### SECCION 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DEL INGREDIENTE ACTIVO

Ingrediente activo	: Carbofuran
Concentración	: 330 g/l de formulación a 20°C
Familia química	: Carbamato
Nombre químico	: 2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-il metil carbamato
Fórmula empírica	: C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>
Peso molecular	: 221,3
Nº CAS	: 1563-66-2
Clase	: Insecticida químico uso agrícola
Toxicidad	: <b>I Extremadamente Tóxico</b>

#### SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

CARBOFED 330 S.C. es un insecticida químico de uso agrícola, de **categoría toxicológica I: extremadamente tóxico**. En el manipuleo de éste producto se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier riesgo de intoxicación, ya que se trata de un plaguicida. Después de tener contacto con los envases del producto se debe lavar las manos con abundante agua y jabón. Abstenerse de fumar, comer o beber mientras está en contacto con el producto.

#### SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- Quite la ropa y lave las partes contaminadas con abundante agua y jabón
- Mantenga el paciente en posición de reposo
- Si el producto cae a los ojos, enjuáguelos con abundante agua por 10 a 15 minutos
- Si el producto ha sido ingerido, induzca al vómito (si el paciente está consciente)
- Si el producto es inhalado, traslade al paciente al aire libre. Si no respira proporcione respiración artificial, suministre oxígeno y busque atención médica
- Antídoto: Sulfato de atropina

<b>HOJA DE SEGURIDAD</b>  <b>CARBOFED 330 S.C.</b> <b>PRODUCTO FORMULADO</b>  <b>FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS</b> Carrera 100 No. 25H-55 Teléfono 4251150 Fax 4252023 Bogotá	<b>TELEFONO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS:</b>  <b>CISPROQUIM</b> Bogota: 2886012 Fuera de Bogotá: <b>01-8000-916012</b> <b>Línea gratuita</b>
---	---

**SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS**  
El producto no es inflamable. En caso de incendio se desprenden vapores tóxicos e irritantes. Utilizar equipo autónomo de respiración y combatir el fuego utilizando extintores de polvo químico seco, dióxido de carbono

**SECCION 6: MEDIDAS PARA DERRAME ACCIDENTAL**

- En caso de derrame accidental del producto, se debe recoger el producto tomando todas las precauciones necesarias para evitar cualquier riesgo de una posible intoxicación.
- Usar siempre guantes de caucho, máscara con protección respiratoria, overol y botas de caucho antes de entrar en contacto con el producto derramado.
- El producto debe ser recogido con una pala adecuada y debe depositarse en un empaque hermético para su posterior destrucción.
- Los derrames pequeños se manejan con absorción de un material inerte como aserrín, arena o tierra que luego se deben incinerar. Cuando ocurran derrames mayores deben confinarse en diques de arena que posteriormente se colocan en tambores metálicos para su proceso de filtración, depuración o incineración.

**SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

- El producto se debe manejar y almacenar en bodegas seguras que tengan buena ventilación, piso de cemento y en lo posible sistema de contención de derrames.
- Por ningún motivo se debe almacenar en lugares donde se encuentran alimentos para los seres humanos o animales.
- No almacenar en lugares donde se encuentren productos corrosivos o explosivos.

**SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN, PROTECCIÓN PERSONAL**

- CARBOFED 330 S.C. es tóxico si se ingiere. No comer, beber o fumar durante el manejo y aplicación del producto.
- Siempre que se manipule el producto y especialmente durante la aplicación, los operarios deben contar con la siguiente protección: botas de caucho, overol de manga larga, gorra, máscara con protección respiratoria, guantes de caucho y lentes de seguridad.
- Una vez concluida la manipulación del producto, tome una ducha y lávese con abundante agua y jabón. Después utilice ropa limpia.

<b>HOJA DE SEGURIDAD</b>  <b>CARBOFED 330 S.C.</b> <b>PRODUCTO FORMULADO</b>  <b>FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS</b> Carrera 100 No. 25H-55 Teléfono 4251150 Fax 4252023 Bogotá	<b>TELEFONO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS:</b>  <b>CISPROQUIM</b> Bogota: 2886012 Fuera de Bogotá: 01-8000-916012 Línea gratuita
---	--

<b>SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
Estado físico	: Líquido suspensión concentrada
Color	: Crema
Olor	: Sin olor característico
Densidad	: 1.18 g/cc a 20 °C
Explosividad	: No explosivo
Corrosividad	: No corrosivo

<b>SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>	
En condiciones normales de almacenamiento, el producto es estable por un periodo mínimo de dos años. No se debe almacenar con productos corrosivos o explosivos	

<b>SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA</b>	
Toxicología Aguda en Mamíferos	
Oral	DL <sub>50</sub> rata : 23 mg/kg
Dermal	DL <sub>50</sub> conejo : > 8000 mg/kg
Inhalatoria	CL <sub>50</sub> pez : > 0.71 mg/l de aire

<b>SECCION 12: INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA</b>	
<b>Toxicidad para Aves:</b> DL <sub>50</sub> Oral Aguda Codorniz Japonesa 2.5-5 mg/kg CL <sub>50</sub> Codorniz Japonesa 60-240 mg/kg	
<b>Toxicidad para Organismos acuáticos</b> CL <sub>50</sub> (96 h) Trucha Arco iris 22-29 mg/l CL <sub>50</sub> (96 h) Bluegill sunfish 1.75 mg/l CL <sub>50</sub> (48 h) Daphnia magna 38.6 µg/l	
<b>Comportamiento en el suelo:</b> Carbofuran es soluble en agua y es moderadamente persistente en el suelo, tiene una vida media de 30 a 120 días. En el suelo es degradado por hidrólisis química y procesos microbianos; la hidrólisis ocurre más rápidamente en suelos alcalinos. Se descompone con la luz solar y tiene un alto potencial para contaminar aguas subterráneas	

<p><b>HOJA DE SEGURIDAD</b></p> <p><b>CARBOFED 330 S.C.</b> PRODUCTO FORMULADO</p> <p><b>FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS</b> Carrera 100 No. 25H-55 Teléfono 4251150 Fax 4252023 Bogotá</p>	<p><b>TELEFONO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS:</b></p> <p><b>CISPROQUIM</b> Bogota: 2886012 Fuera de Bogotá: <b>01-8000-916012</b> Línea gratuita</p>
--	---

**SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICION DEL PRODUCTO**

- Ningún envase que haya contenido este plaguicida debe utilizarse para almacenar alimentos o agua para consumo
- Después de usar el producto, enjuague tres veces el envase. Luego destrúyalo perforándolo o triturándolo.
- Los residuos posconsumo (empaques, envases y embalajes) deben ser retornados a través de los programas de devolución de productos posconsumo de plaguicidas químicos que se encuentren operando en la zona respectiva.
- En caso de derrame accidental, se debe recoger el producto tomando todas las precauciones necesarias para evitar cualquier riesgo de una posible intoxicación.
- Usar siempre guantes de caucho, máscara con protección respiratoria, overol y botas de caucho antes de entrar en contacto con el producto derramado.
- El producto debe ser recogido con una pala adecuada y debe depositarse en un empaque hermético para su posterior destrucción.

**SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE**

- Nunca transportar con alimentos para consumo humano o animal
- No transportar con alimentos para consumo humano o animal
- No transportar con elementos inflamables o explosivos
- El transportador debe tener siempre a mano la hoja de seguridad o la tarjeta de emergencia
- En caso de derrame accidental el transportador debe comunicarse inmediatamente con los teléfonos de emergencia que aparece en la primera página de esta Hoja de Seguridad.
- El transportador debe contar siempre con los elementos de protección necesarios para la correcta manipulación del producto en caso de derrame o vertimiento accidental.

Número UN: 3006

Fuente [68]

## Anexo 2. Datos de precipitación y evaporación de la estación La Fortuna

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1963	14,5	48	16	102	182,5	54,5	86,5	59	17	90,5	95	6
1964	0	2	0	104	149,5	102	81	41	65	65	49,5	29
1965	12	11,5	11,5	195	145	34	93	10	30	134	98	17
1966	5,5	29	121,5	37,5	39,5	73,5	57	53,5	48,5	62	134,5	93,5
1967	12	1,5	89,1	155,4	129,3	117,5	56,2	85,9	59,8	45,7	128,2	53,2
1968	23,9	24,9	38,5	166,2	43,9	79,3	73,6	70,3	76,3	81	89,5	35,6
1969	62	14	6,1	140,5	91,4	58,9	63,8	56,6	24,5	196,2	74	10,2
1970	54,1	53,7	18,7	30,4	127,7	60	78,5	64,1	74,6	86,2	84,8	14,4
1971	39,8	16,7	66,7	76,9	114,3	71,9	93,2	72,1	58,4	56,5	45,1	47,8
1972	69,8	33,3	65,2	213,3	83,2	82,1	62,6	70,2	42,8	36,1	62,9	10,6
1973	2	7,3	20	69,1	83,2	76	73	103,1	125,6	54,3	89	44,1
1974	23	65,1	64,9	72,8	69,1	64,2	63,3	34,5	85	71,7	107,7	3,7
1975	9,1	70,2	56	62,9	84,8	86,4	70,7	78,5	61,9	113,2	56,3	87,4
1976	10,8	26,8	119,8	71,7	106,6	94,6	59	48,2	84,8	111,2	61,4	34,8
1977	0	2,6	24,4	111,6	52,6	61,5	65,9	61,7	75,1	64,1	140	16,5
1978	0,6	29,5	31,5	154	81,9	67	60,5	53,6	53,2	68	31,8	38,2
1979	2,1	28,2	19,2	68	64,8	38,5	44,9	41,9	39	71,7	55,5	33,8
1980	11,2	18,4	11,2	46,6	42,5	63,1	42,2	28,9	35,3	111,3	48,7	22,7
1981	13,8	37,3	11,6	138,3	109,9	51,9	29,7	51,1	59,6	57,1	64,5	23,5
1982	22,8	28,2	91,3	138,4	63,9	61,2	49,2	74,3	29,2	48	38,1	18,5
1983	5,6	32	33,9	76,7	30,8	82,45	52,95	80,75	84,75	57,5	38,45	15,25
1984	6,75	24,3	34,5	53	105,8	103,7	56,7	87,2	140,3	67	38,8	12
1985	7,9	16,6	39,9	89,2	100,8	79,4	55,4	67,2	83,7	99	57,3	49,6
1986	19	108,3	59,2	88,5	69,2	133,4	80	37,8	46,4	165,2	124,1	12,8
1987	46,2	40,2	20,7	97,2	43,5	44,1	100,9	28,2	31,6	109,8	30,4	8,2
1988	13,5	85	12,2	74	31,8	85,7	46,4	49	68,3	71,1	167,8	57,3
1989	5,6	52,3	206	29,2	102,5	68,1	71,9	33,5	50,3	39,7	66,1	38,4
1990	7,3	57,1	69,9	112,4	132,2	73,1	74,3	45	34,7	123,5	57,8	72,2
1991	1,4	14,5	140,6	60,8	49,7	55,8	86,8	67,6	26,4	55,1	131,9	28,8
1992	7,1	19,1	34,8	55,6	63,7	31,6	96,6	77,5	55,4	13,9	103,4	25,7
1993	19,6	29,4	29,3	64,9	113,2	60,4	89,2	29,8	49,7	47	145,7	6,8
1994	24,7	38,3	67,8	68,4	167,2	89,3	95,1	73,1	108,7	189,4	45,8	15
1995	0	11,8	76,3	82,1	55	102,8	61,6	62,6	23	59	32	68,6
1996	42,1	48,8	111,6	38	117,4	48,8	78,5	57,9	31,2	129,1	51,1	75,1
1997	65,4	26,8	37,2	31,9	44,8	79,5	96,9	39,8	36,6	50,8	69,7	5,2
1998	10	19,8	65,9	44,9	188,3	63,9	118,2	47,6	38,1	71,8	45	79,3
1999	22,9	81,9	53,4	133,4	66,2	58,1	190,9	31,9	263,9	136	86,2	62,4
2000	58,1	69,8	19,3	37,8	102,7	91,7	62,8	162,5	81,9	100,8	72,1	36
2001	2,6	30,2	20,9	11,8	34,4	42,1	60,9	86	76,8	56,2	106,2	52,6
2002	1,9	21,3	39	142	108,3	82,9	56,2	51,4	81,8	58,1	43,7	11,6
2003	1	42,5	98,2	55,2	64	81,5	66,3	25,9	43,7	101,3	43,3	69,7
2004	18,5	25,1	23,5	110,6	126,3	74,6	73,3	65,2	55,5	107,5	53,5	67,7
2005	12,8	28,3	22,1	94,1	116,5	41,2	54,4	44,2	114,9	113,8	102,4	20,6
2006	50,5	2,4	96,7	161,2	121,8	125,4	54,1	55,6	28,3	88,3	95,2	39,8
2007	1,5	12	18,4	151,9	96,1	81,6	30,9	93,4	31,2	169,2	54,8	62,3
2008	47,2	61,2	39,3	43,6	122,1	91,5	69,2	92,8	46,5	89,7	232,8	57,4
2009	86	44,9	63,9	57,6	45,7	55,7	61,4	55,5	44,1	64,1	14,9	2,5
2010	0	7,7	27,9	125,8	125,5	78,3	128,5	37,3	57,5	113,2	134,2	70
2011	23,7	127,1	127,7	260,8	173	66,6	81	55,3	43,9	152	189	91,3
2012	62,2	42	75,9	218,3	42,7	58	81,5	102,7	32,2	100,8	57,2	16,2
2013	18	64,1	46,8	66,8	152,9	20,5	64,3	70,7	40,4	65,2	151,6	41,6
2014	5,8	43,6	39,4	72,4	57	67,2	50,4	86,7	36,3	83	104,4	28,9

Fuente [22]

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1985	48,3	115,3	42,8	88,4	73,5	62	61,3	54,2	86,8	70,3	59,3	99,8
1986	70	46,2	72,9	63,4	60,7	40,4	61,9	66,4	55,2	43,5	41,6	76,4
1991	102,5	43,6	71,3	39,8	54,9	58,4	56,9	67,7	79,1	63,9	54,8	90,5
1992	107,9	75,3	86,7	71,3	56,4	47,1	51,9	62,7	67,4	58,8	90,6	86,4
1993	83,1	92,1	64,3	55,5	73	69,8	70,5	80,7	53,35	56,8	66,3	97,2
1994	76,6	52,5	74,5	19,7	28,7	46,5	44,7	39,7	39,3	44,6	51,9	32,7
1995	85,7	62,5	72,6	55,7	75,7	85,1	61,3	63	67,6	68,9	65,4	79
1996	102,9	83,9	81,9	77,8	80,8	74,2	21,9	68	60,6	77,2	69,4	68,4
1997	90,8	60,6	46,6	54,5	37,6	70,9	63,2	59,9	46,3	49,5	53,2	55,7
1998	91,6	82	79,4	73,9	58,7	53,6	79,9	63,2	77,2	80,7	70,7	83,2
1999	88	70,9	100,3	74,9	90,9	103,3	26,8	72,4	66,9	79,8	95,1	83
2000	90,4	81,8	86,4	78,9	58,2	75,8	76,2	64,3	61,3	79,2	72,2	74,3
2001	126,2	45,2	100,8	73,6	90	89,5	78,3	82,8	77,3	81	77,7	101,3
2002	85	95	88,8	64	103,4	104,5	47,9	72,3	73,9	75,7	62,6	72
2003	92,8	52,4	59,3	35,5	46	62,8	60,5	54,4	40,8	25,8	59,3	72,2
2004	70,9	105,9	84,7	141,9	66,4	53,3	73,9	48,9	57,1	54,2	58,9	88,5
2005	89,8	78,9	121,2	90,4	175,3	59,3	66,2	53,3	66,1	76,1	65,5	74,9
2006	61,3	22,8	54,3	52,5	54,9	39,5	55,4	64,9	83,7	63,2	59,8	56,5
2007	76,1	111,2	78,8	67	98,3	103,3	49,3	61,1	54,8	64	58,6	73,8
2008	82,8	85,2	92,4	76,6	64,6	63,5	67,2	71,7	63,2	74,7	75,1	70,2
2009	75,8	72,6	67,9	67	57,9	60,1	58	62,1	65	65,6	69,7	94
2010	103,9	101,6	99,3	68,9	62,6	66,7	61,9	61,7	76,3	75,6	65,7	69
2011	70,2	83,2	74,9	69,6	53,8	58,3	46	64,6	52,7	56,4	38,5	48,9
2012	33,7	41,6	35,8	16,7	33,3	23,9	30,9	45,7	44,1	79,6	101,7	92,3
2013	80,4	73,4	47,7	39,9	39,5	40,1	34,1	44,6	52,5	47,8	56,7	58,6
2014	75	88,8	91,9	71,6	79,5	54,9	55,2	62,4	64,2	63,5	79,2	75,45

Fuente [22]

## Anexo 3. Guía OECD 312

OECD/OCDE

**312**

Adopted :  
13 April 2004

### **OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS**

#### **Leaching in Soil Columns**

##### **INTRODUCTION**

1. Man-made chemicals may reach soil directly via deliberate application (e.g. agrochemicals) or via indirect routes (e.g. via waste water → sewage sludge → soil or air → wet/dry deposition). For risk assessment of these chemicals, it is important to estimate their potential for transformation in soil and for movement (leaching) into deeper soil layers and eventually into groundwater.
2. Several methods are available to measure the leaching potential of chemicals in soil under controlled laboratory conditions, i.e. soil thin-layer chromatography, soil thick-layer chromatography, soil column chromatography, and adsorption - desorption measurements (1)(2). For non-ionised chemicals, the n-octanol-water partition coefficient ( $P_{ow}$ ) allows an early estimation of their adsorption and leaching potential (3)(4)(5).
3. The method described in this Test Guideline is based on soil column chromatography in disturbed soil (see Annex 1 for definition). Two types of experiments are performed to determine (i) the leaching potential of the test substance, and (ii) the leaching potential of transformation products (study with aged residues) in soils under controlled laboratory conditions<sup>1</sup>. The method is based on existing guidelines (6)(7)(8)(9)(10)(11).
4. An OECD Workshop on soil/sediment selection, held at Belgirate, Italy in 1995 (12) agreed on the number and type of soils for use in this test. It also made recommendations with regard to collection, handling and storage of soil samples for leaching experiments.

##### **PRINCIPLE OF THE TEST**

5. Columns made of suitably inert material (e.g. glass, stainless steel, aluminium, teflon, PVC, etc.) are packed with soil and afterwards saturated and equilibrated with an “artificial rain” solution (for definition see Annex 1) and allowed to drain. Then the surface of each soil column is treated with the test substance and/or with aged residues of the test substance. Artificial rain is then applied to the soil columns and the leachate is collected. After the leaching process the soil is removed from the columns and is sectioned into an appropriate number of segments depending on the information required from the study. Each soil segment and the leachate are then analysed for the test substance and, if appropriate, for transformation products or other chemicals of interest.

---

<sup>1</sup> Column leaching studies with crop protection products may provide mobility information on a test substance and its transformation products and may supplement batch sorption studies.

**APPLICABILITY OF THE TEST**

6. The method is applicable to test substances (unlabelled or radio-labelled: e.g.  $^{14}\text{C}$ ) for which an analytical method with sufficient accuracy and sensitivity is available. The test should not be applied to chemicals which are volatile from soil and water and thus do not remain in soil and/or leachate under the experimental conditions of this test.

**INFORMATION ON THE TEST SUBSTANCE**

7. Unlabelled or radio-labelled test substances can be used to measure the leaching behaviour in soil columns. Radio-labelled material is required for studying the leaching of transformation products (aged residues of the test substance) and for mass balance determinations.  $^{14}\text{C}$ -labelling is recommended but other isotopes, such as  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{32}\text{P}$ , may also be useful. As far as possible, the label should be positioned in the most stable part(s) of the molecule. The purity of the test substance should be at least 95%.

8. Most chemicals should be applied as single substances. However, for active ingredients in plant protection products, formulated products may be used to study the leaching of the parent test substance but their testing is particularly required when the formulation is likely to affect the release rate (e.g. granular or controlled release formulations). Regarding formulation specific requirements for test design, it may be useful to consult with the regulatory authority prior to conducting the test. For aged residue leaching studies, the pure parent test substance should be used.

9. Before carrying out leaching tests in soil columns, the following information on the test substance should preferably be available:

- (a) solubility in water [OECD Guideline 105] (13);
- (b) solubility in organic solvents;
- (c) vapour pressure [OECD Guideline 104] (13) and Henry's Law constant;
- (d) n-octanol/water partition coefficient [OECD Guidelines 107 and 117] (13);
- (e) adsorption coefficient ( $K_d$ ,  $K_f$  or  $K_{OC}$ ) [OECD Guideline 106 and/or 121] (13);
- (f) hydrolysis [OECD Guideline 111] (13);
- (g) dissociation constant ( $\text{pK}_a$ ) [OECD Guideline 112] (13);
- (h) aerobic and anaerobic transformation in soil [OECD Guideline 307] (13)

Note: The temperature at which these measurements were made should be reported in the respective test reports.

10. The amount of test substance applied to the soil columns should be sufficient to allow for detection of at least 0.5 % of the applied dose in any single segment. For active substances in plant protection products, the amount of test substance applied may correspond to the maximum recommended use rate (single application).

11. An appropriate analytical method of known accuracy, precision and sensitivity for the quantification of the test substance and, if relevant, of its transformation products in soil and leachate must be available. The analytical detection limit for the test substance and its significant transformation products (normally at least all transformation products  $\geq 10$  % of applied dose observed in transformation pathway studies, but preferably any relevant transformation products of concern) should also be known (see paragraph 17).

**REFERENCE SUBSTANCES**

12. Reference substances with known leaching behaviour such as atrazine or monuron which can be considered moderate leachers in the field should be used for evaluating the relative mobility of the test substance in soil (1)(8)(11). A nonsorbing and non degradable polar reference substance (e.g. tritium, bromide, fluorescein, eosin) to trace the movement of water in the column may also be useful to confirm the hydrodynamic properties of the soil column.

13. Analytical standard substances may also be useful for the characterisation and/or identification of transformation products found in the soil segments and in the leachates by chromatographic, spectroscopic or other relevant methods.

**DEFINITIONS AND UNITS**

14. See Annex 1.

**QUALITY CRITERIA****Recovery**

15. The sum of the percentages of the test substance found in the soil segments and the column leachate after leaching gives the recovery for a leaching experiment. Recoveries should range from 90 % to 110 % for radio-labelled substances (11) and from 70 % to 110 % for non-labelled substances (8).

**Repeatability and sensitivity of analytical method**

16. Repeatability of the analytical method to quantify test substance and transformation products can be checked by duplicate analysis of the same extract of a soil segment or of a leachate (see paragraph 11).

17. The limit of detection (LOD) of the analytical method for the test substance and for the transformation products should be at least  $0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in each soil segment or leachate (as test substance) or 0.5 % of applied dose in any single segment whichever is lower. The limit of quantification (LOQ) should also be specified.

**DESCRIPTION OF THE TEST METHOD****Test system**

18. Leaching columns (sectionable or non-sectionable) made of suitably inert material (e.g. glass, stainless steel, aluminium, teflon, PVC) with an inner diameter of at least 4 cm and a minimum height of 35 cm are used for the test. Column materials should be tested for potential interactions with the test substance and/or its transformation products. Examples of suitable sectionable and non-sectionable columns are shown in Annex 2.

19. Spoon, plunger and vibration apparatus are used for filling and packing the soil columns.

20. For application of artificial rain to the soil columns, piston or peristaltic pumps, showering heads, Mariotte bottles or simple dropping funnels can be used.

#### Laboratory equipment and chemicals

21. Standard laboratory equipment is required, in particular the following:

- analytical instruments such as GLC, HPLC and TLC equipment, including the appropriate detection systems for analysing labelled or unlabelled substances or inverse isotope dilution method;
- instruments for identification purposes (e.g. MS, GC-MS, HPLC-MS, NMR, etc.);
- liquid scintillation counter for radio-labelled test substance;
- oxidiser for combustion of labelled material;
- extraction apparatus (for example, centrifuge tubes for cold extraction and Soxhlet apparatus for continuous extraction under reflux);
- instrumentation for concentrating solutions and extracts (e.g. rotating evaporator);

22. Chemicals used include: organic solvents, analytical grade, such as acetone, methanol, etc.; scintillation liquid; 0.01 M CaCl<sub>2</sub> solution in distilled or deionised water (= artificial rain).

#### Test substance

23. To apply the test substance to the soil column it should be dissolved in water (deionised or distilled). If the test substance is poorly soluble in water, it can be applied either as formulated product (if necessary after suspending or emulsifying in water) or in any organic solvent. In case an organic solvent is used, it should be kept to a minimum and should be evaporated from the surface of the soil column prior to start of leaching procedure. Solid formulations, such as granules, should be applied in the solid form without water; to allow a better distribution over the surface of the soil column, the formulated product may be mixed with a small amount of quartz sand (e.g. 1 g) before application.

24. The amount of test substance applied to the soil columns should be sufficient to allow for detection of at least 0.5 % of the applied dose in any single segment. For active substances in plant protection products, this may be based on the maximum recommended use rate (single application rate) and, for both parent and aged leaching, should be related to the surface area of the soil column used<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> The amount to be applied to cylindrical soil columns can be calculated by the following formula:

$$M [\mu\text{g}] = \frac{A [\text{kg} / \text{ha}] \cdot 10^9 [\mu\text{g} / \text{kg}] \cdot d^2 [\text{cm}^2] \cdot \pi}{10^8 [\text{cm}^2 / \text{ha}] \cdot 4}$$

where:

M = amount applied per column [ $\mu\text{g}$ ]

A = rate of application [ $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]

d = diameter of soil column [cm]

$\pi = 3.14$

**Reference substance**

25. A reference substance should be used in the leaching experiments (see paragraph 12). It should be applied to the soil column surface in a similar way as the test substance and at an appropriate rate that enables adequate detection either as an internal standard together with the test substance on the same soil column or alone on a separate soil column. It is preferred that both substances be run on the same column, except when both substances are similarly labelled.

**Soils****Soil selection**

26. For leaching studies with the parent test substance 3 to 4 soils with varying pH, organic carbon content and texture should be used (12). Guidance for selection of soils for leaching experiments is given in Table 1 below. For ionisable test substances the selected soils should cover a wide range of pH, in order to evaluate the mobility of the substance in its ionised and unionised forms; at least 3 soils should have a pH at which the test substance is in its mobile form.

Table 1: Guidance for selection of soils for leaching studies

Soil No.	pH value	Organic carbon %	Clay content %	Texture*
1	> 7.5	3.5 - 5.0	20 - 40	clay loam
2	5.5 - 7.0	1.5 - 3.0	15 - 25	silt loam
3	4.0 - 5.5	3.0 - 4.0	15 - 30	loam
4	<4.0 - 6.0 §	<0.5 - 1.5 §†	<10 - 15 §	loamy sand
5	< 4.5	> 10#	< 10	loamy sand/sand

\* According to FAO and USDA systems (14).

§ The respective variables should preferably show values within the range given. If, however, difficulties in finding appropriate soil material occur, values below the indicated minimum are accepted.

† Soils with less than 0.3 % organic carbon may disturb correlation between organic content and adsorption. Thus, it is recommended to use soils with a minimum organic carbon content of 0.3 %.

# Soils with very high carbon content (e.g. >10%) may not be acceptable legally for example for pesticide registration purposes.

27. Other soil types may sometimes be necessary to represent cooler, temperate and tropical regions within the OECD countries. Therefore, if other soil types are preferred, they should be characterised by the same parameters and should have similar variations in properties as those described in the guidance for selection of soils for leaching studies (see Table 1 above), even if they do not match the criteria exactly.

28. For leaching studies with “aged residues“, one soil should be used (12). It should have a sand content > 70% and an organic carbon content between 0.5 - 1.5 % (e.g. soil No. 4 in Table 1). Use of more soil types may be necessary if data on the transformation products are important.

29. All soils should be characterised at least for texture [% sand, % silt, % clay according to FAO and USDA classification systems (14)], pH, cation exchange capacity, organic carbon content, bulk density (for disturbed soil) and water holding capacity. Measurement of microbial biomass is only required for the soil which is used in the ageing/incubation period carried out before the aged leaching experiment. Information on additional soil properties (e.g. soil classification, clay mineralogy, specific

surface area) may be helpful for interpreting the results of this study. For determination of soil characteristics the methods recommended in references (15)(16)(17)(18)(19) can be used.

#### Collection and storage of soils

30. The soils should be taken from the top layer (A-horizon) to a maximum depth of 20 cm. Remains of vegetation, macro-fauna and stones should be removed. The soils (except those used for ageing the test substance) are air-dried at room temperature (preferably between 20-25 °C). Disaggregation should be performed with minimal force, so that the original texture of the soil will be changed as little as possible. The soils are sieved through a  $\leq 2$  mm sieve. Careful homogenisation is recommended, as this enhances the reproducibility of the results. Before use the soils can be stored at ambient temperature and kept air dried (12). No limit on storage time is recommended but soils stored for more than 3 years should be re-analysed prior to use with respect to their organic carbon content and pH.

31. Detailed information on the history of the field sites from where the test soils are collected should be available. Details include exact location [exactly defined by UTM (Universal Transversal Mercator-Projection/European Horizontal Datum) or geographical co-ordinates], vegetation cover, treatments with crop protection chemicals, treatments with organic and inorganic fertilisers, additions of biological materials or accidental contamination (12). If soil have been treated with the test substance or its structural analogues within the previous four years, these soils should not be used for leaching studies.

#### Test conditions

32. During the test period, the soil leaching columns should be kept in the dark at ambient temperature as long as this temperature is maintained within a range of  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Recommended temperatures are between 18 and 25°C.

33. Artificial rain (0.01 M  $\text{CaCl}_2$ ) should be applied continuously to the surface of the soil columns at a rate of 200 mm over a period of 48 hours<sup>3</sup>; this rate is equivalent to an application of 251 ml for a column with an inner diameter of 4 cm. If needed for the purpose of the test, other rates of artificial rainfall and longer duration may additionally be used.

#### Performance of the test

##### Leaching with parent test substance

34. At least duplicate leaching columns are packed with untreated, air-dried and sieved soil ( $< 2$  mm) up to a height of approximately 30 cm. To obtain uniform packing, the soil is added to the columns in small portions with a spoon and pressed with a plunger under simultaneous gentle column vibration until the top of the soil column does not sink in further. Uniform packing is required for obtaining reproducible results from leaching columns. For details on column packing techniques, see references (20)(21) and (22). To control the reproducibility of the packing procedure, the total weight of the soil packed in the columns is determined<sup>4</sup>; the weights of the duplicate columns should be similar.

<sup>3</sup> This simulates an extremely high rainfall. The average yearly rainfall, for example, in Central Europe is of the order of 800-1000mm.

<sup>4</sup> Examples of bulk densities for disturbed soils are as follows:

for a sand soil $1.66 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$	for a loamy sand soil $1.58 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$
for a loam soil $1.17 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$	for a silt soil $1.11 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$

35. After packing, the soil columns are pre-wetted with artificial rain (0.01 M CaCl<sub>2</sub>) from bottom to top in order to displace the air in the soil pores by water. Thereafter the soil columns are allowed to equilibrate and the excess water is drained off by gravity. Methods for column saturation are reviewed in reference 23.

36. Then the test substance and/or the reference substance are applied to the soil columns (see also paragraphs 23-25). To obtain a homogeneous distribution the solutions, suspensions or emulsions of the test and/or reference substance should be applied evenly over the surface of the soil columns. If incorporation into soil is recommended for the application of a test substance, it should be mixed in a small amount (e.g. 20 g) of soil and added to the surface of the soil column.

37. The surfaces of the soil columns are then covered by a glass sinter disk, glass pearls, glass fibre filters or a round filter paper to distribute the artificial rain evenly over the entire surface and to avoid disturbance of the soil surface by the rain drops. The larger the column diameter the more care is needed for the application of the artificial rain to the soil columns to ensure an even distribution of the artificial rain over the soil surface. Then the artificial rainfall is added to the soil columns drop-wise with the aid of a piston or a peristaltic pump or a dropping funnel. Preferably, the leachates should be collected in fractions and their respective volumes are recorded<sup>5</sup>.

38. After leaching and allowing the columns to drain, the soil columns are sectioned in an appropriate number of segments depending on the information required from the study, the segments are extracted with appropriate solvents or solvent mixtures and analysed for the test substance and, when appropriate, for transformation products, for total radioactivity and for the reference chemical. The leachates or leachate fractions are analysed directly or after extraction for the same products. When radio-labelled test substance is used, all fractions containing  $\geq 10$  % of the applied radioactivity should be identified.

#### Leaching with aged residues

39. Fresh soil (not previously air-dried) is treated at a rate corresponding to the surface area of the soil columns (see paragraph 24) with the radio-labelled test substance and incubated under aerobic conditions according to OECD Test Guideline 307 (13). The incubation (ageing) period should be long enough to produce significant amounts of transformation products; an ageing period of one half-life of the test substance is recommended<sup>6</sup>, but should not exceed 120 days. Prior to leaching, the aged soil is analysed for the test substance and its transformation products.

40. The leaching columns are packed up to a height of 28 cm with the same soil (but air-dried) as used in the ageing experiment as described in paragraph 34 and the total weight of the packed soil columns is also determined. The soil columns are then pre-wetted as described in paragraph 35.

41. Then the test substance and its transformation products are applied to the surface of the soil columns in the form of aged soil residues (see paragraph 39) as a 2 cm soil segment. The total height of the soil columns (untreated soil + aged soil) should preferably not exceed 30 cm (see paragraph 34).

---

<sup>5</sup> Typical leachate volumes range from 230-260 ml corresponding to approx. 92-104 % of total artificial rain applied (251 ml) when using soil columns of 4 cm diameter and 30 cm length.

<sup>6</sup> More than one major transformation product may be formed in soil which also may appear at different time points during a transformation study. In such cases, it may be necessary to conduct leaching studies with aged residues of different age.

42. The leaching is carried out as described in paragraph 37.

43. After leaching, soil segments and leachates are analysed as indicated in paragraph 38 for the test substance, its transformation products and not-extracted radioactivity. To determine how much of the aged residue is retained in the top 2-cm layer after leaching, this segment should be analysed separately.

## **DATA AND REPORTING**

### **Treatment of results**

44. The amounts of test substance, transformation products, non-extractables and, if included, of the reference substance should be given in % of applied initial dose for each soil segment and leachate fraction. A graphical presentation should be given for each column plotting the percentages found as a function of the soil depths.

45. When a reference substance is included in these column leaching studies, the leaching of a chemical can be evaluated on a relative scale using relative mobility factors (RMF; for definition see Annex 3) (1)(11) which allows the comparison of leaching data of various chemicals obtained with different soil types. Examples of RMF-values for a variety of crop protection chemicals are given in Annex 3.

46. Estimates of  $K_{oc}$  (organic carbon normalised adsorption coefficient) and  $K_{om}$  (organic matter normalised distribution coefficient) can also be obtained from column leaching results by using average leaching distance or established correlations between RMF and both  $K_{om}$  and  $K_{oc}$  respectively (4) or by applying simple chromatographic theory (24). However, the latter method should be used with caution especially when considering that the leaching process does not solely involve saturated flow conditions, but rather unsaturated systems.

### **Interpretation of results**

47. The column leaching studies described in this Guideline allow determining the leaching or mobility potential in soil of the test substance (in the parent leaching study) and/or its transformation products (in the aged residue leaching study). These tests do not quantitatively predict leaching behaviour under field conditions, but they can be used to compare the 'leachability' of one chemical with others whose leaching behaviour may be known (24). Likewise, they do not quantitatively measure the percentage of applied chemical that might reach ground water (11). However, the results of column leaching studies may assist in deciding whether additional semi-field or field testing has to be carried out for substances showing a high mobility potential in laboratory tests.

### **Test report**

48. The report must include:

Test substance and reference substance (when used):

- common name, chemical name (IUPAC and CAS nomenclature), CAS number, chemical structure (indicating position of label when radio-labelled material is used) and relevant physical-chemical properties;
- purity (impurity) of test substance;

- radiochemical purity of labelled chemical and specific activity (where appropriate).

Test soils:

- details of collection site;
- properties of soils, such as pH, organic carbon and clay content, texture and bulk density (for disturbed soil);
- soil microbial activity (only for soil used for ageing of test substance);
- length of soil storage and storage conditions.

Test conditions:

- dates of the performance of the studies;
- length and diameter of leaching columns;
- total soil weight of soil columns;
- amount of test substance and, if appropriate, reference substance applied;
- amount, frequency and duration of application of artificial rain;
- temperature of experimental set-up;
- number of replications (at least two);
- methods for analysis of test substance, transformation products and, where appropriate, of reference substance in the various soil segments and leachates;
- methods for the characterisation and identification of transformation products in the soil segments and leachates.

Test results:

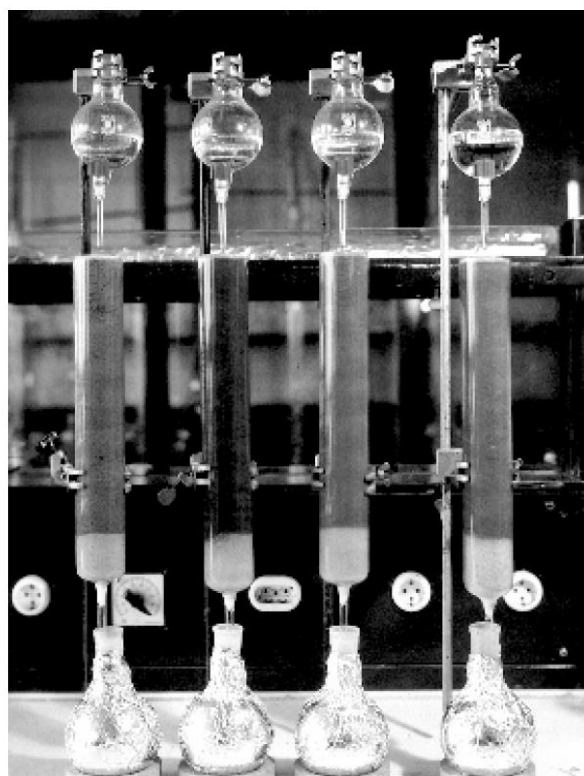
- tables of results expressed as concentrations and as % of applied dose for soil segments and leachates;
- mass balance, if appropriate;
- leachate volumes;
- leaching distances and, where appropriate, relative mobility factors;
- graphical plot of % found in the soil segments versus depth of soil segment;
- discussion and interpretation of results.

### LITERATURE

- (1) Guth, J.A., Burkhard, N. and Eberle, D.O. (1976). Experimental Models for Studying the Persistence of Pesticides in Soil. Proc. BCPC Symposium: Persistence of Insecticides and Herbicides.
- (2) Russel, M.H. (1995). Recommended approaches to assess pesticide mobility in soil. In progress in Pesticide Biochemistry and Toxicology, Vol. 9 (Environmental Behaviour of Agrochemicals – T.R. Roberts and P.C. Kearney, Eds.). J. Wiley & Sons.
- (3) Briggs, G.G. (1981). Theoretical and experimental relationships between soil adsorption, octanol-water partition coefficient, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor. *J.Agric. Food Chem.* 29, 1050-1059.
- (4) Chiou, C.T., Porter, P.E. and Schmedding, D.W. (1983). Partition equilibria of non-ionic organic compounds between soil organic matter and water. *Environ. Sci. Technol.* 17, 227-231.

## ANNEX 2

Figure 1: Example of non-sectionable leaching columns made of glass  
With a length of 35 cm and an inner diameter of 5 cm (1)



← Dropping funnels for application of artificial rain

← Glass sinter disc to avoid disturbance of the soil surface and to evenly distribute the artificial rain

← Glass column filled with test soil (when testing photolabile products columns should be wrapped in aluminium foil)

← Layer of quartz sand

← Glass wool plug to keep the soil in the column

← Round-bottom flask for collection of leachate; wrapped in aluminium foil to exclude photolysis

- (1) Drescher, N. (1985). Moderner Acker- und Pflanzenbau aus Sicht der Pflanzenschutzmittelindustrie. In Unser Boden – 70 Jahre Agrarforschung der BASF AG, 225-236. Verlag Wissenschaft und Politik, Köln.

## Anexo 4. Resultados de análisis del IGAC

<b>IGAC</b>	<b>INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO</b>												FECHA				
	GESTIÓN AGROLÓGICA												AAAA-MM-DD				
	DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN												2015-05-21				
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO										ALEJANDRA DELGADO		No. SOLICITUD		549_1			
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN										CUNDINAMARCA/ VILLA PINZON		TIPO DE MUESTRA				SUELO	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>				DE FECHA				N.A				DIRECCIÓN DEL CLIENTE				N.E	
No. LAB.	IDENTIFICACION DE CAMPO	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	RELACION	pH	A.L. cmol(+)/Kg	S.A.I. %	SALINIDAD		CaCO <sub>3</sub>		RETENCIÓN FOSFORICA %	MATERIA ORGANICA	
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %							CE (dS/m)	PSI	Cualitativo*	Cuantitativo %		C.O. %	N. TOTAL %
1-05452	M-1	33,1	35,5	31,4	FAr		(1:1)	4,5	2,8	27,2						4,9	
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol(+)/Kg)		S.B. %		ALUMINIO ACTIVO %	HIERRO ACTIVO %	ÍNDICE MELANICO	ELEMENTOS MENORES (mg/Kg)					mg/Kg		Fósforo (mg/Kg)			
CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.		Mn	Fe	Zn	Cu	B	S	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Disponible	Total	
31,9	4,9	1,0	1,0	0,06	7,0	21,8									154		
OBSERVACIONES																	
<p>meq Calcio/100g (cmol(+)/Kg) x 200 = mg/Kg.      meq Potasio/100g (cmol(+)/Kg) x 391 = mg/Kg.      * CaCO<sub>3</sub>: (+) = (-) = NO PRESENTE; BAJO; (++) = MEDIO; (+++) = ALTO; (++++) = MUY ALTO.</p> <p>meq Magnesio/100g (cmol(+)/Kg) x 120 = mg/Kg.      meq Sodio/100g (cmol(+)/Kg) x 230 = mg/Kg.      N.A = NO APLICA; N.E = NO ESPECIFICA; N.D. = NO DETECTADO</p> <p>Porcentaje (%) = mg/Kg / 10.000</p> <p>A = ARENA; L = LIMO; Ar = ARCILLA; F = FRANCO</p> <p>CE = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</p> <p>SAT = SATURADO; B.T. = BASES TOTALES</p> <p>S.A.I.% = PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE</p> <p>S.B.% = PORCENTAJE SATURACIÓN DE BASES; PSI = PORCENTAJE SATURACIÓN DE SODIO</p> <p>NOTA: Los resultados se mantendrán en archivo durante tres años a partir de la entrega de los mismos. Las muestras de suelo se almacenarán durante seis meses a partir de la fecha de entrega. Aguas y abonos no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos se limita al análisis de la muestra entregada por el cliente.</p> <p>Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-51, Telefax 3634016 ó 3634000 Ext. 4016, mail: laboratorio@lgac.gov.co</p> <p>Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</p>																	
<p>APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT: <span style="float: right;">Nombre <u>JORGE ALBERTO SANCHEZ ESPINOSA</u> Firma _____</span></p>																	


GIT LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

Pág 1 de 1

F40601-04/14.V6

Fuente. [88]



 <b>INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI</b> SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS																																																																																																																
pH (H <sub>2</sub> O) 1:1	APRECIACIÓN	P mg Kg <sup>-1</sup> (BRAY II)	K cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	SATURACIÓN DE BASES (SB) %																																																																																																					
				CLIMA			CLIMA																																																																																																									
				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO																																																																																																							
<4,5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35																																																																																																					
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50																																																																																																					
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50																																																																																																					
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">APRECIACIÓN</th> <th colspan="4">RELACIONES</th> <th colspan="3">CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO</th> <th rowspan="2">PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I.)</th> <th rowspan="2">APRECIACIÓN</th> </tr> <tr> <th>Ca/Mg</th> <th>Mg/K</th> <th>Ca/K</th> <th>(Ca+Mg)/K</th> <th>CONDUCTIVIDAD</th> <th>PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (P.S.I.)</th> <th>CLASE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.1 - 5.5</td> <td>RELACIÓN IDEAL</td> <td>2 - 4</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>AD</td> <td rowspan="2">INFERIOR</td> <td>NORMAL</td> <td>&lt;15</td> <td rowspan="2">SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES</td> </tr> <tr> <td>FUERTEMENTE ÁCIDO</td> <td>K DEFICIENTE</td> <td></td> <td>&gt;18</td> <td>&gt;30</td> <td>&gt;40</td> <td>0 - 2 2 - 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5.6 - 6.0</td> <td>MEDIANAMENTE ÁCIDO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4 - 8 8 - 16</td> <td>A</td> <td>S1 S2</td> <td>15 A 30</td> <td rowspan="2">LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES</td> </tr> <tr> <td>6.1 - 6.5</td> <td>LIGERAMENTE ÁCIDO</td> <td>Mg DEFICIENTE</td> <td>&gt;10</td> <td>&lt;1</td> <td></td> <td></td> <td>15%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.6 - 7.3</td> <td>NEUTRO</td> <td colspan="4">CONTENIDO OPTIMO ELEMENTOS MENORES* (mg Kg<sup>-1</sup>)</td> <td>&gt;16</td> <td></td> <td>S3</td> <td></td> <td rowspan="2">LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES</td> </tr> <tr> <td>7.4 - 7.8</td> <td>LIGERAMENTE ALCALINO</td> <td>Zn</td> <td>Cu</td> <td>Mn</td> <td>Fe</td> <td>0 - 4</td> <td rowspan="2">SUPERIOR</td> <td>Na</td> <td>30 A 60</td> </tr> <tr> <td>7.9 - 8.4</td> <td>MEDIANAMENTE ALCALINO</td> <td>SUELO</td> <td>3 - 6</td> <td>1.5 - 3</td> <td>15 - 30</td> <td>20 - 30</td> <td></td> <td>NaS1 NaS2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8.5 - 9.0</td> <td>FUERTEMENTE ALCALINO</td> <td>PLANTA</td> <td>30 - 100</td> <td>5 - 25</td> <td>30 - 200</td> <td>60 - 500</td> <td>&gt;16</td> <td>NaS3</td> <td>&gt;60</td> <td>NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS</td> </tr> </tbody> </table>											APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I.)	APRECIACIÓN	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CONDUCTIVIDAD	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (P.S.I.)	CLASE	5.1 - 5.5	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	AD	INFERIOR	NORMAL	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES	FUERTEMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2 2 - 4				5.6 - 6.0	MEDIANAMENTE ÁCIDO					4 - 8 8 - 16	A	S1 S2	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES	6.1 - 6.5	LIGERAMENTE ÁCIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			15%			6.6 - 7.3	NEUTRO	CONTENIDO OPTIMO ELEMENTOS MENORES* (mg Kg <sup>-1</sup> )				>16		S3		LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES	7.4 - 7.8	LIGERAMENTE ALCALINO	Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4	SUPERIOR	Na	30 A 60	7.9 - 8.4	MEDIANAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30		NaS1 NaS2		8.5 - 9.0	FUERTEMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	NaS3	>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS
APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I.)	APRECIACIÓN																																																																																																							
	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CONDUCTIVIDAD	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (P.S.I.)	CLASE																																																																																																									
5.1 - 5.5	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	AD	INFERIOR	NORMAL	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES																																																																																																						
FUERTEMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2 2 - 4																																																																																																										
5.6 - 6.0	MEDIANAMENTE ÁCIDO					4 - 8 8 - 16	A	S1 S2	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES																																																																																																						
6.1 - 6.5	LIGERAMENTE ÁCIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			15%																																																																																																									
6.6 - 7.3	NEUTRO	CONTENIDO OPTIMO ELEMENTOS MENORES* (mg Kg <sup>-1</sup> )				>16		S3		LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES																																																																																																						
7.4 - 7.8	LIGERAMENTE ALCALINO	Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4	SUPERIOR	Na	30 A 60																																																																																																							
7.9 - 8.4	MEDIANAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30			NaS1 NaS2																																																																																																							
8.5 - 9.0	FUERTEMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	NaS3	>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS																																																																																																						
>9.0	EXTREMADAMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal. Boro en suelos ( extractable en agua caliente ): 0.6 - 1.0 mg Kg <sup>-1</sup> . Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg <sup>-1</sup> .							ÁREA DE QUÍMICA																																																																																																							

Fuente [88]

## Anexo 5. Resultados concentración de Carbofuran



Número de laboratorio: 15/000712  
 Página: 1/5  
 Fecha: 22/05/2015

**Certificado de análisis**  
**15/000712**

Paola Fajardo Gutierrez  
 Paola Fajardo Gutierrez  
 Cll 168 # 14b - 45  
 Bogotá  
 Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0-20-1

Información general:	Información de la muestra:
Productor:	Fecha de muestreo:
Origen:	Muestreo por:
Destino:	Lugar de muestreo:
Número:	Sellado: <b>sin sello</b>
Orden de compra:	Estado de la muestra: <b>en buen estado</b>
Marca:	Peso (g): <b>600</b>
Tratamiento:	Unidad(es): <b>1</b>
Brix/Factor de concentración:	Empaquetado:
Información destino:	Transportado por: <b>Correo</b>
Reporte:	
Fecha de recepción: <b>14/05/2015</b>	
Informe 1° día: <b>22/05/2015</b>	
Período de análisis: <b>14/05/2015 - 22/05/2015</b>	
Control:	
Tolerancia: <b>UE-LMR</b>	

### Muestra homogeneizada

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0390 * 0.9330)] + [carbofuran](174.9000 * 1.0000)]</small>	A	175	*	mg/L	#

Otros no detectables (< LC)

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager

**Certificado de análisis**  
**15/000713**

Paola Fajardo Gutierrez  
 Paola Fajardo Gutierrez  
 Cll 168 # 14b - 45  
 Bogotá  
 Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado - Finca de Villa Pinzon - 0-20-2

**Información general:**

Productor:  
 Origen:  
 Destino:  
 Número:  
 Orden de compra:  
 Marca:  
 Tratamiento:  
 Brix/Factor de  
 concentración:  
 Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
 Muestreo por:  
 Lugar de muestreo:  
 Sellado: **sin sello**  
 Estado de la muestra: **en buen estado**  
 Peso (g): **600**  
 Unidad(es): **1**  
 Empaquetado:  
 Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
 Informe 1° día: **22/05/2015**  
 Período de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
 Control:  
 Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited						Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U	
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0240 * 0.9330)] + [carbofuran(125.6000 * 1.0000)]</small>	A	126	*	mg/L	#	
Otros no detectables (< LC)						

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000718**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

Tipo de muestra: **agua - otros tipos**  
Referencia: **Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0-20-3**

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
Informe 1° día: **22/05/2015**  
Periodo de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
Control:  
Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, bentfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb [carbofuran (3-OH)(0.0390 * 0.9330)] + [carbofuran(174.9000 * 1.0000)]	A	173	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botía Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000719**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0-20-4

Información general:	Información de la muestra:
Productor:	Fecha de muestreo:
Origen:	Muestreo por:
Destino:	Lugar de muestreo:
Número:	Sellado:
Orden de compra:	Estado de la muestra:
Marca:	Peso (g):
Tratamiento:	Unidad(es):
Brix/Factor de concentración:	Empaquetado:
Información destino:	Transportado por:
	<b>sin sello en buen estado</b>
	<b>600</b>
	<b>1</b>
	<b>Correo</b>
Reporte:	
Fecha de recepción:	<b>14/05/2015</b>
Informe 1° día:	<b>22/05/2015</b>
Periodo de análisis:	<b>14/05/2015 - 22/05/2015</b>
Control:	
Tolerancia:	<b>UE-LMR</b>

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0390 * 0.5330) + [carbofuran](174.9000 * 1.0000)</small>	A	Trazas menores al limite de comunicación (LC)	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil  
Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000714**

Paola Fajardo Gutierrez  
 Paola Fajardo Gutierrez  
 Cll 168 # 14b - 45  
 Bogotá  
 Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado - Finca de Villa Pinzon - 0-40-1

**Información general:**

Productor:  
 Origen:  
 Destino:  
 Número:  
 Orden de compra:  
 Marca:  
 Tratamiento:  
 Brix/Factor de concentración:  
 Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
 Muestreo por:  
 Lugar de muestreo:  
 Sellado: **sin sello**  
 Estado de la muestra: **en buen estado**  
 Peso (g): **600**  
 Unidad(es): **1**  
 Empaquetado:  
 Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
 Informe 1° día: **22/05/2015**  
 Período de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
 Control:  
 Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U

carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0240 * 0.9330)] + [carbofuran(121.0900 * 1.0000)]</small>	A	121	*	mg/L	#
--	---	-----	---	------	---

Otros no detectables (< LC)

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000715**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

Tipo de muestra: **agua - otros tipos**  
Referencia: **Lixiviado - Finca de Villa Pinzon - 0-40-2**

Información general:	Información de la muestra:
Productor:	Fecha de muestreo:
Origen:	Muestreo por:
Destino:	Lugar de muestreo:
Número:	Sellado: <b>sin sello</b>
Orden de compra:	Estado de la muestra: <b>en buen estado</b>
Marca:	Peso (g): <b>600</b>
Tratamiento:	Unidad(es): <b>1</b>
Brix/Factor de concentración:	Empaquetado:
Información destino:	Transportado por: <b>Correo</b>
Reporte:	
Fecha de recepción: <b>14/05/2015</b>	
Informe 1° día: <b>22/05/2015</b>	
Período de análisis: <b>14/05/2015 - 22/05/2015</b>	
Control:	
Tolerancia: <b>UE-LMR</b>	

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0250 * 0.9330) + [carbofuran](136.9000 * 1.0000)]</small>	A	137	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000720**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0-40-3

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
Informe 1° día: **22/05/2015**  
Periodo de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
Control:  
Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0390 * 0.9330) + [carbofuran](174.9000 * 1.0000)]</small>	A	129	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil  
Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000721**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0-40-4

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Reporte:**

Fecha de recepción: 14/05/2015  
Informe 1° día: 22/05/2015  
Periodo de análisis: 14/05/2015 - 22/05/2015  
Control:  
Tolerancia: UE-LMR

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0390 * 0.5330) + [carbofuran](174.9000 * 1.0000)</small>	A	Trazas menores al límite de comunicación (LC)	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil  
Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000716**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

Tipo de muestra: **agua - otros tipos**  
Referencia: **Lixiviado - Finca de Villa Pinzon - 0 - 60-1**

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
Informe 1° día: **22/05/2015**  
Periodo de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
Control:  
Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited

Analizado

Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0250 * 0.9330) + [carbofuran](116.8000 * 1.0000)</small>	A	117	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000717**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado - Finca de Villa Pinzon - 0-60-2

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
Informe 1° día: **22/05/2015**  
Periodo de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
Control:  
Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb [carbofuran (3-OH)](0.000 * 0.9330) + [carbofuran](5.3100 * 1.0000)]	A	113	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil  
Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000722**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cl 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0 - 60-3

**Información general:**

Productor:  
Origen:  
Destino:  
Número:  
Orden de compra:  
Marca:  
Tratamiento:  
Brix/Factor de concentración:  
Información destino:

**Información de la muestra:**

Fecha de muestreo:  
Muestreo por:  
Lugar de muestreo:  
Sellado: **sin sello**  
Estado de la muestra: **en buen estado**  
Peso (g): **600**  
Unidad(es): **1**  
Empaquetado:  
Transportado por: **Correo**

**Reporte:**

Fecha de recepción: **14/05/2015**  
Informe 1° día: **22/05/2015**  
Periodo de análisis: **14/05/2015 - 22/05/2015**  
Control:  
Tolerancia: **UE-LMR**

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited						Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U	

carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbofuran, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb	A	115	*	mg/L	#
---	---	-----	---	------	---

[carbofuran (3-OH)](0.0390 \* 0.9330) + [carbofuran](174.9000 \* 1.0000)

Otros no detectables (< LC)

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



**Certificado de análisis**  
**15/000723**

Paola Fajardo Gutierrez  
Paola Fajardo Gutierrez  
Cll 168 # 14b - 45  
Bogotá  
Colombia

**Tipo de muestra:** agua - otros tipos  
**Referencia:** Lixiviado . - Finca de Villa Pinzon - 0 - 60-4

Información general:	Información de la muestra:
<b>Productor:</b> <b>Origen:</b> <b>Destino:</b> <b>Número:</b> <b>Orden de compra:</b> <b>Marca:</b> <b>Tratamiento:</b> <b>Brix/Factor de concentración:</b> <b>Información destino:</b>	<b>Fecha de muestreo:</b> <b>Muestreo por:</b> <b>Lugar de muestreo:</b> <b>Sellado:</b> sin sello <b>Estado de la muestra:</b> en buen estado <b>Peso (g):</b> 600 <b>Unidad(es):</b> 1 <b>Empaquetado:</b> <b>Transportado por:</b> Correo
Reporte:	
<b>Fecha de recepción:</b> 14/05/2015 <b>Informe 1° día:</b> 22/05/2015 <b>Periodo de análisis:</b> 14/05/2015 - 22/05/2015 <b>Control:</b> <b>Tolerancia:</b> UE-LMR	

**Muestra homogeneizada**

LMS - LC-MSMS - Fytolab accredited					Analizado <input checked="" type="checkbox"/>
Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
carbofuran (sum of carbofuran (including any carbofuran generated from carbosulfan, benfuracarb or furathiocarb) and 3-OH carbofuran expressed as carb <small>[carbofuran (3-OH)](0.0390 * 0.9330) + [carbofuran](174.9000 * 1.0000)</small>	A	Trazas menores al limite de comunicación (LC)	*	mg/L	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager



## 8. Bibliografía

- [1] Ministerio de Minas y Energía, «Glosario Técnico Minero,» Agosto 2003. [En línea]. Available: [www.anm.gov.co/sites/default/files/.../glosariominero.pdf](http://www.anm.gov.co/sites/default/files/.../glosariominero.pdf). [Último acceso: 10 Mayo 2015].
- [2] Instituto Colombiano de Geología y Minería, «aguas subterráneas (Aguas subsuperficiales),» de *Las aguas subterráneas: un enfoque práctico*, Bogotá, 2011.
- [3] Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina (RAP-AL), «Ficha Técnica Carbofuran,» 10 Febrero 2009. [En línea]. Available: [www.rap-al.org](http://www.rap-al.org). [Último acceso: 10 Mayo 2015].
- [4] A. Sharma, D. C. Weindorf, D. Wang y S. Chakraborty, «characterizing soils via portable X-ray fluorescence spectrometer: 4 cation exchange capacity (CEC),» *Geoderma*, nº 239, pp. 130-134, 2015.
- [5] L. Rodríguez Lado y A. Martínez Cortizas, «Modelling and mapping organic carbon content of topsoils in an Atlantic area of southwest Europe (Galicia-España),» *Geoderma*, nº 246, pp. 65-73, 2015.
- [6] Universidad de Valencia, «Introducción a la Cromatografía,» 13 Septiembre 2011. [En línea]. Available: [ocw.uv.es/ocw-formacio-permanent/2011-1-35\\_Manual.pdf](http://ocw.uv.es/ocw-formacio-permanent/2011-1-35_Manual.pdf). [Último acceso: Mayo 2015].
- [7] M. Neves, B. B. Castro, T. Vidal, R. Vieira, J. C. Marques, J. P. Coutinho, F. Goncalves y A. M. Goncalves, «Biochemical and population responses of an aquatic bioindicator species, *Daphnia longispina*, to a commercial formulation of a herbicide and its active ingredient,» *Ecological Indicators*, nº 53, pp. 220-230, 2015.
- [8] Environmental Protection Agency, «Insecticides,» febrero 2010. [En línea]. Available: [http://www.epa.gov/caddis/ssr\\_ins\\_int.html](http://www.epa.gov/caddis/ssr_ins_int.html). [Último acceso: Mayo 2015].
- [9] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), «OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Leaching in soil columns,» 13 Abril 2004. [En línea]. Available: [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-312-leaching-in-soil-columns\\_9789264070561-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-312-leaching-in-soil-columns_9789264070561-en). [Último acceso: Mayo 2015].
- [10] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Propiedades químicas del suelo,» FAO, febrero 2012. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/soils->

portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/.  
[Último acceso: Mayo 2015].

- [11] Instituto geológico y Minero de España, «Movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas,» 01 Abril 2002. [En línea]. Available: [aguas.igme.es/igme/publica/libro28/pdf/lib28/4\\_mov.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro28/pdf/lib28/4_mov.pdf). [Último acceso: Mayo 2015].
- [12] O. Vargas, V. Jaimes, L. Castellanos y J. Mora, «Proyecto Paramo Andino, propuesta de actividades de investigación para los páramos de Colombia,» Octubre 2004. [En línea]. Available: [www.researchgate.net/.../0a85e53931251561be000000.pdf](http://www.researchgate.net/.../0a85e53931251561be000000.pdf). [Último acceso: Marzo 2015].
- [13] Environmental Protection agency, «What is a Pesticide?,» EPA, 05 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/pesticides/about/>. [Último acceso: Marzo 2015].
- [14] Parque Nacionales Naturales de Colombia, «parques nacionales,» Octubre 2010. [En línea]. Available: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.201214>. [Último acceso: 25 05 2014].
- [15] Corporación autonoma regional de Quindio, «crg.gov,» Mayo 2011. [En línea]. Available: [http://www.crq.gov.co/Documentos/CONCURSO%20NACIONAL%20DE%20PERIODISMO%20AMBIENTAL/Rio\\_Bogota.pdf](http://www.crq.gov.co/Documentos/CONCURSO%20NACIONAL%20DE%20PERIODISMO%20AMBIENTAL/Rio_Bogota.pdf). [Último acceso: 25 05 2014].
- [16] Alcaldia Municipal de Villapinzón, «Esquema de Ordenamiento Territorial Villapinzón Cundinamarca,» 21 Octubre 2004. [En línea]. Available: [http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/V/villapinzon\\_-\\_cundinamarca\\_-\\_eot\\_-\\_2000/villapinzon\\_-\\_cundinamarca\\_-\\_eot\\_-\\_2000.asp](http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/V/villapinzon_-_cundinamarca_-_eot_-_2000/villapinzon_-_cundinamarca_-_eot_-_2000.asp). [Último acceso: 2014].
- [17] Mnisterio de Agricultura y Desarrollo Rural; DANE, «Censo Experimental Municipio De Villapinzón,» Octubre 2001. [En línea]. Available: [www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo\\_papa\\_villapinzon.pdf](http://dane.gov.co/files/investigaciones/censo_papa_villapinzon.pdf). [Último acceso: 04 Mayo 2014].
- [18] J. W. J. H. P. W. K. L. G. M. a. A. R. Timothy J. Gish, «Pesticide Movement,» 2011. [En línea]. Available: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2342&context=usdaarsfacpub>. [Último acceso: 26 06 2015].
- [19] Alcaldía de Villpainzón, «Villpainzón,» 20 Mayo 2013. [En línea]. Available: [http://www.villapinzon-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.villapinzon-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml). [Último acceso:

Mayo 2014].

- [20] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «Censo Experimental Municipio de Villapinzón,» Octubre 2001. [En línea]. Available: [www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo\\_papa\\_villapinzon.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo_papa_villapinzon.pdf). [Último acceso: 04 Mayo 2015].
- [21] Corporación Autónoma Regional, «CAR ambiental- Páramo de Guacheneque,» Bogotá, 2011.
- [22] CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), «Corporación autónoma regional de cundinamarca,» 2013. [En línea]. Available: [www.car.gov.co](http://www.car.gov.co). [Último acceso: Mayo 2014].
- [23] Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, «NTP 143: Pesticidas: clasificación y riesgos principales,» 01 Octubre 2008. [En línea]. Available: [www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../ntp\\_143.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../ntp_143.pdf). [Último acceso: Mayo 2014].
- [24] Importadores y productores de productos fitosanitarios para la Agricultura, «Manual fitosanitario IMPPA,» IMPPA, 2011. [En línea]. Available: <http://www.imppa.cl/manual/seguridad.html>. [Último acceso: Mayo 2014].
- [25] O. Golge y B. Kabak, «Determination of 115 pesticide residues in oranges by high-performance liquid chromatography–triple–quadrupole mass spectrometry in combination with QuEChERS method,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 41, pp. 86-97, 2015.
- [26] FAO, «Guía sobre buenas practicas para la aplicación terrestre de los plaguicidas,» 31 Julio 2001. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/a-y2767s.pdf>. [Último acceso: Abril 2015].
- [27] EBYSOS, «Estudio de estabilidad de un agroquímico, los insecticidas carbamatos,» México DF, 2012.
- [28] M. E. Rozas, «Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina,» 02 Febrero 2009. [En línea]. Available: [www.rap-al.org/articulos\\_files/Carbofurano\\_Enlace\\_83.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Carbofurano_Enlace_83.pdf). [Último acceso: Mayo 2014].
- [29] Environmental Protection Agency , «Interim Reregistration Eligibility Decision.

Carbofuran,» Estados Unidos, 2006.

- [30] R. d. A. e. P. y. s. A. d. A. L. (RAP-AL), «<http://www.rap-al.org/>,» 10 2008. [En línea]. Available: [http://www.rap-al.org/articulos\\_files/Carbofurano\\_Enlace\\_83.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Carbofurano_Enlace_83.pdf). [Último acceso: 04 06 2015].
- [31] Y. A. Valencia, S. F. Potosí, E. Valencia y I. Bravo, «Validación de una metodología para la determinación de Carbofuran en suelos mediante cromatografía líquida de alta eficiencia con detección ultravioleta,» *Revista Colombiana de Química*, vol. 39, nº 3, 2010.
- [32] U.S Agency for International Development (USAID), «Informe de Evaluación de Plaguicidas y Plan de Acción para su uso más Seguro (PERSUAP),» Colombia, 2007.
- [33] M. Fernández Fernández, M. I. Lopez Infante, N. Serrano Castillo y F. Ortiz Berrocal, Aplicación de plaguicidas nivel cualificado, Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2014.
- [34] Quiminet, «La aplicación de plaguicidas,» Quiminet, 07 Febrero 2006. [En línea]. Available: <http://www.quiminet.com/articulos/la-aplicacion-de-plaguicidas-5722.htm>. [Último acceso: Enero 2015].
- [35] A. E. Castillo, M. J. Subovsky, A. A. Sosa Lopez y G. S. Nunes, «Persistencia de Carbofuran en un molisol con diferentes usos,» *UDO Agrícola*, vol. 1, nº 7, pp. 204-208, 2007.
- [36] D. Hernandez Moreno, M. Pérez López, F. Soler, C. gravato y L. Guilerminho, «Effects of carbofuran on the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): Study of biomarkers and behaviour alterations,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 74, pp. 1905-1012, 2011.
- [37] Dow AgroSciences, «Hoja de manejo seguro carbofuran,» 2002.
- [38] S. Henao y O. Nieto, «Plaguicidas de tipo organofosforados y carbamatos,» 10 Mayo 2006. [En línea]. Available: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/034059/034059-03.pdf>. [Último acceso: Junio 2015].
- [39] passel, «[passel.unl.edu](http://passel.unl.edu/),» [En línea]. Available: <http://passel.unl.edu/Image/Robles%20VazquezWilfredo1129928587/EFATE.pdf>. [Último acceso: 05 06 2015].
- [40] ceibal, «[ceibal.edu.uy](http://ceibal.edu.uy/),» [En línea]. Available: [http://www.ceibal.edu.uy/contenidos/areas\\_conocimiento/cs\\_naturales/230709\\_riesgo\\_](http://www.ceibal.edu.uy/contenidos/areas_conocimiento/cs_naturales/230709_riesgo_)

naranja/escala\_de\_beaufort.html. [Último acceso: 05 06 2015].

- [41] S. R. Gliessman, «Suelo, intemperización química,» de *Agroecología, Procesos ecologicos en agricultura sostenible*, Costa Rica, Litocat, 2002, p. 101.
- [42] S. Campbell, M. D. David, L. A. Woodward y Q. X. Li, «Persistence of carbofuran in marine sand and water,» *Chemosphere*, nº 54, pp. 1155-1161, 2004.
- [43] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «La cadena de papa en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica,» 2005.
- [44] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Guía ambiental para el cultivo de la papa,» Bogotá, 2004.
- [45] O. M. Monroy Cubides, «Caracterización de las prácticas agrícolas asociadas con el uso y manejo de plaguicidas en cultivos de papa,» Bogotá, 2009.
- [46] Fedepapa, «Plagas y enfermedades de la papa,» Febrero 2010. [En línea]. Available: [http://www.fedepapa.com/?page\\_id=1900](http://www.fedepapa.com/?page_id=1900). [Último acceso: Abril 2015].
- [47] Federación Nacional de Arroceros, «Insecticidas Carbofed,» Fedearroz, [En línea]. Available: [http://www.fedearroz.com.co/new/agroquimicos2.php?prod=Carbofed\\_330\\_SC](http://www.fedearroz.com.co/new/agroquimicos2.php?prod=Carbofed_330_SC). [Último acceso: 27 08 2015].
- [48] F. Salamanca, «Crop Life,» [En línea]. Available: <http://www.croplifela.org/es/proteccion-de-cultivos/otras-plagas-del-mes/gusano-blanco-de-la-papa.html>. [Último acceso: 27 08 2015].
- [49] International Potato center, «Manejo del gusano blanco,» Abril 2011. [En línea]. Available: <http://cipotato.org/es/region-quito-2/manejo-de-gusano-blanco-3/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [50] Instituto Colombiano Agropecuario, «manejo fitosanitario del cultivo de papa,» 2011. [En línea]. Available: [<http://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultiva-de-la-papa-nbsp;-.aspx>]. [Último acceso: 07 09 2015].
- [51] Fedepapa, «La papa alimento esencial y saludable,» *revista papa*, nº 26, p. 33, 2012.
- [52] Universitat de València, «Introducción a la cromatografía,» 13 Semptiembre 2011. [En

- línea]. Available: [ocw.uv.es/ocw-formacio-permanent/2011-1-35\\_Manual.pdf](http://ocw.uv.es/ocw-formacio-permanent/2011-1-35_Manual.pdf). [Último acceso: Mayo 2014].
- [53] M. I. Ozores Belmonte y N. Carrera Aguado, «Cromatografía de líquidos HPLC,» laboratorio de técnicas instrumentales, 2012. [En línea]. Available: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/cromatografa-de-liquidos-hplc>. [Último acceso: Mayo 2014].
- [54] E. M. Valencia, J. A. Guerrero, A. Yunda y M. J. Martinez, «Evaluación de la adsorción - desorción de 14C-Carbofuran y Furadan en tres suelos de Cundinamarca (Colombia),» *Revista Colombiana de química*, vol. 37, nº 1, 2008.
- [55] H. M. Gutiérrez, L. E. Barba y H. Materón, «Movilidad de los plaguicidas carbofuran e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept,» *Agronomía Colombiana*, vol. 25, nº 1, pp. 160-167, 2007.
- [56] A. E. Castillo, J. M. Rojas, R. I. Monteros Solito, J. I. Nardelli y G. Guasch, «Metodos para determinar Carbofuran,» *Agrotecnia*, nº 10, 2003.
- [57] A. E. Castillo, M. Delfino, M. J. Subovsky, S. C. Rodriguez, N. Fernandez y J. Rojas, «Movilidad de carbofuran (2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-metilcarbamato) en columnas de suelo,» *Comunicaciones científicas y tecnológicas*, nº A-016, 2003.
- [58] A. E. Castillo, M. J. Subovsky, S. C. Rodriguez y A. A. Sosa Lopez, «Efecto de un suelo con distintos usos en la movilidadde carbofuran,» *Comunicaciones científicas y tecnologicas*, nº A-014, 2006.
- [59] A. Hmimou, A. Maslouhi, K. Tamoh y L. Candela, «Experimental monitoring and numerical study of pesticide (carbofuran) transfer in an agricultural soil at a field site,» *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 346, pp. 255-261, 2014.
- [60] EPA, «Pesticides: reregistration,» 03 Agosto 2006. [En línea]. Available: [http://www.epa.gov/pesticides/reregistration/carbofuran/carbofuran\\_noic.htm](http://www.epa.gov/pesticides/reregistration/carbofuran/carbofuran_noic.htm). [Último acceso: Mayo 2014].
- [61] M. E. Rozas, «Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina,» 02 Febrero 2009. [En línea]. Available: [www.rap-al.org/articulos\\_files/Carbofurano\\_Enlace\\_83.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Carbofurano_Enlace_83.pdf). [Último acceso: Mayo 2014].
- [62] Alcaldía de Villapinzón, «Nuestro municipio-Mapas,» 08 Abril 2013. [En línea]. Available: [www.villapinzon-cundinamarca.gov.co/mapas\\_municipio.shtml](http://www.villapinzon-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml). [Último acceso: Mayo

2015].

- [63] IGAC, «Mapa de suelos de Colombia,» 2015. [En línea]. Available: [http://geoportal.igac.gov.co:8888/siga\\_sig/Agrologia.seam](http://geoportal.igac.gov.co:8888/siga_sig/Agrologia.seam). [Último acceso: 09 2015].
- [64] IGAC, subdirección de agrología, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca, Bogotá, 2000.
- [65] R. Campos Segura y R. Gonzalez Forero, «Movilidad en suelos de residuos de plaguicidas,» *Epsilon*, nº 16, pp. 159-173, 2011.
- [66] IGAC, «Métodos analíticos empleados por el laboratorio nacional de suelos,» IGAC, Bogotá, 2011.
- [67] M. Mastrocicco, N. Colombari, A. Cavazzini y L. Pasti, «A green and fast chromatographic method for determining organic compound mobility in soils,» *Journal of Chromatography A*, p. 6802–6809, 2009.
- [68] Federación Nacional de Arroceros, «Hoja de Seguridad Carbofed 330 S.C,» Bogotá, 2008.
- [69] Fytolab SAS, «Métodos para el análisis de plaguicidas,» 2013. [En línea]. Available: [http://www.fytolab.com/en/analysis\\_overview\\_pesticides](http://www.fytolab.com/en/analysis_overview_pesticides). [Último acceso: Abril 2015].
- [70] J. A. Lopez, C. Martinez, L. Moreno y P. Navarrete, Las aguas subterráneas y los plaguicidas, España, 1992.
- [71] X. Domenech, Química del suelo, el impacto de los contaminantes, Madrid: Miraguano, 2000.
- [72] Fedearroz, «Informe de resultados Carbofed,» Bogotá, 2015.
- [73] F. L. Abrego, «UNNOBA,» [En línea]. Available: [http://64.76.123.202/site/agricultura/proinsa/06-Ronda%202012/\\_archivos/000300\\_Lic.%20Fabio%20L.%20Abrego%20-%20UNNOBA/000300\\_Determinaci%C3%B3n%20de%20CIC.pdf](http://64.76.123.202/site/agricultura/proinsa/06-Ronda%202012/_archivos/000300_Lic.%20Fabio%20L.%20Abrego%20-%20UNNOBA/000300_Determinaci%C3%B3n%20de%20CIC.pdf). [Último acceso: 09 06 2015].
- [74] R. K. Krishna y L. Philip, «adsorption and desorption characteristics of lindane, carbofuran and methyl parathion on various Indian soils,» *Journal of hazardous materials*, nº 160, pp. 559-567, 2008.

- [75] S. Navarro Blaya y G. Navarro García, *Química agrícola*, Madrid: Ediciones mundi prensa, 2003.
- [76] T. L. Hsieh y M. M. Kao, «Adsorption of carbofuran on lateritic soils,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 58, pp. 275-284, 1998.
- [77] EPA, «Technical Factsheet on: Carbofuran,» 04 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/ogwdw/pdfs/factsheets/soc/tech/carbofur.pdf>. [Último acceso: Mayo 2015].
- [78] EPA, «Basic Information about Carbofuran in Drinking Water,» mayo 2009. [En línea]. Available: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>. [Último acceso: 26 06 2015].
- [79] M. Ferrán aranaz, *SPSS para windows, análisis estadístico*, Madrid, 2003.
- [80] C. Perez, *Técnicas de análisis de datos con SPSS*, Madrid: Pearson, 2009.
- [81] G. H. N. Farahani, I. B. Sahid, Z. Zakaria, A. Kuntom y O. Dzolkifli, «Study on the Downward Movement of Carbofuran in Two Malaysian soils,» *Bull Environ Contam Toxicol*, nº 81, pp. 294-298, 2008.
- [82] Department of Pesticide Regulation, «Environmental fate of carbofuran,» 20 Febrero 2003. [En línea]. Available: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/carbofuran.pdf>. [Último acceso: Junio 2015].
- [83] Corporación autonoma regional de Colombia, «REPORTE DIARIO DE PRECIPITACIONES Y NIVELES JUNIO 2015,» 06 2015. [En línea]. Available: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=57921&pag=1>. [Último acceso: 21 09 2015].
- [84] K. R. Krishna y L. Philip, «Adsorption and desorption characteristics of lindane, carbofuran and methyl parathion on various Indian soils,» *Journal of Hazardous materials*, vol. 160, nº 2, pp. 559-567, 2008.
- [85] L. McDonald, S. J. Jebellieb, C. A. Madramootoob y G. T. Doddsb, «Pesticide mobility on a hillside soil in St. Lucia,» *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 72, pp. 181-188, 1999.

- [86] E. De Geronimo, V. C. Aparicio, S. Barbaro, R. Portocarrerro, S. Jaime y J. L. Costa, «Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina,» *Chemosphere*, nº 107, p. 423–431, 2014.
- [87] S. Chelinho, K. D. Sautter C, A. Cachada, I. Abrantes, G. Brown, A. Costa Duarte y J. P. Sousa, «Carbofuran effects in soil nematode communities: Using trait and taxonomic based approaches,» *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 73, pp. 2002-2012, 2011.
- [88] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, «Informe y resultados de análisis químico del suelo,» Bogotá, 2015.