Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

1-1-2016

Evaluación del riesgo ambiental asociado a la toxicidad del carbofurano en una finca productora de lechuga del municipio de Madrid, Cundinamarca

Yeraldine Molano Marín
Universidad de La Salle, Bogotá

Paula Daniela García Quiroga
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Molano Marín, Y., & García Quiroga, P. D. (2016). Evaluación del riesgo ambiental asociado a la toxicidad del carbofurano en una finca productora de lechuga del municipio de Madrid, Cundinamarca. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/219

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A LA TOXICIDAD DEL CARBOFURANO EN UNA FINCA PRODUCTORA DE LECHUGA DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA.

Yeraldine Molano Marín

Paula Daniela García Quiroga

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

2016

EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A LA TOXICIDAD DEL CARBOFURANO EN UNA FINCA PRODUCTORA DE LECHUGA DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA.

Yeraldine Molano Marín

Paula Daniela García Quiroga

Trabajo de Grado para Optar por el Título de:

Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director (a)

MSc. CAMILO ANDRÉS VARGAS TERRANOVA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

2016

DEDICATORIA

Agradecerle a Dios antes que nada, por llenarme de vida y sabiduría para cumplir con este gran logro y sueño. La convicción y crecimiento personal que adquirí a lo largo de este proceso son lo que más valor tiene para mí en este momento, el amor y entrega hacia mi carrera son fruto de lo que alguna vez fue un sueño, poco a poco fue creciendo y hoy por hoy puedo decir lo HE LOGRADO.

A mis padres Germán y Elizabeth por ser los autores de esta pequeña ingeniera que empieza a forjarse desde ahora, por su amor y entrega en todo momento, por cada palabra, cada abrazo, porque todo lo que soy en este momento se lo debo a ellos, por enseñarme el valor de la palabra y la honestidad, y que no importa cuántas veces un obstáculo te impida continuar hacia tu meta, lo realmente importante es siempre levantar la cabeza y seguir intentando hasta conseguirlo.

A mi hermana Camila, por ser mi motor y permitirme ver siempre el lado amable de la vida, por recibirme siempre con una sonrisa y una palabra de aliento en momentos difíciles. A ti que hasta ahora inicias tu carrera universitaria, nunca te rindas y lucha siempre por tus sueños.

A mi querida y sincera compañera de este gran logro, Paula. Porque pese a los obstáculos que se nos presentaron siempre existieron las palabras: NO NOS RENDIREMOS. Porque más que mi compañera de trabajo, en este largo camino te convertiste en una persona muy importante en mi vida, gracias a ti por la convicción y la entrega en este que fue nuestro último peldaño hacia el ÉXITO, que sé, será el inicio de muchos más que nos esperan en el futuro. A ti Paula, simplemente GRACIAS.

YERALDINE MOLANO MARIN

"Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow.
The important thing is not to stop questioning"
– Albert Einsten-

DEDICATORIA

Dedico esta tesis al amor, al apoyo y a la compañía de todas las personas que creyeron en mí, y me acompañaron en este proceso, donde lo importante, además de su culminación, ha sido la transformación que las enseñanzas alcanzadas durante todo el camino recorrido a través de mi carrera, han causado a mi vida.

Dios fue mi coequipero, quien desde el cielo iluminó cada paso de mi camino, a mis padres que siempre me acompañaron en cada momento, en especial a mi mami por brindarme siempre su amor incondicional, reflejado en cada detalle de entrega y compañía; a mis abuelitos, mis estrellas en el firmamento, quienes desde el cielo comparten cada triunfo y me acompañan en cada paso que doy.

Finalmente quiero agradecer a mi compañera Yeraldine, que más que mi compañera de tesis ha sido una amiga y gran apoyo en el trascurso de mi formación y crecimiento personal y profesional, este paso no hubiera sido posible sin su persistencia, amor y empeño a este proyecto.

Paula Daniela García Quiroga.

AGRADECIMIENTOS

A la UMATA del municipio de Madrid, Cundinamarca; especialmente al señor Jaime Becerra quien nos apoyó y guió durante el desarrollo del proyecto. Agradecemos su colaboración y buena disposición durante el tiempo que fue necesario.

Al señor Mario Huertas, propietario de la finca seleccionada para realizar el proyecto, por su buena disposición e interés por el tema ambiental y sanitario, y brindarnos su ayuda en cada una de las fases experimentales del proyecto. Por enseñarnos de alguna u otra manera, la importancia de la sociedad en el sector agrícola del municipio.

Al Ingeniero Camilo Vargas, porque más que nuestro director fue nuestro compañero a lo largo del desarrollo de este proyecto. Por brindarnos su apoyo y confianza incondicional, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, porque nos enseñó que no importa que tan grande sea un proyecto, lo que realmente importa es el amor y entrega que implique su realización; por el crecimiento personal y profesional que hoy nos deja para emprender este nuevo camino, del que estamos seguras, siempre será guiado primeramente por la felicidad, la convicción y el amor a nuestra carrera.

Al Ingeniero Johan Álvarez, por ser nuestro guía y tutor a lo largo de la realización de este proyecto, por brindarnos los conocimientos necesarios para realizar de manera adecuada cada una de las actividades puesta en marcha, por compartirnos sus experiencias profesionales que nos permitieron ver la importancia de la sociedad y su salud en la Ingeniería Ambiental.

A nuestros compañeros Oscar y Sol, quienes fueron nuestros compañeros y autores del proyecto que dio vida a esta tesis. Por su apoyo durante la realización de nuestro proyecto y brindarnos parte de su conocimiento para llevar a cabo cada una de las actividades que se requerían. Gracias y éxitos en su vida.

RESUMEN

El uso inadecuado de plaguicidas se ha convertido en un problema tanto para la población de agricultores como para el ambiente, dada su alta toxicidad y la exposición frecuente a la que se ve sometida una población. Lo anterior promueve la degradación del suelo destinado a las plantaciones, y la llegada de compuestos tóxicos a las raíces de los vegetales, contaminando así, los alimentos y aumentando el riesgo de toxicidad de la población directa e indirectamente implicada en la horticultura. Por esta razón, se plantea una evaluación de los riesgos toxicológicos asociada al carbofuran, que permita cuantificar el nivel de peligro al que se encuentra expuesto la población de la Finca San Rafael, con base en un escenario de exposición determinado por un cultivo de lechuga donde se aplica Furadan 3SC como plaguicida.

Al no encontrarse residuos de carbofuran en las lechugas, se procede a realizar la evaluación de riesgos correspondiente, teniendo en cuenta la presencia de tres sustancias químicas encontradas en la lechuga, difenoconazol, metamidofos y propiconazol. Las concentraciones encontradas, se compararon con los LMR (Límites Máximos de Residuos) para establecer que tanto el metamidofos como el propiconazol superan los límites establecidos. Adicionalmente, se clasificaron las sustancias de acuerdo al nivel de peligrosidad que representan para el ser humano según la OMS, obteniendo un nivel poco peligroso, muy peligroso y moderadamente peligroso para difenoconazol, metamidofos y propiconazol respectivamente.

Las sustancias estudiadas, son aplicadas directamente en los cultivos y en el suelo, donde son transportadas hacia los demás compartimentos ambientales (aire y agua) y las lechugas, las cuales son consideradas la principal ruta de exposición a los plaguicidas. Una vez llega la lechuga a la población, se evaluaron las vías de exposición que presenta la población, teniendo en cuenta la frecuencia y periodos de exposición, obteniendo así, para la población residencial un período de

exposición de 24 h/día durante 5 días a la semana y para la población agrícola un período de 8 h/día durante 5 días de la semana, estableciendo que las personas que pertenecen a este tipo de población son la más susceptibles a verse afectadas por la aplicación y uso de plaguicidas.

Finalmente, se cuantificó el riesgo por toxicidad que presentan las poblaciones estudiadas durante el proyecto. Se obtuvo un nivel de riesgo de 0,16; 0,008 y 0,08 para difenoconazol, metamidofos y propiconazol respectivamente. Lo anterior, permitió concluir que aunque el difenoconazol está clasificado como una sustancia poco peligrosa, es el componente activo que mayor riesgo genera para la comunidad aledaña al cultivo de lechuga, esto debido a que se encuentra en una mayor concentración en las lechugas que el metamidofos y el propiconazol.

Palabras Clave: Carbofurano, Evaluación de Riesgos, Riesgo Ambiental, Toxicidad, Manejo Ambiental.

ABSTRACT

Innapropriate pesticides use has become a problem for both farmer population and the environment, because its high toxicity and frequent exposures at wich the population is subjected. It promotes, the soil degradation in the horticultural crops, and the presence of toxic compounds at the roots, causing food contamination and incresing the risk of toxicity for the population involve in horticultural activities. Therefore, its used a risk of toxicity evaluation associated with carbofuran, to quantify the danger level wich is exposed the population of Finca San Rafael, based on the exposure scenario determinated by a lettuce crop where FURADAN 3SC is applied a s pesticide.

As there was no carbofuran residues in lettuce, it procedes to perform the risk evaluation, taking into account the presence of three chemical wich where found in lettuce, difenoconazole, methamidophos and Propiconazole. The concentrations were compared with MRLs (Maximum Residue Límits), to set, both methamidophos and Propiconazole exceed the established limits. Furthermore, the substances were clasified according to the level of danger for human by WHO, getting a little dangerous, very dangerous and moderately dangerous for difenoconazole, methamidophos and propiconazole levels respectively.

The substances stuided are applied directly on soil crops, where they are transported to other environment compartments (air and water) and lettuces, wich are considered the main exposure route to pesticides. Once the lettuce arrives to the population, exposure pathways presented by the population were evaluated, taking into account the frecuency and exposure periods, thus obtaining, for the residential population exposure period of 24h/day for 5 days per week and for the agricultural community a period of 8h/day for 5 days per week, stating that people who are in this population are the most likely to be affected by the application and use of pesticides.

Finally, the toxicity risk which population present during the Project, was quantified. The results for risk level were 0,16 for fifenoconazole, 0,008 for methamidophos and 0.08 for propiconazole. Although difenoconazole is classified as a lees dangerous substance, is the active compound that increased the risk generated for the community surrounding the lettuce crop, because it is in a higher concentration in lettuce than methamidophos and Propiconazole.

Key words: Carbofuran, Risks Evaluation, Environment Risk, Toxicity, Environment Management.

Contenido

1. Introducción 15
2. Justificación 17
3. Objetivos 19
   3.1. Objetivo General 19
   3.2. Objetivos Específicos 19
4. Glosario 20
5. Metodología 24
6. Diagnóstico Socio-Ambiental 26
   6.1. Localización y entorno 26
   6.2. Línea Base 28
      6.2.1. Diagnóstico Socio-Ambiental. 29
      6.2.2. Diagnóstico Toxicológico 40
   6.3. Otros antecedentes 42
      6.3.1. Proyectos de Grado. Universidad de La Salle. 42
      6.3.2. Proyectos de Grado. Otras universidades. 43
      6.3.3. Otras investigaciones. 47
   6.4. Marco Teórico 50
      6.4.1. Situación actual del cultivo de lechuga 50
      6.4.2. Los plaguicidas y su impacto en el cultivo de lechuga 54
      6.4.3. Uso y aplicación de Furadan en cultivos 58
7. Evaluación Toxicológica 62
   7.2. Análisis de riesgos 62
      7.2.1. Identificación de los peligros 62
      7.2.2. Significancia del riesgo 73
   7.3. Estimación de la exposición 77
      7.3.1. Escenario de exposición 77
      7.3.2. Caracterización del escenario de exposición 78
   7.4. Caracterización del riesgo 95
      7.4.1. Índice de Toxicidad D_dR 95
      7.4.2. Estimación del Riesgo 97
8. Medidas de Manejo Ambiental 99

9. Conclusiones 107
10. Recomendaciones 110
11. Bibliografía 111
12. Anexos 118

Índice de Figuras

Figura 1. Localización del municipio de Madrid, Cundinamarca. 26
Figura 2. Ubicación Finca San Rafael, y cultivo piloto. 27
Figura 3. Distribución puntos de muestreo finca piloto. 30
Figura 4. Distribución de materia orgánica, arena, limoarcilla y poros (macroporos y microporos) en un suelo franco arenoso. 32
Figura 5. Área residencial ubicada en la Finca San Rafael. 36
Figura 6. Industria maderera ubicada en la Finca San Rafael. 36
Figura 7. Planta de reciclaje y venta de plástico ubicada en la Finca San Rafael. 37
Figura 8. Procesadora de carbón vegetal ubicada en la Finca San Rafael. 37
Figura 9. Sector agrícola en la Finca San Rafael. 38
Figura 10. Distribución del cultivo de lechuga en la finca piloto. 63
Figura 11. Extracción de la muestra. 64
Figura 12. Usos del suelo en la Finca San Rafael 77
Figura 13. Escenario de exposición por plaguicidas 77
Figura 14. Modelación de difenoconazol con su respectiva distribución en los medios involucrados. 79
Figura 15. Distribución del difenoconazol en los medios involucrados. 80
Figura 16. Modelación del metamidofos con su respectiva distribución en los medios involucrados. 80
Figura 17. Distribución del metamidofos en los medios involucrados. 81
Figura 18. Modelación del propiconazol con su respectiva distribución en los medios involucrados 82
Figura 19. Distribución del propiconazol en los medios involucrados. 82
Figura 20. Ruta de exposición a los plaguicidas. 85
Figura 21. Localización de la población residencial con respecto al cultivo piloto. 92

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Nivel de estudios que presenta la población en la Finca San Rafael. 86

Gráfica 2. Actividades de empleo que desarrolla la población de la Finca San Rafael. 86

Gráfica 3. Edades de la población en la Finca San Rafael 87

Gráfica 4. Conocimiento de riesgos por uso y contacto de plaguicidas por parte de la población en la Finca San Rafael. 88

Gráfica 5. Uso de elementos de protección personal de la población dedicada a las actividades hortícolas en la Finca San Rafael. 88

Gráfica 6. Plaguicidas conocidos por parte de los agricultores en la Finca San Rafael. 89

Gráfica 7. Tipo de aplicación de plaguicidas 89

Gráfica 8. Síntomas más frecuentes de la población dedicada a las actividades hortícolas, durante el tiempo de labor agrícola. 90

Índice de Tablas

Tabla 1. Censo de agroquímicos finca piloto..... 29
Tabla 2. Disponibilidad de macronutrientes del suelo piloto. 32
Tabla 3. Relaciones de macronutrientes disponibles en el suelo. 32
Tabla 4. Resultados obtenidos para la calidad del suelo correspondiente a la Finca 1 (Finca Piloto) con cultivo de lechuga..... 41
Tabla 5. Clasificación taxonómica de la lechuga..... 51
Tabla 6. Características agroclimáticas del cultivo de lechuga. 52
Tabla 7. Clasificación Toxicológica y Nivel de Peligro de los plaguicidas. 56
Tabla 8. Identificación química del carbofuran. 58
Tabla 9. Resultados del análisis de lechugas en la finca piloto. 64
Tabla 10. Propiedades fisicoquímicas del carbofuran. 65
Tabla 11. Propiedades fisicoquímicas del difenoconazol. 67
Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas del metamidofos. 70
Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas del propiconazol. 72
Tabla 14. Límite Máximo de Residuos en lechuga..... 73
Tabla 15. Clasificación toxicológica y nivel de riesgo para el difenoconazol según la OMS..... 74
Tabla 16. Rutas y vías probables de exposición para distintos tipos de población potencialmente expuesta..... 93
Tabla 17. Rutas y vías de exposición para los distintos tipos de población potencialmente expuesta a la aplicación de plaguicidas en la Finca San Rafael. 94
Tabla 18. Frecuencia y períodos de exposición de la población en la Finca San Rafael..... 95
Tabla 19. Dosis de Referencia, DdR para las sustancias en estudio. 96
Tabla 20. Nivel de riesgo asociado a la toxicidad por difenoconazol, metamidofos y propiconazol..... 98

1. Introducción

A medida que la población mundial crece, el uso de plaguicidas se implementa con más auge bajo el concepto de considerarse como complemento necesario en las actividades agrícolas y para mantener la capacidad de producción del suelo (Sánchez & Sánchez, 1984). Con el fin de obtener la cantidad adecuada de alimentos de alta calidad, se hace casi que indispensable el uso de plaguicidas que permitan mantener los cultivos protegidos de cualquier tipo de enfermedad o plaga, que pueda afectar notablemente su crecimiento.

A pesar de que la aplicación y uso de los plaguicidas se hace teniendo en cuenta las normas de inocuidad establecidas, y acatando los límites máximos permisibles de residuos de plaguicidas; en muchas ocasiones dichos límites son superados debido a la naturaleza de los productos aplicados, su interacción con el ambiente y en ocasiones por el desconocimiento de la comunidad en cuanto a la dosis y frecuencias de aplicación según el cultivo a tratar. Lo anterior, implica que la manipulación y aplicación de estas sustancias químicas pueda generar un riesgo ambiental tanto para la salud humana como para el ambiente y los recursos directamente implicados en la producción hortícola (Peña, Carter, & Ayala, 2001)

En el municipio de Madrid, gran parte de los cultivos hortícolas hacen referencia a productores de pequeña escala, los cuales usan plaguicidas con composiciones químicas clasificadas como peligrosas para el ser humano, debido a su bajo costo y fácil accesibilidad. Lo anterior, implica una serie de fenómenos referidos a la introducción y transporte de contaminantes a través de los principales compartimentos del ambiente (aire, agua y suelo), que pueden generar puntos de contacto con el ser humano, traduciendo el uso de plaguicidas en un riesgo para la salud humana. Las propiedades fisicoquímicas tanto del ambiente, como de la sustancia introducida son de gran importancia, a la hora de evaluar el riesgo de exposición por plaguicidas.

Para establecer el riesgo ambiental por uso de plaguicidas, se han implementado una serie de procesos que han permitido cuantificar dicho riesgo y establecer usos restringidos y prohibidos para algunos plaguicidas. Lo anterior se ha logrado a través de evaluaciones de riesgos toxicológicos efectuados por entes gubernamentales encargados de velar por la salud humana y la conservación del ambiente. La evaluación de riesgos toxicológicos permite determinar el grado de afectación en que se encuentra el recurso suelo por el uso excesivo de los plaguicidas (Peña, Carter, & Ayala, 2001) usados para erradicar plagas y enfermedades en un cultivo, con el fin de establecer alternativas de prevención de la contaminación, ya que es posible establecer dosis de aplicación mínimas que impliquen la presencia del componente activo de los plaguicidas en la menor concentración posible, con el fin de disminuir el impacto al recurso suelo y a la población directamente implicada en el desarrollo de las actividades hortícolas.

Con lo anterior, el objetivo del presente documento está encaminado a la cuantificación el riesgo ambiental asociado a la toxicidad del carbofurano, a través de la evaluación de riesgos que tiene como base la determinación de un índice toxicológico que permita identificar las rutas de exposición y riesgos a los que se encuentran expuestos los agricultores para finalmente proponer medidas de manejo ambiental encaminadas a la prevención de los efectos adversos en la salud y el uso adecuado de los plaguicidas, con el fin de minimizar los riesgos de exposición y toxicidad.

2. Justificación

Las comunidades rurales dedicadas a la producción de hortalizas en el municipio de Madrid, consideran el uso de agroquímicos como esencial para mantener y cumplir con las exigencias fitosanitarias y de inocuidad de los alimentos; lo cual es verídico siempre y cuando su aplicación se realice bajo condiciones adecuadas que no afecten los recursos naturales de los que dependen las actividades hortícolas. Sin embargo, la composición de los agroquímicos y su uso en la horticultura favorecen la contaminación y toxicidad del suelo ya que estos poseen una serie de compuestos que alteran las condiciones naturales de este, afectando el crecimiento y producción de los productos hortícolas. Teniendo en cuenta que en Madrid gran parte de la población se dedica a las actividades hortícolas es usual encontrar productores que desconocen el efecto que tiene el uso inadecuado de los agroquímicos en los cultivos, tanto para la salud humana como para el ambiente. Es por esta razón que se desea realizar una evaluación de riesgos ambientales, que permita cuantificar, a través de indicadores de riesgo, la afectación y vulnerabilidad de la comunidad aledaña al sector dedicado al cultivo de lechuga en una finca piloto, en el municipio de Madrid. Para ello, se determinará la concentración de carbofurano presente en las hortalizas del cultivo en estudio mediante análisis experimentales en un laboratorio certificado por el ICA, con el fin de identificar las posibles rutas de exposición, puntos de contacto y nivel de riesgo que implica la aplicación de dicho plaguicida. Adicional a esto, se pretende comparar los niveles de concentración del carbofuran en la lechuga con los niveles mínimos permisibles que estipula la OMS. Finalmente, y con el fin de prevenir la afectación a la población se propondrán medidas de manejo ambiental encaminadas al uso adecuado de los plaguicidas con dosificaciones específicas que resulten en el mínimo riesgo tanto para la población como para el ambiente. Es de aclarar, que el presente estudio, tiene como objetivo establecer el nivel de riesgo tanto de la sociedad como del

ambiente por el uso de Furadan como agroquímico capaz de erradicar las plagas que se presentan en el cultivo de lechuga.

3. Objetivos

3.1.Objetivo General

Evaluar el índice de riesgo ambiental asociado a la toxicidad del carbofurano en una finca productora de lechuga en Madrid, Cundinamarca.

3.2.Objetivos Específicos

- Determinar concentraciones de carbofurano en lechugas, para la estimación del índice de riesgo ambiental.
- Establecer la vulnerabilidad del cultivo piloto, respecto a los niveles recomendados por la OMS.
- Proponer medidas de manejo ambiental para la prevención de efectos adversos en la salud de la población del área de influencia.

4. Glosario

Agroquímicos: Los agroquímicos son productos complejos de síntesis química utilizados en el sector agropecuario, que se clasifican de acuerdo a su uso de dos grandes tipos: plaguicidas utilizados, para combatir insectos plaga (insecticidas), enfermedades producidas por hongos (fungicidas) y bacterias (bactericidas) y sustancias dirigidas a controlar las mal denominadas malezas (herbicidas). El segundo tipo de sustancias utilizadas son los fertilizantes solubles de síntesis química dirigidos a proporcionar macro y micro-elementos para la nutrición vegetal. La mayor parte de estos productos se venden en el mercado se refieren a fórmulas compuestas de nitrógeno, fósforo y potasio, conocidos como productos NPK (M & Toro S, 2010)

Carbofurano: Es un plaguicida sistémico utilizado principalmente como insecticida, acaricida y nematicida de amplio espectro, que pertenece al grupo químico de los carbamatos (N-metil) (RAP-AL, 2009).

Difenoconazol: En un fungicida de amplio espectro, utilizado para el control de plagas y enfermedades en diferentes cultivos de frutas, vegetales y cereales. Actúa por inhibición y desmetilación durante la síntesis de ergosterol (Hamilton, 2004).

D_dR: En el nivel de exposición diaria que no produce un riesgo apreciable de daño en poblaciones humanas, incluyendo las subpoblaciones especiales (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

DL_{50}: Es la dosis a la cual el 50% de la población en estudio muere, al recibir dicha dosis. Generalmente se obtiene de estudios epidemiológicos (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Evaluación de Riesgos para la Salud Humana (ER): Consiste en determinar si es tolerable o no el riesgo que enfrenta una población por estar expuesta a compuestos tóxicos en el ambiente de un

lugar contaminado. La caracterización de los riesgos a los que se encuentra expuesta una población se lleva a cabo en cuatro pasos: Análisis de los datos, Evaluación de la exposición, Evaluación de la toxicidad, y Caracterización de los riegos (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Hortaliza: Se entiende como hortalizas, las plantas herbáceas, anuales, bianuales o perennes que sirven parcial o totalmente para la alimentación. Las hortalizas son el conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento; es así que este grupo se incluyen las verduras, legumbres verdes y guisantes (Aguirre Forero & Piraneque, 2016).

Lechuga: La lechuga (*Lactuca sativa L.*) pertenece a la familia ***Compositae*** y es una planta herbácea propia de las regiones semitempladas que se cultiva con fines alimentarios. La lechuga presenta una gran diversidad genética ya que existen diferentes tipos de especies caracterizadas principalmente por el tipo de hojas que poseen y los hábitos de crecimiento que adquieren dependiendo del lugar donde se cultive (Silva, 2009).

Límite Máximo de Residuo (LMR): Son valores de concentración, que han sido diseñados por la Comisión Europea con el fin de que todos los alimentos destinados al consumo humano, estén sujetos a un límite máximo de residuos de plaguicidas en su composición con el fin de proteger la salud humana y animal (European Commission, 2015)

Metamidofos: Insecticidas sistémico de acción por contacto e ingestión para combatir insectos mascadores y chupadores. Es considerado un compuesto sumamente peligroso, que ocasiona problemas serios a la salud humana (IPCS, 1997).

Muestreo: Estudio de las relaciones existentes entre una población y muestras extraídas de la misma. El muestreo permite estimar cantidades desconocida de la población, llamadas medidas estadísticas, y puede ser útil para determinar si las diferencias observadas entre dos muestras, se

deben a la aleatoriedad de las mismas o si por el contrario son realmente significativas (Murray R. , 1978).

NOAEL: (Non Observed Adverse Effects Level) Es el nivel de exposición experimental que representa un nivel máximo comprobado al cual no se observan efectos tóxicos. El NOAEL es el dato clave que se obtiene a partir de los estudios de Dosis-Respuesta (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Plaguicida: Son compuestos químicos que sirven para combatir los parásitos de los cultivos, del ganado, de los animales domésticos y del hombre y su ambiente. De acuerdo con su actividad biológica, pueden clasificarse en insecticidas, fungicidas, herbicidas y rodenticidas. Según su naturaleza química, pueden clasificarse en inorgánicos y orgánicos; los primeros no plantean una problemática importante desde el punto de vista toxicológico y evolución del suelo. Por el contrario, aquellos plaguicidas de origen orgánico, contienen una serie de elementos que debido a la complejidad de su composición pueden generar cambios irreversibles en el suelo (Sánchez & Sánchez, 1984).

Propiconazol: Es un fungicida utilizado ampliamente en la agricultura, es foliar sistémico con un amplio rango de actividad además de ser fungistático o de inhibición del crecimiento en lugar de fungicida o matanza, a través del tiempo se han realizado estudios que demuestran que este compuesto puede causar efectos de alteración endocrina. Se usa principalmente para la protección de pastos, cultivos de trigo, plátano, cebada, ornamentales, nogal (Econatur, 2003).

Riesgo: El término "riesgo" describe la probabilidad de que una sustancia específica produzca algún tipo de daño en un momento determinado. Para que exista un riesgo es necesario que exista una exposición a una sustancia con una afectación posterior a la salud (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Riesgo Ambiental: Es toda aquella circunstancia o factor que conlleva la posibilidad de un daño para el ambiente. El riesgo está asociado al peligro, que hace referencia a cualquier propiedad, condición o circunstancia en que un elemento, producto, sustancia, instalación o proceso pueda ocasionar un daño directo al ambiente, o indirecto al ser humano como consecuencia de un daño a la cantidad o calidad de los recursos naturales con los que interactúan las personas en su vida cotidiana (Universidad Pedagógica Nacional, 2010).

Ruta de exposición: Se define como el camino que sigue el agente químico en al ambiente desde su introducción hasta que llega a establecer contacto con una población o individuo expuesto (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Toxicidad: Se define como la capacidad que tiene una sustancia química para causar daño a los organismos vivos; lo cual depende de la cantidad suministrada o absorbida, y del tiempo de exposición a la sustancia (UNEP, 2011).

Toxicología ambiental: La toxicología ambiental estudia los daños causados al organismo por la exposición a los tóxicos que se encuentran en el medio ambiente, el objetivo principal es evaluar los impactos que producen en la salud pública la exposición de la población a los tóxicos ambientales presentes en un sitio contaminado (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

Vía de exposición: Mecanismo por medio del cual un tóxico entre al organismo, en términos de toxicología, se entienden como vías de exposición la inhalación, la ingestión y el contacto cutáneo (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

5. Metodología

La metodología de desarrollo del proyecto se dividió en tres fases que determinaron y marcaron el avance en el proceso para determinar el índice de riesgo toxicológico en el cultivo de lechuga, ubicado en un predio de la Finca San Rafael en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

La primera fase del presente proyecto, hace referencia al marco de referencia del proyecto. Como primera instancia, se realizó un diagnóstico socio ambiental según el desarrollo del proyecto *"Diseño e implementación de una red de evaluación de calidad del suelo para tres cultivos hortofrutícolas en el municipio de Madrid, Cundinamarca",* con el fin de establecer y evaluar las afectaciones que está presentando la población de La Finca San Rafael debido a la aplicación de plaguicidas en el cultivo de lechuga. Lo anterior fue posible, mediante el análisis de las características fisicoquímicas que presenta el suelo en la zona de estudio, y la interacción que este posee tanto con el medio físico, como con la población que reside y labora en el lugar. Adicionalmente, se realizó un diagnóstico toxicológico, con el fin de establecer el nivel de riesgo que representa el carbofurano para la población aledaña.

Continuamente se realizaron actividades para establecer la Evaluación de Riesgos Ambientales por Toxicidad. La Evaluación de Riesgos Ambientales, se dividió en tres grandes componentes: Análisis de Riesgos, Estimación de la Exposición y Caracterización del riesgo (Ampliación de la metodología para realizar la Evaluación de Riesgos Ambientales en el **Anexo A**). Durante esta fase, se relacionaron el ambiente, la población y los contaminantes, teniendo en cuenta las principales rutas de exposición, puntos de contacto y vías de exposición de acuerdo al tipo de población, la frecuencia y duración de las exposiciones. Finalmente, se calculó el índice de toxicidad a partir de la correlación de la información obtenida y teniendo en cuenta que, el índice

de toxicidad se entiende como el nivel de riesgo al que se encuentra expuesta una persona o población durante la aplicación de plaguicidas.

Finalmente, la tercera y última fase tuvo como finalidad establecer medidas de manejo ambiental, encaminadas a minimizar el riesgo por toxicidad de la población aledaña, tomando como base el material de seguimiento proporcionado durante el desarrollo del proyecto: *"Diseño e implementación de una red de evaluación de calidad del suelo para tres cultivos hortofrutícolas en el municipio de Madrid, Cundinamarca".* La cartilla proporcionada a la comunidad, fue un manual de seguimiento para determinar las principales características fisicoquímicas del suelo, que son consideradas índices de toxicidad; una vez la población determinó el estado ambiental del suelo destinado a cultivos de lechuga, se establecieron medidas de manejo ambiental que comprenden la salud, uso de recursos y gestión de residuos, con el fin de minimizar los puntos de contacto y vías de exposición a los que se encuentra expuesta la población de la Finca San Rafael.

6. Diagnóstico Socio-Ambiental

6.1.Localización y entorno

El municipio de Madrid, se encuentra ubicado sobre la Cordillera Oriental en el Altiplano Cundiboyacense. El casco urbano de la región se encuentra a una altura de 2554 m.s.n.m. y a una distancia de 29 Km del distrito capital (Madrid Cundinamarca , 2008-2012). Tiene una superficie de 120.5 Km^2, limita al norte con los municipios de Subachoque, El Rosal y Tenjo; por el este con Tenjo, Funza y Mosquera; por el oeste con Facatativá y Bojacá.

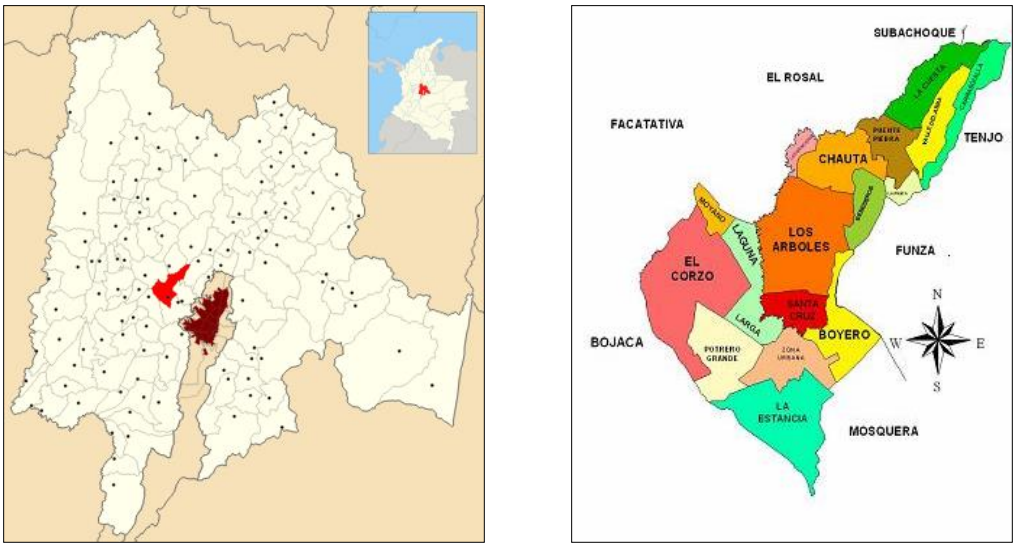


Figura 1. Localización del municipio de Madrid, Cundinamarca.
Fuente: (Madrid Cundinamarca , 2008-2012)

Como se puede observar en la Figura 1, Madrid se divide territorialmente en 16 veredas: Bebederos, El Corzo, Laguna Larga, Potrero Grande, Boyero, La Cuesta, Las Mercedes, Puente de Piedra, Carrasquilla, La Estancia, Los Árboles, Santa Cruz, Chautá, La Punta, Moyano y Valle del Abra (Madrid Cundinamarca , 2008-2012). Las cuales represetan gran parte de la zona rural

de Madrid, en la cual se desarrollan gran parte de las actividades hortícolas del municipio, siendo la lechuga uno de los cultivos más representativos para la economía del sector (Becerra Rodriguez, 2014).

El presente estudio se desarrollaró en un predio dedicado al cultivo de lechuga, ubicado en la Finca San Rafael, en la Vereda La Estancia con coordenadas [4° 42’ 18.54’’ N ; 74°17’36.47’’ E] y a una altura de 2544 m.s.n.m.

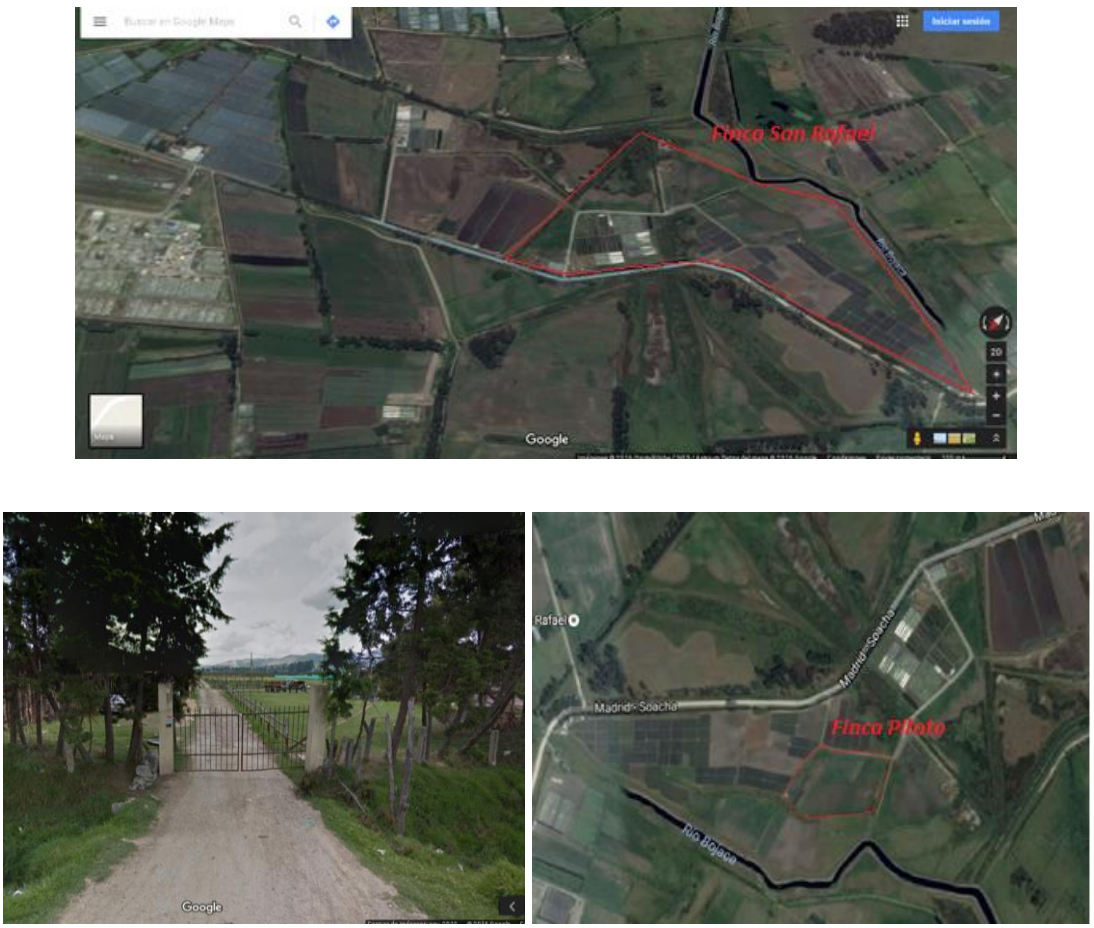


Figura 2. Ubicación Finca San Rafael, y cultivo piloto.

Fuente: (Autoras, 2016) *Google Earth*

Es importante tener en cuenta, como se observa en la Figura 2 que La Finca San Rafael, es un sector de la Vereda La Estancia que comprende una serie de predios dedicados al sector comercial y agrícola del municipio. Allí se destaca principalmente la producción de gran variedad de hortalizas en gran parte de los terrenos de la finca, siendo la lechuga, la arveja y la papa, los productos más cultivados debido a las características propias del terreno y la ubicación geográfica de los predios. Adicionalmente, se pueden encontrar pequeñas industrias consolidadas dentro de la finca, que comprenden una procesadora de madera, una recicladora de plástico, un sector dedicado al procesamiento y producción de carbón vegetal, además de una pequeña área residencial. (Autoras, 2016).

6.2.Línea Base

La línea base del presente proyecto se divide en dos componentes que definen el diagnóstico actual del sector en estudio. Inicialmente, se realizó un diagnóstico socio-ambiental que incluye la caracterización fisicoquímica del recurso suelo, la descripción de la población que se encuentra directa e indirectamente implicada en el desarrollo de las actividades hortícolas, y finalmente, la descripción física del lugar donde se encuentra ubicada la finca piloto del proyecto y su interacción con las propiedades que posee el suelo. El segundo componente de la línea base, es un diagnóstico toxicológico, que pretende explicar la calidad del suelo (propiedades fisicoquímicas del suelo), como principal indicador de toxicidad por plaguicidas y las posibles afectaciones que implica su presencia en el ambiente para la comunidad aledaña. La información anteriormente citada, se obtuvo a través de bases de datos y de una revisión documental del proyecto *"Diseño e*

implementación de una red de evaluación de calidad del suelo para tres cultivos hortofrutícolas en el municipio de Madrid, Cundinamarca", y se resume a continuación:

6.2.1. Diagnóstico Socio-Ambiental.

6.2.1.1.Descripción del suelo.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los productos cultivados en la finca piloto, y el suelo sobre el cual se desarrollan, se hace necesaria la aplicación de gran variedad de plaguicidas que permitan erradicar cada una de las plagas y enfermedades que puede sufrir un cultivo durante sus etapas de crecimiento. Por esta razón, en la tabla 1 se evidencia el censo de agroquímicos realizado, para establecer los productos que implican un riesgo toxicológico para el suelo, debido a su naturaleza y composición:

Tabla 1. Censo de agroquímicos finca piloto.

Agroquímico	Nombre	Ingrediente activo	Grupo químico
Insecticida	Eltra	Carbosulfan	Carbamato
	Engeo	Lambdacihalotrina, Tiametoxam	
	Evisect S	Thiocyclam	
	Fentopen 500	Fentoato	Organofosfatos
	Furadan	Carbofuran	Carbamato
	Fulminator 600	Cipermetrina, Profenofos	Organofosforado
	Lannate	Metamidofos	Organofosforado
	Lorsban	Clorpirifos	Organofosforado
	Monitor 600	Metamidofos	Organofosforado
	Metamidofos 60 Nufarm	Metamidofos	Organofosforado
	Nadir	Metamidofos	Organofosforado
	Orthene	Acefato	Organofosforado
Fungicida	Antracol	Propineb	Carbamato
	Curzate 60	Cymoxanil	Acetamida
	Daconil 720 SC	Clorotalonil	Cloronitrilo
	Difenoconazol	Difenoconazol	Triazol

	Kasumin	Kasugamicina	
	Score 250	Difenoconazol	Triazol
	Tilt 250	Propiconazol	Triazol
	Trivia wp	Fluopicolide, Propineb	Carbamato

Fuente: (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015)

Con el fin de determinar la calidad del suelo destinado a las actividades hortícolas en la finca piloto, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas del mismo, se realizó un muestreo de identificación para determinar de manera directa la existencia de contaminación en el suelo a través de la obtención de una muestra representativa que permitió establecer las posibles afectaciones al recurso por la aplicación excesiva de plaguicidas (Dirección general de Calidad Ambiental, 2014).

Se realizó un muestreo aleatorio simple con un patrón de diagonales múltiples como se puede observar en la Figura 3 los punto de muestreo (Dirección general de Calidad Ambiental, 2014) guardando una equidistancia entre estos y teniendo en cuenta la homogeneidad del terreno, sus condiciones topográficas y abarcando todo el suelo que corresponde al cultivo de lechuga (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015)

Figura 3. Distribución puntos de muestreo finca piloto.

Fuente: (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015)

Finalmente se seleccionaron 13 puntos de muestreo de los cuales se extrajo una parte del suelo manteniendo una profundidad de 60 cm. Seguido a esto se homogenizó el suelo de cada uno de los puntos, para así obtener una muestra representativa del mismo y realizar los análisis fisicoquímicos pertinentes (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015)

La caracterización fisicoquímica del suelo, se realizó en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC, con el fin de establecer las propiedades del suelo que se encuentran afectadas por el uso de plaguicidas en la finca estudio. Los resultados obtenidos, se resumen en el **Anexo B,** y se analizan a continuación:

El suelo proveniente de la finca piloto presenta una textura compuesta por un 55.8% de arenas, 25.4% de limos y 18.8% de arcillas. Lo anterior, permite clasificarlo como un suelo arenoso con clase textural franco arenosa, caracterizado principalmente porque posee una textura moderadamente gruesa (Rucks, García F, Kaplán , Ponce de León , & Hill, 2004).

La textura arenosa que posee el suelo, permite identificarlo como un suelo ligero, debido a su escasa plasticidad y facilidad de trabajo (Gisbert Blanquer, Ibañez Asensio, & Moreno Ramón , 2016). En este suelo se favorece notablemente la aireación debido a que en él predominan partículas de gran tamaño (Granulometría gruesa: 1.0 – 0.5 mm de diámetro) que facilitan la penetración del aire, esto indica la presencia de una mayor cantidad de macroporos y menor cantidad de microporos como se observa en la Figura 4. Una cantidad baja de microporos, se entiende como un suelo con poca habilidad para retener el agua proporcionándole la característica de baja porosidad total (Rucks, García F, Kaplán , Ponce de León , & Hill, 2004). Lo anterior, facilita el lavado de nutrientes hacia el subsuelo, implicando una disminución en la capacidad de intercambio catiónico entendida en un 49.5 cmol/Kg por la presencia de cierta cantidad de cargas

negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (FAO , 2015).

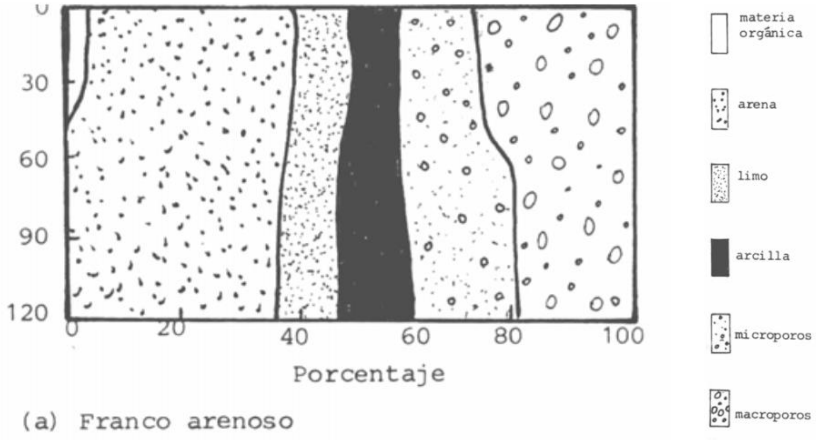


Figura 4. Distribución de materia orgánica, arena, limoarcilla y poros (macroporos y microporos) en un suelo franco arenoso.

Fuente: (Rucks, García F, Kaplán , Ponce de León , & Hill, 2004). Modificado por las autoras.

Teniendo en cuenta la baja capacidad de retención de agua que posee el suelo, la lixiviación de algunos nutrientes primordiales para el crecimiento de las hortalizas, se hace más notable. A continuación, en la Tabla 2 se pueden apreciar las cantidades obtenidas de macronutrientes en el suelo:

Tabla 2. Disponibilidad de macronutrientes del suelo piloto.

Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Na (cmol/Kg)
13.5	0.73	3.5	4.2

Fuente: (Autoras, 2015)

Para hacer un análisis de las deficiencias de macronutrientes en el suelo, es necesario tener en cuenta las relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K, las cuales en la Tabla 3 se resumen:

Tabla 3. Relaciones de macronutrientes disponibles en el suelo.

Relación	Valor	Apreciación*
Ca/Mg	18.49	Mg deficiente
Mg/K	0.21	Mg deficiente
Ca/K	3.85	Gradualmente ideal
(Ca+Mg)/K	4.06	Sin apreciación

*La apreciación es obtenida de las consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos, proporcionados en los resultados obtenidos por el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC.

Fuente: (Autoras, 2015)

La Tabla 2, indica que existe un déficit por Mg en el suelo destinado al cultivo de lechuga. Lo anterior, se debe principalmente a la acidez que presenta el suelo, ya que el magnesio es altamente soluble y menos disponible en suelos con pH bajos (SMART Fertilizer Management, 2016). Adicional a esto, la baja disponibilidad del magnesio también se debe a altos niveles de elementos competitivos como el potasio y el calcio (Ver Tabla 2) (SMART Fertilizer Management, 2016).

El contenido de carbono orgánico encontrado en el suelo destinado al cultivo de lechuga se expresa en una valor de 12%, entendido como un porcentaje alto que implica un contenido de materia orgánica de alrededor del 20%*; un valor alto, si se tiene en cuenta el uso de suelo en el sector en estudio (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016). La materia orgánica en el suelo facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas, la capacidad del suelo para adsorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumentan con el contenido de materia orgánica; de igual manera, los pesticidas con materiales catiónicos son firmemente absorbidos por los coloides del suelo, mientras que los pesticidas ácidos son poco adsorbidos, concentrándose en la solución del suelo y en las fases gaseosas. (Julca Otiniano , Meneses Florián, Blas Sevillano , & Bello Amez , 2006).

El alto contenido de CO en el suelo disminuye la capacidad de retención del agua y afecta notablemente el pH, debido a los diferentes grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Martínez , Fuentes , & Acevedo , 2008). Por lo anterior, el resultado obtenido para el pH es de 5.1 (fuertemente ácido), lo cual puede atribuírsele también al tipo de riego utilizado en la finca ya que el pH del agua utilizada para esta actividad es de 4.5, proporcionándole características ácidas al suelo del cultivo (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015). Debe tenerse en cuenta también, que los diferentes plaguicidas o compuestos orgánicos al ser mezclados con agua de pH bajo le aportan, en la mayoría de los casos, grados de acidez al agua y consecuentemente al suelo donde son aplicados (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015).

La baja capacidad de retención de agua que posee el suelo en estudio, implica una disminución en los nutrientes muy notable. Por lo anterior, se hace necesaria la fertilización del suelo, con el fin de que cumpla con los requerimientos edafológicos pertinentes para la producción de lechuga. En la finca piloto, para proporcionar dichas características adicionales, se hace necesario el uso de fertilizantes a base de compuestos fosforados, hojarasca y gallinaza; los cuales aportan cantidades notables de fósforo al suelo, debido a su composición y la naturaleza de su degradación por acción del ambiente (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015). Lo anterior se traduce en el valor de fósforo disponible obtenido en los resultados de laboratorio, ya que dicha disponibilidad de fósforo se debe principalmente a las cantidades de fósforo que permanecen en el suelo debido a una actividad de aplicación prolongada y consecutiva. En condiciones de acidez, el fósforo disponible en el suelo, tiende a reaccionar con aluminio, hierro y manganeso, los cuales pueden generar condiciones tóxicas en el medio, afectando notablemente el desarrollo de las plantas (Management, Smart Fertilizer Management, 2008). En general, cuando se tiene un suelo ácido

existe un empobrecimiento de Mg, Ca, K, deficiencia por fijación de P y Mo. De igual manera, puede generarse toxicidad por H^+, cuando es evidente el exceso de Al, Fe, Mn; el predominio de hongos y una mala nitrificación (Ávila Vega, 2010).

Teniendo en cuenta que los compuestos de aluminio, hierro y manganeso tienden a disminuir el pH del suelo, se hace referencia a un aumento en las condiciones de acidez del mismo. Por esta razón, es importante e indispensable asegurar un valor de pH entre 6.6 a 7.3, para lo cual se usan técnicas agrícolas que permitan neutralizar los efectos de la acidez en el suelo con el fin de no afectar la calidad del mismo. Lo anterior, es posible mediante la aplicación de cal agrícola, ya que esta técnica permite corregir el pH del suelo, aporta Ca y Mg, mejora la estructura física, química y biológica de los suelos y neutraliza el efecto tóxico y acidificante de algunos elementos minerales como el Fe y Al (CALCO, 2014).

6.2.1.2.Descripción de la población

Actualmente solo se encuentra una casa como se muestra en la Figura 5, la cual fue arrendada y habitada desde hace 20 años y sus habitantes son específicamente cinco personas, dos menores de edad y tres adultos, los cuales se dedican a la vigilancia y control de los predios ubicados en la Finca San Rafael. Además, como fuente de ingresos económicos tienen un predio arrendado destinado específicamente al ordeño, actividad que realizan hace 5 años aproximadamente con el fin de satisfacer sus necesidades básicas. Cabe aclarar, que las personas que residen en la Finca San Rafael, consumen con frecuencia los productos cultivados en la zona debido a los bajos costos y la fácil accesibilidad a los mismos.

Figura 5. Área residencial ubicada en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

La microempresa maderera se observa en la Figura 6, esta se ubica en un predio arrendado hace 5 años. Dentro de las actividades realizadas en esta industria, se destacan el corte, tratamiento y procesamiento de la madera. Cuenta con un personal activo de siete personas, de las cuales cuatro tienen contrato a término fijo y tres tienen contrato a término indefinido. Todas las personas son mayores de edad.

Figura 6. Industria maderera ubicada en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

Uno de los predios, el cual se observa en la Figura 7, es utilizado como una planta de reciclaje y venta de plástico utilizado. La planta ha estado ubicada en dicho lugar por alrededor de 3 años, en un predio arrendado, donde normalmente trabajan tres operarios dedicados a las actividades de clasificación y acondicionamiento del plástico.

Figura 7. Planta de reciclaje y venta de plástico ubicada en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

Uno de los predios en la Finca San Rafael, como se observa en la Figura 8, está destinado al procesamiento de carbón vegetal. La procesadora, se ubica en dicho lugar hace un año, siendo de gran importancia para la industria alimentaria del municipio debido a que provee de carbón a los diferentes asaderos del sector y a empresas dedicadas a la comercialización del producto. Actualmente trabajan tres personas sólo cuando deben alimentarse los hornos con materia prima, pero generalmente solo labora una persona encargada del cuidado y manejo del carbón.

Figura 8. Procesadora de carbón vegetal ubicada en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

Los predios restantes, como por ejemplo los que se pueden observar en la Figura 9, están destinados al sector agrícola del municipio. Actualmente, se encuentran diez fincas, en las cuales trabajan aproximadamente 45 personas y se estima una población flotante de 30 personas en época

de cosecha, ya que se hace necesaria la presencia de personal adicional para realizar las labores de recolección de los diferentes productos agrícolas sembrados en la zona.

Figura 9. Sector agrícola en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

6.2.1.3.Descripción física del lugar

Atendiendo al modelado del relieve o fisiografía, la región está conformada geomorfológicamente por planicies fluvio-lacustres, llanuras aluviales de mal drenaje, terrazas en diferentes niveles y planos de inundación, que representan un gran porcentaje del área y en un menor porcentaje se encuentra relieve quebrado a fuertemente escarpado. Las zonas altas de la cuenca del río Bogotá conocidas como Sabana de Bogotá, no presentan condiciones propicias para desarrollar procesos erosivos, debido a su posición geográfica, clima y presencia de suelos muy estables, con alto contenido de materia orgánica. Contribuye igualmente a su conservación, la cobertura vegetal densa y continua, especialmente de pastos con buen estado de tecnificación y manejo (Garzón N. R., 2006).

Casi la totalidad del territorio municipal es llano con dos excepciones: un montículo de forma alargada en el extremo norte que separa los valles de los ríos Subachoque y Chicú y en el extremo meridional el cerro Casablanca al sur del casco urbano con algunas canteras aparentemente

abandonadas. En la zona montañosa al norte del territorio hay un 5% del área total del municipio ocupada por bosques naturales secundarios y plantados (Garzón N. R., 2006).

Por otro lado, el municipio de Madrid presenta una temperatura media anual de 13°C, alcanzando una máxima media anual de 19.2°C y una mínima de 6.3°C. Las anteriores condiciones climáticas, junto con las condiciones de vientos y luminosidad a lo largo del año, originan el ambiente climático para la producción agrícola (Madrid Cundinamarca , 2008-2012). La precipitación es de 598 mm-año y el régimen de precipitación es bimodal, presentando sus máximos en abril-mayo y octubre-noviembre.

Madrid está en la zona de influencia de los vientos que provienen de los Valles del Magdalena, cálidos y húmedos dando origen a la nubosidad sabanera y municipal, y de los originados en el Páramo de Sumapaz, fríos y secos que determinan bajas temperaturas nocturnas fomentando la aparición de heladas. La acción de este fenómeno, está determinada por los vientos atmosféricos planetarios y directamente por los vientos alisos del sudeste, presentes en época de verano (Diciembre, Enero- Julio, Agosto). La circulación de los vientos locales se origina por la presencia de las montañas que rodea la sabana, este fenómeno local está determinado por las brisas del valle-montaña (Garzón N. R., 2006). La velocidad del viento en promedio es de 10 km/h y siempre sopla en dirección oeste.

El cultivo de lechuga en estudio, se encuentra ubicado en un área de uso agropecuario mecanizado o intensivo donde se comprenden los suelos de alta capacidad agrológica en las cuales se pueden implantar sistemas de riego y drenaje caracterizados por el relieve plano, sin erosión, suelos profundos y sin riesgo de riego; en concordancia con el plano de uso de suelo rural se determinan como usos de suelo los siguientes: (Madrid, Cundinamarca , 2012)

- *Uso principal:* Agropecuario mecanizado o intensivo y forestal.

- *Usos Compatibles:* Infraestructura para distritos de adecuación de tierras, vivienda del propietario y trabajadores, servicios compatibles a la vivienda, usos institucionales y dotaciones, industrial en las áreas específicas delimitadas.
- *Usos Condicionados:* Cultivo bajo invernaderos, agroindustria, granjas avícolas, cunículas y porcinas; infraestructura de servicios, parcelación para vivienda campestre para las zonas determinadas según coordenadas y centros vacacionales, canchas de tejo.
- *Usos prohibidos:* Todos los demás.

6.2.2. Diagnóstico Toxicológico

El carbofurano es el componente activo del FURADAN, plaguicida utilizado en la Finca San Rafael para la erradicación de enfermedades y plagas en distintos cultivos de hortalizas y frutas. El diagnóstico permite establecer que, debido a la aplicación directa del FURADAN en el suelo dedicado a las actividades hortícolas, una cantidad considerable de componente activo, se concentra en el recurso suelo, implicando una afectación directa a las propiedades fisicoquímicas del mismo, teniendo en cuenta la composición, dosificación y frecuencia de aplicación del compuesto.

Sin embargo, teniendo en cuenta la metodología usada en el proyecto *"Diseño e implementación de una red de evaluación de calidad del suelo para tres cultivos hortofrutícolas en el municipio de Madrid, Cundinamarca"*, se estableció que los indicadores de toxicidad, traducidos en el análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo, arrojaron resultados nulos para considerar toxicidad en el recurso (Ver Tabla 4). Lo que permitió concluir que la concentración de carbofurano aplicada en el suelo, no afectaba las propiedades seleccionadas como indicadores de toxicidad.

Tabla 4. Resultados obtenidos para la calidad del suelo correspondiente a la Finca 1 (Finca Piloto) con cultivo de lechuga.

Propiedad	Variable	Resultado	Indicador de Calidad
Mecánica	Textura	Franco Arenosa	Texturas francas, es especial franco arcillosa.
	Estructura	Granular	Estructura Granular
Térmica	Color	Oscuro	Color oscuro
Biológica	Materia Orgánica	12 %	Alto contenido (por encima de 5%)
Química	pH	5.1 (Fuertemente ácido)	Neutro (entre 6.6 – 7.0)
	CIC	49.5% (media)	Alta capacidad de intercambio de nutrientes

Fuente: (Quintero, Sarmiento, García, & Molano, 2015)

En la Tabla 4, la casilla "Resultado", hace referencia a los resultados obtenidos a partir del análisis fisicoquímico de las muestras de suelos en el laboratorio. La casilla "Indicador de calidad", hace referencia a las características establecidas como óptimas, para no considerar ningún índice de toxicidad en el suelo.

Según las propiedades físicas y químicas del carbofurano, este compuesto puede ser liberado al aire, y teniendo en cuanta su presión de vapor, existe tanto en la fase de vapor como en la de partículas en la atmósfera (U.S. National Library of Medicine, 2016). Si el carbofurano es liberado al suelo, se espera que dicho compuesto tenga una movilidad alta basada en el valor del Koc, lo cual se traduce en una vida media de aproximadamente 11-75 días. La práctica indica que el carbofurano se degrada con mayor rapidez en suelos que han sido tratados previamente con carbofurano u otros plaguicidas (U.S. National Library of Medicine, 2016).

En general, y a pesar que el carbofurano puede ser liberado al aire, agua y suelo, su persistencia en dichos medios se ve limitada debido a que sus propiedades fisicoquímicas favorecen su rápida

degradación. Sin embargo, existe la posibilidad de ser transportado por medio del aire, para finalmente ser inhalado por el ser humano; o llegar a aguas subterráneas por lavado y ser ingerido.

La exposición al carbofurano ocurre a través de la inhalación y el contacto dérmico directamente con el compuesto, en áreas de trabajo donde el compuesto sea producido o usado. Según estudios realizados, la población en general, se encuentra expuesto al carbofurano vía inhalación en el entorno de aplicación y a través de la ingestión de alimentos y agua potable (U.S. National Library of Medicine, 2016).

Lo anterior, permitió plantear la hipótesis, de que el carbofurano puede ser absorbido por las plantas cultivadas en el sector debido a una absorción excesiva de nutrientes por parte de la lechuga, explicado por el contenido de materia orgánica del suelo y la baja disponibilidad de nutrientes en el recurso.

6.3. Otros antecedentes

6.3.1. Proyectos de Grado. Universidad de La Salle.

Trabajo de Grado (2013). Diagnóstico del Impacto ambiental generado por el monocultivo de cebolla larga en los agricultores de Aquitania, Boyacá, debido al uso de plaguicidas inhibidores de colinesterasa. ***Edwin Andrés Garzón & Didier Alexander Pájaro.***

La aplicación de plaguicidas es indispensable en muchos cultivos para garantizar un desarrollo óptimo y efectivo que origine un crecimiento eficaz de la semilla sembrada, es así que el objetivo de este estudio es analizar el impacto ambiental que trae como consecuencia el uso indiscriminado y mal dosificado por parte de los agricultores, de dichos productos químicos, ya que no solo se

afecta el medio ambiente sino también se deteriora la salud de las personas que están diariamente en contacto con estos contaminantes.

Mediante un diagnóstico se evidenció la prevalencia de signos y síntomas de intoxicación por plaguicidas inhibidores de colinesterasa para así poder formular un análisis comparativo. Con el fin de obtener una guía del comportamiento propicio de los plaguicidas y fertilizantes y su efecto ambiental y en la salud humana, se elaboraron muestras de sangre extraídas de los trabajadores que junto con la tasa de mortalidad permiten evidenciar que los agricultores que manejan este tipo de químicos tienen una afectación directa a sus órganos internos debido al tiempo al que se encuentran expuestos al contaminante. En este documento se destaca que la actividad agrícola es uno de los principales factores que impulsa el desarrollo económico en Colombia ya que ocupa aproximadamente el 40% de uso del terreno en el país para este fin y que así mismo ayuda a la sociedad dando un aporte considerable en tasas de empleo del 50%, establece el enfoque de que así como crece el sector agrícola crece el uso y presencia de plaguicidas sintéticos en los cultivo gracias a que estos son la estrategia principal para proteger la producción de plagas y enfermedades (Garzón & Pájaro, 2013).

6.3.2. Proyectos de Grado. Otras universidades.

Trabajo de grado (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. ***Guaitero L. Universidad Nacional de Colombia.***

El objetivo de este trabajo de grado fue diseñar una propuesta metodológica de evaluación del riesgo por el uso de plaguicidas químicos en cultivos de frutas y hortalizas de la Sabana de Bogotá. Esto se desarrolla para tener una herramienta que permita la valoración del nivel del riesgo al que

se encuentran expuestos los compartimentos ambientales y los humanos teniendo en cuenta las características de exposición a los plaguicidas y las características físicas, químicas, toxicológicas y ecotoxicológicas.

La metodología que se implementó se basa en que teniendo él cuenta el trabajo realizado en el proyecto en la evaluación y comparación de indicadores de riesgo de plaguicidas en la Unión Europea, para la caracterización de las metodologías se tienen en cuenta estos mismos criterios. Estos criterios son importantes ya que permiten ejercer comparaciones entre indicadores y establecer las consideraciones particulares, ventajas o desventajas de cada uno. En esa medida se presenta una descripción y caracterización que incluye el propósito del indicador, el compartimento ambiental evaluado, los efectos implicados, la metodología, la característica de los datos y las consideraciones particulares de cada indicador de riesgo ambiental causado por la aplicación de plaguicidas. Para llevar a cabo la comparación de las metodologías a utilizar, partiendo de la información de la caracterización realizada, se realizó una matriz en la que se evaluaron las metodologías; la estructura de la propuesta de ERA se realizó teniendo como base los documentos publicados por la EPA haciendo algunas modificaciones.

La formulación del problema (Fase 1) incluyó la integración de la información disponible para la ERA. En la evaluación del riesgo (Fase 2), se siguieron los cuatro niveles de evaluación recomendados por la EPA. En el primer nivel, según lo recomienda la EPA, se realizó el cálculo de los Cocientes de Riesgo para organismos terrestres y acuáticos y, se compararon con un nivel de preocupación. En el nivel 2, se aplicó la metodología seleccionada mediante el proceso de priorización a realizarse previamente. Esta metodología permitió una valoración del riesgo a mayor profundidad en cada uno de los compartimentos. El nivel 3 y 4 se desarrollan según los resultados de la evaluación realizada en el nivel 2.

La caracterización del riesgo (Fase 3) se establece básicamente con base en los análisis y recomendaciones que arrojó todo el proceso de evaluación de riesgo. Teniendo en cuenta que la presente propuesta se constituye en una metodología piloto en la evaluación del riesgo ambiental en la aplicación de plaguicidas en sistemas agrícolas colombianos, es necesario llevar a cabo una fase de verificación de la misma. Por tanto, en el desarrollo de esta investigación se estableció una serie de muestreos sobre tres matrices o compartimentos del ambiente importantes: suelo de la capa arable, agua para riego y producto vegetal a punto de cosecha (Guaitero Días, 2010).

Trabajo de grado (2014). Evaluar posibles efectos adversos a la salud en la población de la vereda Quebradas, Municipio de Aquitania-Boyacá, teniendo en cuenta concentraciones de malathión en la cebolla de cultivos propios de la región. ***Bermúdez, A; Cañón, A. Ingeniería Ambienta. Universidad Santo Tomas.***

En el presente estudio se determinó la concentración de Malathion en la cebolla larga para el municipio de Aquitania- Boyacá con el fin de identificar posibles efectos adversos en el consumidor final, en dicho estudio se tuvo en cuenta el desarrollo del medio de la cromatografía de gases, además de llevar a cabo proceso de ubicación geográfica, caracterización socioeconómica de las prácticas agrícolas y las condiciones de salud teniendo en cuenta un diseño de muestreo para el proceso de caracterización socioeconómica y agrícola, para así poder determinar la correlación entre las concentraciones de Malathion en cebolla cosechada y los posibles efectos adversos a la salud en habitantes propios de la región.

Para la determinación de las concentraciones de Malathion en cebollas cosechadas se llevaran a un laboratorio certificado por el ICA en el cual se realizaran los análisis para determinar las concentraciones de Malathion; Para esto se tuvo en cuenta un diseño de muestreo específico para

tener una muestra que sea considerable y sea importante para el estudio teniendo en cuenta todos los aspectos que se deben tener en el manejo de muestras para la recolección de datos y concentraciones específicas para la realización de los análisis con normativa tanto nacional como internacional (Bermúdez & Cañón, 2014).

Trabajo de grado (2015). Determinación de la movilidad del Cabofuran en suelos de un cultivo de papa ubicado en el Municipio de Villapinzón-Cundinamarca. Deldago, M; Fajardo, P. Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomas.

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. Para determinar la movilidad del Carbofuran, se recolectaron muestras de suelo de la finca San José ubicada en la vereda Chasques, realizando 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.

Teniendo en cuenta los resultados de la cromatografía liquida 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.

Es importante tener en cuenta la metodología empleada para el desarrollo y estimación optima de la movilidad que presenta el plaguicida en el suelo teniendo en cuenta que se debe realizar un análisis del tipo de suelo a estudiar para ver los factores influyentes en la afectación directa del recurso. (Delgado Salas & Fajardo Gutiérrez , 2015).

6.3.3. Otras investigaciones.

Determinación de plaguicidas organofosforados en vegetales producidos en Colombia. ***A.M Murcia O., E Stashenko.*** **Universidad Industrial de Santander. 2008.**

En este trabajo se presenta la determinación de los plaguicidas organofosforados como lo son: clorpirifos, diazinon, disulfotón, metil paratión, malatión, profenofos y etión, en muestras de papa, cebolla, tomate, manzanas, fresas y uvas, con el fin de conocer los niveles residuales de estos plaguicidas en vegetales producidos y consumidos en Colombia, para esto se llevó a cabo un método multi-residuo con posterior análisis de muestras aleatoriamente adquiridas en el mercado de Bucaramanga, para determinar la eficiencia del método de extracción se doparon muestras de los alimentos, con los POF en concentraciones aproximadas de 500 ppb, teniendo así procedimientos específicos para finalmente determinar los niveles mínimos de detección, rangos dinámicos lineales y niveles mínimos de cuantificación, para así tener un análisis cuantitativo por medio de estandarización externa utilizando soluciones como la stock; para corroborar dichos resultados se determinó la recuperación de los POF en diferentes alimentos, permitiendo que estos datos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa SPSS 12 para obtener un nivel de confianza del 95%.

En dicha determinación, se observó que el total de muestras analizadas fueron 35, y que contienen residuos de dos o más plaguicidas organofosforados, dando como resultados que el 6% de las muestras contienen 2 plaguicidas, el 17% de 3, el 20% de 4, el 46% de 5 y el 11% de 6, indicando así que si se acumulan los plaguicidas en los vegetales especialmente el plaguicida profenofos excede el límite máximo residual en más de 50% de los casos analizados (Murcia & Stashenko,Elena , 2008).

Riesgo Ambiental por el uso de agroquímicos. *F.L Alfonso., I Toro*. Facultad de Ingeniería UNIMINUTO. 2010.

El artículo presenta las principales características de la metodología de evaluación de riesgo ambiental, definida, como un mecanismo para evaluar la contaminación ambiental y facilitar la toma de decisiones referidas a la gestión de riesgo generado por el uso de agroquímicos y que de forma conveniente, favorecería la gestión ambiental sobre el uso de este tipo de sustancias en el territorio nacional. Inicia con una caracterización fisicoquímica del ingrediente activo usado como plaguicida, continuando con el establecimiento de las condiciones ambientales de la zona en donde se pretende liberar la sustancia, permitiendo definir el destino ambiental en los diferentes compartimentos ambientales (Agua, Suelo, Aire, Tejido animal y vegetal), en ecosistemas tropicales como los colombianos. La información así obtenida se compara con la reportada para la toxicidad aguda y crónica en humanos y especies no objeto de control, encontrándose el verdadero efecto sobre él o los ecosistemas expuestos, de acuerdo con los lineamientos considerados por la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO).

La evaluación del riesgo es una metodología basada en rigurosos principios científicos, está aún en su etapa de desarrollo, no sólo en Colombia sino a escala mundial. Actualmente, el proceso

encierra un alto nivel de incertidumbre, ya que, por tratarse de una disciplina en desarrollo, existen muchas preguntas para las cuales aún no hay una respuesta, es así que se ve la importancia de un desarrollo y una investigación más a fondo sobre estos temas que permiten dar una visión más cerca a lo que realmente sucede en la vida cotidiana (M & Toro S, 2010).

Evaluación del riesgo de impacto ambiental de plaguicidas en cultivos anuales del centro de Santa Fe. FAVE. Secc. Cienc. Agrar, 2013, vol. 12. ***Arregui, M.C; Grenon, D; Sánchez, D y Ghione J.***

Los plaguicidas permiten alcanzar la productividad y la sustentabilidad si se manejan adecuadamente. La elaboración de indicadores permite cuantificar el impacto ambiental de un fitosanitario. El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto ambiental de plaguicidas sobre el suelo y el agua en lotes de agricultura del centro de Santa Fe, La metodología aquí propuesta, se basa en el empleo de indicadores que permitan cuantificar el impacto ambiental que provoca la aplicación de plaguicidas en cultivos de soja, maíz y trigo. El impacto ambiental de un plaguicida resulta de la combinación de la exposición y el nivel de toxicidad del mismo.

Los indicadores de estimación de riesgo por contaminación usados a lo largo del estudio fueron: GUS (Groundwater Ubiquity Score), IRP (Índice Relativo de Plaguicidas) y IPEST; los cuales reúnen información pertinente tanto del plaguicida como del lugar de aplicación. Los cálculos de los índices se realizó por medio de un análisis de frecuencia en función de categorías de riesgos bajos o altos de impacto ambiental; finalmente se concluye que con los resultados obtenidos con los indicadores el cultivo con mayor riesgo de impacto ambiental es el maíz; se debe tener en cuenta que el empleo de indicadores podría contribuir a seleccionar los ingredientes activos que

muestren mejor comportamiento ambiental, para así generar cultivos sustentables planificados debidamente (Arregui, Grenon, & Sánchez, 2013).

6.4. Marco Teórico

6.4.1. Situación actual del cultivo de lechuga

Dentro del departamento de Cundinamarca, el municipio de Madrid es el primer productor de una variedad de hortalizas, buena parte en predios de pequeña escala, con una producción aproximada del 14% de lechuga de todo el departamento (Ministerio de Protección Social, República de Colombia, 2011).

6.4.1.1.Origen del cultivo de lechuga

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, hoy día los botánicos no están de acuerdo con dichas suposiciones, debido a que existe un antecesor de la lechuga, Lactuca scariola L., la cual se encuentra en estado silvestre en la mayoría de las zonas templadas creciendo en prados, pendientes rocosas y terrenos baldíos (Silva, 2009).

La lechuga es una de las principales hortalizas de Colombia por el volumen de consumo que posee actualmente. Se cultiva desde el nivel del mar, hasta los 2600 m.s.n.m., considerada como la altura de mayor adaptación de la hortaliza. Debido al tipo de crecimiento que posee la lechuga, se clasificó en tres grupos principales incluyendo las especies destinadas a la comercialización. Las principales regiones productoras de esta hortaliza comprenden los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia; siendo Cundinamarca el mayor productor con un rendimiento promedio de 18.32 T/Ha para el tipo de lechuga Batavia, ya que es el producto que surte todo el mercado del distrito capital y otras regiones del país (Silva, 2009).

6.4.1.2.Morfología y Taxonomía

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) pertenece a la familia Compositae. Es la hortaliza más cultivada en el departamento de Cundinamarca con un área aproximada 636 Ha con una producción anual de 9276 Ton (Carranza, Lanchero, Miranda, & Chaves Bernardo, 2009). La lechuga presenta una gran diversidad genética ya que existen diferentes tipos de especies caracterizadas principalmente por el tipo de hojas que poseen y los hábitos de crecimiento que adquieren dependiendo del lugar donde se cultive (Silva, 2009). En la tabla 5 se puede evidenciar la clasificación taxonómica de este tipo de lechuga.

Tabla 5. Clasificación taxonómica de la lechuga

Lechuga	
Nombre Científico	Lactuca sativa
Nombre Común	Lechuga
Reino	Plantae
División	Macrophyllophita
Subdivisión	Magnoliphytina
Clase	Paenopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Tribu	Lactuceae
Género	Lactuca
Especie	Sativa

Fuente: (Cabrera, Inguilán, & Chaves Erazo, 2016)

Dicha hortaliza posee una raíz que no sobrepasa los 25 cm de profundidad, y se caracteriza por ser pivotante, corta y con gran cantidad de ramificaciones. Las hojas de la lechuga se encuentran en forma de roseta, desplegadas al principio, en algunos casos se mantienen así durante todo su desarrollo y en otros casos se acogollan al final (InfoAgro, 2010). Cuando la lechuga se encuentra en su fase de maduración, emerge el tallo floral en forma cilíndrica con ramificaciones. Las flores de esta planta son autógamas de color amarillo dispuestos en racimos o corimbos (InfoAgro, 2010). Las semillas están provistas de un vilano plumoso, y en algunas variedades tiene un período de latencia inducido por temperaturas altas, después de que han sido recolectadas (Biblioteca Técnica Servicios y Almácigos S.A., 2015).

6.4.1.3.Características agroclimáticas

Es importante conocer las características agroclimáticas para el desarrollo de la planta como tal, lo cual se puede observar en la tabla 6 donde se establecen los criterios admisibles y adecuados para la formación y crecimiento del cultivo de lechuga.

Tabla 6. Características agroclimáticas del cultivo de lechuga.

Altura sobre el nivel del	1800 – 2000 m.s.n.m.
Temperatura	15 – 20 °C
Humedad Relativa	68 – 70%
Requerimiento hídrico	300 – 600 mm/año
Tipo de suelo	Franco-arcilloso y Franco-arenoso
pH	5.7 – 6.5
Observaciones	Sensible a exceso de humedad y encharcamiento

Fuente: (Núcleo Ambiental S.A.S, 2015)

La temperatura óptima para la germinación de la semilla de lechuga oscila entre 15-20°C. Durante la fase de crecimiento, se requieren temperaturas entre los 14-18°C en el día, y 5-8°C en la noche, ya que este tipo de cultivo exige un cambio de temperatura durante el transcurso del día. Las temperaturas altas generan plantas débiles, favorecen la aparición de quemaduras en los bordes de

las hojas, induce floración prematura, generan sabores amargos por la acumulación de látex en su sistema vascular (Núcleo Ambiental S.A.S, 2015). En general, la temperatura óptima depende del estado de desarrollo en el que se encuentre la hortaliza, además de su variedad y la intensidad luminosa a la que se encuentra expuesta (Guía Docente, 2013). Durante la formación de cabeza se requieren temperaturas de aproximadamente 12°C en el día y 3-5°C en la noche. El cultivo de lechuga se caracteriza porque soporta apropiadamente las temperaturas altas, cuando la hortaliza se encuentra sometida a temperaturas bajas durante un período de tiempo determinado, sus hojas adquieren una coloración roja, que generalmente se confunde con una deficiencia nutricional (Silva, 2009)

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte superficial; esto la convierte en una planta sensible a las condiciones de poca humedad (Guía Docente, 2013); por esta razón, la humedad relativa conveniente para un óptimo crecimiento y desarrollo de la lechuga se encuentra en un rango de 60-80%, pero se recomiendan valores altos dentro de este rango y más cercanos al 80% (InfoAgro, 2010).

Los tipos de suelo recomendados para el desarrollo óptimo de la lechuga son los ligeros, areno-limosos, con buena capacidad de drenaje, y que posean grandes contenidos de materia orgánica (Silva, 2009). Estos suelo deben tener un pH entre 6.7-7.4, debido a que la lechuga es susceptible a los suelos ácidos y alcalinos, por lo que se recomienda su cultivo en suelos con pH neutros (Silva, 2009).

6.4.1.4.Riego

La lechuga es una hortaliza que absorbe grandes cantidades de agua, por lo que un déficit hídrico puede ocasionar la formación prematura de un acogollado defectuoso con quemaduras marginales.

El riego es uno de los factores de mayor importancia en el cultivo de lechuga, por lo que es de gran importancia determinar la cantidad de agua, el momento para efectuar el riego y las instalaciones adecuadas para proporcionar suficiente agua tanto para el suelo como para la hortaliza (Silva, 2009).

Aquello suelos con altos contenidos en arcilla y limo, tienen mayor capacidad de retención de agua, que aquellos en los que predomina la arena. En general, el estado vegetativo y las condiciones climatológicas del lugar permiten establecer la cantidad de agua que requiere el cultivo, con el fin de reponer la humedad; por otro lado, la textura del suelo permite establecer la dosis y frecuencia de riego para mantener los niveles de reserva esperados (Silva, 2009).

6.4.2. Los plaguicidas y su impacto en el cultivo de lechuga

6.4.2.1.Plaguicidas y su clasificación

Los plaguicidas pueden definirse como sustancias químicas que sirven para combatir los parásitos de los cultivos, del ganado, de los animales domésticos y del hombre y el ambiente que lo rodea (Sánchez & Sánchez, 1984). Por otro lado, el artículo 2º del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de plaguicidas de la FAO; define los plaguicidas como:

> ***"Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicios o que interfieren de cualquier forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que***

> ***puedan administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos"*** *(Food and Agriculture Organization (FAO), 1996)**.***

Teniendo en cuenta que existe una gran cantidad de compuestos químicos implicados en la generación de este tipo de agroquímicos, la clasificación de los plaguicidas resulta difícil (Sánchez & Sánchez, 1984). Sin embargo, pueden clasificarse según los siguientes criterios:

- *Clasificación según su actividad biológica:* Los plaguicidas pueden clasificarse de acuerdo a su actividad biológica en insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas y rodenticidas, teniendo en cuenta el organismo que se desea controlar: insectos, hongos, malezas, ácaros/arácnidos o roedores (Sánchez & Sánchez, 1984).
- *Clasificación según su naturaleza química:* Los plaguicidas pueden clasificarse en inorgánicos y orgánicos, teniendo en cuenta su composición química. Los plaguicidas inorgánicos son aquellos que en general, no plantean una problemática importante, desde el punto de vista de su toxicidad y la evolución en el suelo (Sánchez & Sánchez, 1984). Por el contrario, aquellos plaguicidas denominados orgánicos, debido a su complejidad en la composición, ha generado problemas de acumulación y evolución en el suelo, provocando su contaminación (Sánchez & Sánchez, 1984).
- *Clasificación Toxicológica de los plaguicidas:* La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha clasificado los plaguicidas teniendo en cuenta su toxicidad aguda en estudios con animales. Los plaguicidas están clasificados en las siguiente clases: Extremadamente peligroso (Ia), Altamente peligroso (Ib), Moderadamente peligroso (II), Poco peligroso

(III), normalmente no representan peligro bajo uso normal (IV) como se puede evidenciar en la Tabla 7. (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009).

Tabla 7. Clasificación Toxicológica y Nivel de Peligro de los plaguicidas.

Clasificación Toxicológica de los Plaguicidas						
Clasificación de la OMS según los riesgos	**Formulación Líquida. DL50 Aguda.**		**Formulación Sólida. DL50 Aguda.**		**Clasificación de la OMS según los riesgos.**	**Clasificación del Peligro.**
	Oral	**Dermal**	**Oral**	**Dermal**		
Clase Ia: Producto sumamente peligroso	>20	>40	>5	>10	Ia – Producto sumamente peligroso	Muy Tóxico
Clase Ib: Productos muy peligrosos	20 – 200	40 - 400	5 – 50	10 – 100	Ib – Producto muy peligroso	Tóxico
Clase II: Productos Moderadamente Peligrosos	200 - 2000	400 - 4000	50 – 500	10 – 1000	II – Producto moderadamente peligroso	Nocivo
Clase III: Productos Poco Peligrosos	2000 – 3000	>4000	500 – 2000	>1000	III – Producto poco peligroso	Cuidado
Clase IV: Productos que normalmente no representan peligro	>3000		>2000		IV – Producto que normalmente no representa peligro	Cuidado

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009)

El nivel de peligrosidad y riesgo por toxicidad ha aumentado debido a la ausencia de Elementos de Protección Personal (EPP), en pequeños productores rurales de países en desarrollo (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009).

Por otro lado, para que un plaguicida tenga un amplio uso en la práctica agrícola, tener reunir ciertas características específicas como se describe a continuación (Sánchez & Sánchez, 1984):

- ***Efectividad:*** Debe ser efectivo en la erradicación de la plaga contra la que actúa.
- ***Selectividad:*** Debe combatir únicamente los organismos desfavorables para un cultivo, sin afectar la flora y fauna específica del lugar.

- ***Economía:*** El plaguicida a utilizar debe generar beneficios económicos mayores a los referentes a los gastos por su adquisición.
- ***Seguridad:*** El plaguicida a usar, debe generar el menor nivel de toxicidad posible en los productos agrícolas, y no debe considerarse como peligroso ni para la salud humana o animal, ni para el ambiente.
- ***Estabilidad:*** Debe conservar su efecto de erradicación durante un tiempo específico, generalmente en la siembra establecido para los productos agrícolas.
- ***Posibilidad de formulación:*** El plaguicida utilizado, debe ser compatible con los posibles soportes y diluyentes utilizados para formular dosis estables y efectivas (Sánchez & Sánchez, 1984)

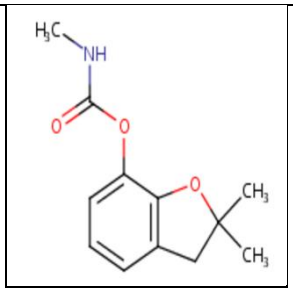
En general, y a pesar de que para la aplicación de un plaguicida debe cumplirse con las características anteriormente mencionadas, muchos de los componentes químicos que se han utilizado para las prácticas hortícolas han generado estabilidad en el ambiente, lo cual ha originado problemas de contaminación ambiental ya que los residuos de estos compuestos logran acumularse y distribuirse en cosechas, suelo, agua y aire, sobretodo en lugares que se encuentran directamente expuestos a la fuente de aplicación del plaguicida (Sánchez & Sánchez, 1984). Por esta razón, y teniendo en cuenta la toxicidad que pueden generar los plaguicidas, se hacen necesarios estudios de la persistencia e interacción de estos compuestos con el ambiente, con el fin de establecer la fuente del problema y proponer alternativas encaminadas al uso de agroquímicos efectivos que generen el máximo beneficio con un riesgo mínimo tanto para la salud humana como para el ambiente.

6.4.3. Uso y aplicación de Furadan en cultivos

El Furadan, es un plaguicida con principio activo carbofurano o carbofuran. Conocido como uno de los plaguicidas de composición en carbamato, más tóxicos. Es usado para el control de plagas de insectos en una abundante variedad de cultivos. Es un insecticida sistémico, lo que significa que la planta lo absorbe mediante las raíces, y que desde allí la planta lo distribuye al resto de sus órganos (principalmente vasos, tallos y hojas; no sus frutos), donde se alcanzan las mayores concentraciones del insecticida (Diaz, 2013).

El carbofurano es un insecticida de amplio espectro de carbamato de N-metilo y nematicida, los cuales se encuentran registrados para el control de plagas en suelo y foliares en una amplia variedad de cultivos de frutas y verduras (United States Environmental Protection Agency, 2006). Este compuesto, es un sólido cristalino blanco, inodoro, con un punto de fusión de 150°C – 154°C. Se caracteriza por ser ligeramente soluble en agua y altamente soluble en N-metil-2-pirrolidona, dimetilformamida, sulfóxido de dimetilo, acetona, acetonitrilo, metileno 1, cloruro, ciclohexanona, benceno y xileno (U.S. National Library of Medicine, 2016). En la Tabla 8 se evidencian las características químicas del compuesto cabofuran.

Tabla 8. Identificación química del carbofuran.

Carbofuran	
Estructura Química	 **Imagen 2.** Estructura química del carbofuran. **Fuente:** United States Environmental Protection Agency. (2006). Interim Reregristation Eligibility Decision (IRED). Document for Carbofuran. Estados Unidos: EPA.
Nombre Común	Carbofuran
Fórmula Química	2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranilo-N-metilcarbamato

Familia Química	N-metil Carbamato
Peso Molecular	221.3
Nombre Comercial	Furadan

Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2006)

6.4.3.1.Mecanismo de acción

Mata por contacto insectos que se alimentan del follaje y algunos nemátodos que habitan en el suelo. Lo anterior, mediante el envenenamiento por ingestión de los insectos que se alimentan del follaje y de la raíz de la planta (Grupo Edifarm, 2016).

El furadan controla los insectos y nemátodos interfiriendo con el funcionamiento de su sistema nervioso. Inhibe la acción de la enzima acetil-colinesterasa la cual regula los impulsos nerviosos a los músculos o glándulas. Cuando dicha enzima es inhibida, el insecto entra en un estado de estimulación en el que no puede relajarse, provocando su constante agitación hasta ocasionarle la muerte (Grupo Edifarm, 2016).

6.4.3.2.Riesgo ambiental asociado a la toxicidad.

Efectos en el ambiente.

Los productos químicos de uso agrícola, al ser aplicados sobre cultivos pueden llegar a contaminar las fuentes de agua, tanto subterráneas como superficiales, el aire, el suelo o los alimentos; teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas y la forma de aplicación del mismo (UNEP, 2011).

Cuando el carbofuran es liberado a la atmósfera puede presentarse tanto en la fase de vapor como en la fase sólida. En la fase de vapor, el carbofuran puede ser degradado por reacción con los radicales hidroxilo con una vida media de aproximadamente 13 horas. Las partículas son físicamente removidas por precipitación húmeda y seca (SATA., 2009).

Cuando llega al suelo, el carbofuran persiste con una vida media de 30 a 120 días degradándose principalmente por acción microbiológica, generando dióxido de carbono (RAP-AL, 2009). Su movilidad se encuentra directamente relacionada con la textura que presente el suelo; en suelos franco-arenosos, franco-limosos y limo-arcillosos su movilidad es alta; en suelos franco-arcillo-limosos es moderadamente móvil y en suelo con alto contenido orgánico, la movilidad es ligera. Lo anterior, implica un alto riesgo de toxicidad y contaminación para las aguas subterráneas (SATA., 2009).

Efectos en la salud humana.

Los plaguicidas de uso agrícola pueden tener un efecto negativo sobre la salud humana cuando el grado de exposición supera los niveles considerados seguros (UNEP, 2011). El grado de exposición puede ser directa, en el caso de un manejo inadecuado por parte de los operarios; o indirecta, como es el caso de los residentes y transeúntes del sector aledaño a la zona de aplicación del plaguicida (UNEP, 2011).

Los plaguicidas pueden estar constituidos por uno o más componentes que poseen diferentes grados de peligrosidad, por lo cual se hacen las siguientes afirmaciones:

- Los plaguicidas de uso agrícola son peligrosos debido a que poseen propiedades inherentes o intrínsecas que les confieren la capacidad de ejercer efectos tóxicos, sin tener en cuenta su clasificación según la toxicidad, ni la dosis de agroquímico aplicada (UNEP, 2011).
- El riesgo que genera una sustancia química se genera cuando existe una exposición al producto, de tal manera que este alcance a entrar en la cantidad y concentración suficiente para ocasionar efectos nocivos (UNEP, 2011).

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) destaca el peligro de intoxicación aguda que presenta un plaguicida con principio activo carbofurano, a las personas expuestas a su acción. Teniendo en cuenta su alta toxicidad, la exposición a las más pequeñas concentraciones genera un riesgo importante para la salud humana (RAP-AL, 2009). Por lo anterior, la EPA considera que el riesgo de residuos de carbofurano en los alimentos es preocupante para todos los subgrupos de la población, especialmente para los niños ente 1 y 2 años de edad (RAP-AL, 2009).

Toxicidad Aguda: La OMS ha clasificado el carbofurano en el grupo 1B, referente a una sustancia "altamente peligrosa". Sin embargo, para el caso de ingestión directa o indirecta es considerado como "extremadamente tóxico" (RAP-AL, 2009). Puede producir irritaciones en la piel, y dependiendo la forma de acceso al cuerpo humano tiene efectos nocivos en el aparato respiratorio, el aparato digestivo y ojos. Cuando se presentan niveles de exposición altos, las personas afectadas pueden presentar espasmos musculares, pérdida de coordinación y paros cardiorrespiratorios (RAP-AL, 2009).

Toxicidad Crónica: El carbofurano es considerado un agrotóxico que puede afectar el sistema inmunológico con síntomas evidentes como cansancio, falta de apetito y debilidad general. También provoca efectos mutagénicos y teratogénicos (RAP-AL, 2009).

En general, el carbofurano es una sustancia que provoca una serie de efectos nocivos tanto para el ambiente en el que se aplique como en la salud de las personas directa e indirectamente implicadas en su aplicación y manipulación; para lo cual es necesario tener en cuenta ciertas medidas de seguridad que se resumen en el **Anexo C.**

7. Evaluación Toxicológica

7.2. Análisis de riesgos

7.2.1. Identificación de los peligros

La fase de identificación de los peligros, se basó en establecer la presencia del carbofuran en las lechugas del cultivo en estudio, con el fin de establecer la interacción de este con el medio en el que se desarrolla y la hortaliza, según las características fisicoquímicas que presente. Lo anterior, se logró mediante la implementación de un muestreo de lechugas, en la finca piloto, con el fin de determinar la concentración a la cual se encuentra el carbofurano en las hortalizas.

7.2.1.1.Diseño muestreal

El tipo de muestreo seleccionado fue de tipo aleatorio simple, teniendo en cuenta la homogeneidad del lugar, y que cualquier punto de muestreo presenta la misma probabilidad de ser seleccionado. Para determinar el número de muestras, se utilizó la ecuación para población finita, ya que se conocía el tamaño exacto de la población de lechugas en la finca piloto:

$$n = \frac{z^2 * p * Q * N}{e^2 * (N-1) + z^2 * p * Q}$$

Donde:

n: tamaño de muestra (número total de lechugas)

z: Es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. En función del nivel de confianza que buscábamos, usamos un valor determinado que viene dado por la forma que tiene la distribución de Gauss (Bermúdez & Cañón, 2014). Para este caso, se hace referencia a un nivel de confianza del 95% y un error del 5%, lo cual corresponde a un z de 1,96.

p: Variabilidad positiva y para valores poblacionales se toma valor de 0.5.

Q: Variabilidad negativa y para valores poblacionales se toma valor de 0.5.

N: Población de lechugas

e: Es el margen de error máximo admisible (p.e. 5%)

Reemplazando:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 19000}{0.1^2 * (19000 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 95.56 = 96 \text{ lechugas}$$

Teniendo en cuenta la distribución de las lechugas en el área de sembrado (Ver Figura 10), además de las recomendaciones hechas por el laboratorio; se realizó un muestreo irregular en forma de Z sobre el terreno cultivado con lechugas, marcando puntos equidistantes entre cada punto, evitando tomar muestras de los linderos del cultivo (Ministerio del Ambiente, 2014).

Figura 10. Distribución del cultivo de lechuga en la finca piloto.

Fuente: (Autoras, 2016)

Una vez establecidos los puntos de muestreo, se extrajeron en total 96 lechugas (Ver Figura 11) las cuales fueron cuidadosamente extraídas del suelo para evitar contaminación externa de la muestra. Posteriormente, se extrajo una muestra representativa de aproximadamente 2.5Kg, la cual fue empacada en bolsas de polietileno, para ser llevada al laboratorio PRIMORIS LAB y realizar el procedimiento de análisis de residuos de plaguicidas en hortalizas, por medio de Cromatografía

líquida acoplada a un espectrómetro de masas. Lo anterior, con el fin de obtener la separación, detección general y potencial de identificación de los productos químicos de masas en particular, en presencia de otros productos químicos en las lechugas extraídas.

Figura 11. Extracción de la muestra.

Fuente: (Autoras, 2016)

7.2.1.2.Análisis químico de las muestras de lechuga

Los resultados obtenidos en el laboratorio, arrojaron la ausencia de carbofurano en las muestras de lechuga. En su lugar, se encontraron tres sustancias diferentes a la esperada **(Ver Anexo D)**, pero que concuerdan con el componente activo de muchos de los plaguicidas que son aplicados en la finca piloto para la erradicación de plagas y enfermedades, en los diferentes cultivos hortícolas de la zona (Ver Tabla 1. Censo de agroquímicos). Se puede evidenciar en la Tabla 9 los resultados obtenidos de la muestra llevada al laboratorio, identificando la sustancia y la cantidad de esta en la muestra analizada.

Tabla 9. Resultados del análisis de lechugas en la finca piloto.

Sustancia	Resultado
Difenoconazol	0.32 mg/Kg
Metamidofos	0.040 mg/Kg
Propiconazol	0.11 mg/Kg

Fuente: Ver Anexo D (Autoras, 2016)

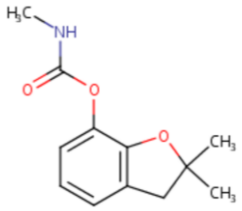
Por lo anterior, la evaluación de riesgos ambientales se centrará en la toxicidad asociada a los componentes activos encontrados en las muestras de lechuga.

Las sustancias anteriormente enunciadas, son componente activo de muchos de los plaguicidas utilizados en cultivos de papa, alcachofa, espinaca, cebolla y arveja desarrollados contiguamente al cultivo de lechuga en estudio.

7.2.1.2.1. Carbofurano

La ausencia del carbofurano en las hortalizas analizadas, se debe principalmente a las características fisicoquímicas del compuesto y su comportamiento en el ambiente. La producción y utilización de carbofurano puede resultar en la liberación de dicha sustancia a través de distintos flujos de residuos; su uso como insecticida resulta en la liberación del compuesto al ambiente (U.S. National Library of Medicine, 2016). En Tabla 10 se observan las propiedades fisicoquímicas del carbofuran lo cual nos puede acercar al comportamiento de esta sustancia en el medio.

Tabla 10. Propiedades fisicoquímicas del carbofuran.

Propiedad	
Nombre Común (ISO)	Carbofuran
Estructura Química	
Nombre Químico (IUPAC)	2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranilo-N-metilcarbamato
Fórmula Empírica	$C_{12}H_{15}NO_3$
Estado Físico	Sólido Cristalino
Aspecto (color y olor)	Blanco, Inodoro
Peso Molecular	221.26
Punto de Fusión	153.2 °C

Solubilidad	351 mg/L a 25°C
Densidad	1.180 g/cm^3
Presión de vapor	5.4 x 10^{-7} mm Hg
Constante de Henry	4.5 x 10^{-10} atm m^3/mol
Coeficiente de adsorción normalizada (Koc)	7.3 – 123
Coeficiente de partición n-octanol/agua. Log Kow	2.32
DT_{50} Suelo	11 – 75 días
DT_{50} Agua	3 días (Hidrólisis)

Fuente: (U.S. National Library of Medicine, 2016)

Teniendo en cuenta la presión de vapor que presenta el carbofurano, $5.4\ x\ 10^{-7}$mm Hg, se dice que el compuesto posee una afinidad baja al suelo o agua y puede tener un alto potencial para volatizarse (SEMARNAT. , 2012). Sin embargo, lo anterior puede verificarse si se tiene en cuenta que el carbofurano posee una constante de Ley de Henry con un valor de $4.5\ x\ 10^{10}$ atm.m^3/mol, lo cual indica que la volatilidad del compuesto es baja, si se tiene en cuenta que posee una solubilidad alta en agua (351 mg/L) y un potencial alto de lixiviación (SEMARNAT. , 2012).

El carbofurano posee valores de Koc que pueden variar desde 7.3 a 123 (U.S. National Library of Medicine, 2016). El coeficiente de adsorción de carbono orgánico Koc, es también conocido como coeficiente de adsorción suelo/agua, y es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser retenido en por los suelos o sedimentos (SEMARNAT. , 2012). La teoría explica que los compuestos con Koc entre 10 y 100 poseen una adsorción débil por parte del suelo, lo que implica que puede distribuirse en cuerpos de agua o de aire, explicando así que la ruta de exposición al plaguicida sea inhalatoria (SEMARNAT. , 2012).

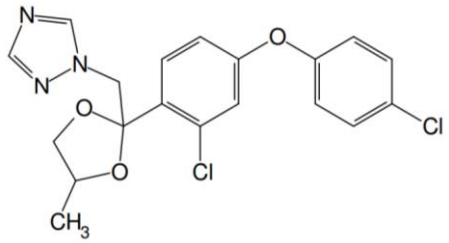
Lo anterior, permite apreciar que el carbofurano no persiste en el suelo, debido a las propiedades fisicoquímicas anteriormente descritas que favorecen su movilidad hacia aguas subterráneas, además de la baja capacidad que posee el suelo franco-arenoso de la finca para retener el agua, lo que implica un alto grado de lixiviación. Si se tiene en cuenta su vida media en el suelo (11-75

días), esta favorece su degradación por fotolisis, reduciendo el tiempo de interacción entre el suelo y la planta, mientras el carbofuran aún se encuentra en el medio, por lo cual se justifica su ausencia en las lechugas cultivadas en la plata piloto.

7.2.1.2.2. Difenoconazol

El difenoconazol es un fungicida sistémico que controla un amplio espectro de enfermedades trasmitidas de manera foliar, a través de las semillas y el suelo causadas principalmente por *ascomicetos, basidiomicetos y deuteromicetos* en cereal, soya, arroz, uvas, frutas de semilla, papa, caña de azúcar y gran cantidad de hortalizas en cultivos ornamentales (FAO & WHO, 2007). Este fungicida actúa como inhibidor sistémico de esterol desmetilación, y tiene la gran habilidad de interferir con el crecimiento micelial e inhibe la germinación de esporas asociadas a patógenos que finalmente resulta en la inhibición del crecimiento de hongos (Li, Ma, & Lu , 2013). Las principales características fisicoquímicas del difenoconazol, se resumen a continuación en la Tabla 11:

Tabla 11. Propiedades fisicoquímicas del difenoconazol.

PROPIEDAD	
Nombre común (ISO)	Difenoconazol
Tipo de Plaguicida	Fungicida
Grupo Químico	Triazol
Estructura Química	
Nombre químico (IUPAC)	(cis-trans-3-chloro-4-(4-methyl-2-(1H-1,2,4-triazole-1-ylmethyl-1,3-dioxolan-2-yl)- phenyl 4-chlorophenyl ether
Fórmula empírica	$C_{19}H_{17}Cl_2N_3O_3$
Estado Físico	Sólido (Granular)
Aspecto (color y olor)	Blanco, suavemente dulce

pH	4 – 8 (Score 250 EC)	
Peso Molecular	406.26	
Punto de Fusión	82.5 °C	
Punto de Ebullición	101 °C	
Punto de Inflamación	285°C	
Solubilidad	15 mg/L a 20°C	
Densidad	1.37 g/cm^3 a 20°C	
Presión de Vapor	3.3 x 10^{-8} Pa a 25°C	
Constante Ley de Henry	9 x 10^{-7} Pa.m^3/mol a 25°C	
Coeficiente de adsorción normalizada (Koc)*	**Suelo**	**Koc**
	Arenoso	3866.6
	Franco arenoso	3517.8
	Franco arcilloso	3470.8
	Arcilloso	7734.4
Coeficiente de partición n-octanol/agua log Kow	4.36 a 20°C (pH 7)	
DT$_{50}$ Suelos	130 días (fotólisis)	
DT$_{50}$ Aguas*	3 días (hidrólisis)	

Fuente: (University of Hertfordshire, 2016) (MADS, 2008)*****

El difenoconazol posee un Koc equivalente a 3571.8 cuando se encuentra en suelos franco arenosos. Dicho valor, hace referencia a un Koc alto debido a que el valor obtenido se encuentra entre 1000 – 10000, lo cual indica que la adsorción del compuesto por el suelo es moderada, implicando así, que el difenoconazol pueda fijarse en el suelo, sedimento, biota y materia orgánica (SEMARNAT. , 2012). El Kow, hace referencia a la medida de la hidrofobicidad o la afinidad hacia los lípidos, de una sustancia disuelta en el agua, teniendo en cuenta el valor que presenta el difenoconazol, se infiere en un valor alto, con probabilidades altas de bioacumulación, bioconcentración y adsorción por parte del suelo y los sedimentos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2012). Lo anterior se justifica a través de la tasa de degradación que pesenta la sustancia en el suelo (130 días), indicando una alta persistencia del difeconazol en el suelo, además debido al alto contenido de materia orgánica que se presenta en el lugar, puesto

que esta abdorbe los clorofenoles propios de la composición del difenoconazol (University of Hertfordshire, 2016).

Por otro lado, si se tiene en cuenta la solubilidad que presenta el compuesto (15mg/L) se afirma que es baja pero con una tasa de degradación moderadamente alta (3 días), lo que disminuye su disponibilidad y presencia en el agua (University of Hertfordshire, 2016). Si se evalúa el medio aire, se infiere en una presión de vapor alta ($3.3x10^{-8}$ Pa) implicando la volatilización de la sustancia en el aire.

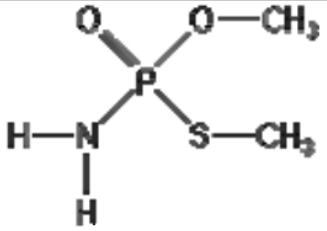
El difenoconazol hace parte de los plaguicidas triazoles, que son agroquímicos usados alrededor del mundo en la industria agrícola debido a su amplio espectro de acciones. Son aplicados directamente a las plantas y poseen características tanto protectivas como curativas, y es ampliamente para el control de enfermedades producidas por hongos (Zhang , y otros, 2015). Sin embargo, muchos de estos plaguicidas no se degradan completamente después de su aplicación, sus metabolitos y algunas formas inalteradas de dichos compuestos son excretados y subsecuentemente introducidos en el ambiente (Li, Ma, & Lu , 2013). Además los plaguicidas triazoles tienen vidas medias cortas, una bioacumulación más baja que los plaguicidas organoclorados y posibles efectos perjudiciales para el ecosistema y la vida humana donde actúan (Li, Ma, & Lu , 2013).

7.2.1.2.3. Metamidofos

Metamidofos, es un tóxico metabolito de acefato, es un organofosforado ampliamente utilizado insecticida con propiedades sistémicas y es eficaz contra masticadores y chupadores insectos, de contacto y alto poder residual. Es altamente tóxico para el hombre por vía oral, dérmica, es de amplio espectro para el control de plagas agrícolas que atacan a cultivos como el maíz, papa,

brócoli, vid y algodón (Ramu & Seetharaman, 2014). Las principales características fisicoquímicas del metamidofos, se resumen a continuación en la Tabla 12:

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas del metamidofos.

PROPIEDAD	
Nombre común (ISO)	Metamidofos
Tipo de Plaguicida	Insecticida, Acaricida, Metabolito (Suelo)
Grupo Químico	Organofosforado
Estructura Química	
Nombre químico (IUPAC)	(RS)-(O,S-dimethyl phosphoramidothioate)
Fórmula empírica	$C_2H_8NO_2PS$
Estado Físico	Sólido Cristalino
Aspecto (color y olor)	Blancuzco
Peso Molecular	141.13
Punto de Fusión	45 °C
Punto de Ebullición	Descomposición después de la ebullición
Punto de Inflamación	212°C
Solubilidad	200 x 10^3 mg/L a 20°C
Densidad	1.27 g/cm^3 a 20°C
Presión de Vapor	2.3 x 10^{-3} Pa a 25°C
Contante Ley de Henry	1.60 x 10^{-6} Pa.m^3/mol a 25°C
Coeficiente de adsorción normalizada (Koc)*	5
Coeficiente de partición n-octanol/agua log Kow	-0,79 a 20°C (pH 7)
DT_{50} Suelos	3.5 días (fotólisis)
DT_{50} Aguas	16 días (hidrólisis)

Fuente: (University of Hertfordshire, 2016) (Bedmar, Gianelli , Angelini, & Viglianchino, 2015)*****

El metamidofos tiene un valor de Koc de 5, teniendo este valor tan bajo se estima un riesgo considerable de lixiviación que se facilita por el número de microporos, que al ser bajo implica una capacidad muy baja de retener agua, facilitando el lavado de compuestos; lo que indica que la fracción de plaguicida aplicado pasará a través del perfil del suelo, además este valor sugiere una

alta movilidad en el suelo. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias , 2003). El metamidofos se degrada fácilmente en el suelo. La degradación metabólica se produce en una escala extremadamente reducida en suelos arenosos. Es más intensa en suelos arenosos francos y alcanza la tasa más elevada en suelos francos limosos. Teniendo en cuenta la presión de vapor medida, el metamidofos se volatiliza lentamente de la superficie del suelo seco (FAO, 2004).

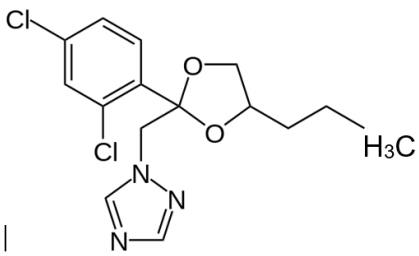
El Kow, se toma como un indicador del grado de hidrofobicidad de cada compuesto, lo que advierte la capacidad de acumularse en los organismos vivos y su potencial de absorción sobre la materia orgánica. El metamidofos tiene un valor de -0.79 a 20°C por lo cual se puede inferir en un potencial de bioacumulación muy bajo y puede que no llegue a transferirse a lo largo de cadenas tróficas propias de la zona (Pesticides Industry Sales and Usage, 1995)

El metamidofos se degrada al aire libre en sistemas naturales de agua, tiene una vida media de 16 días en el agua y 7.7 día en el sedimento, se considera que se volatiliza lentamente en el agua (con una semidesintegración de 91 años en un río modelo y de 998 años en un lago modelo). La bioconcentración en organismos acuáticos no es significante ya que tiene un factor de 0.33 en el agua (Iannaccone, y otros, 2007).

7.2.1.2.4. Propiconazol

Es un fungicida utilizado ampliamente en la agricultura, es foliar sistémico con un amplio rango de actividad además de ser fungistático o de inhibición del crecimiento en lugar de fungicida o matanza, a través del tiempo se han realizado estudios que demuestran que este compuesto puede causar efectos de alteración endocrina. Se usa principalmente para la protección de pastos, cultivos de trigo, plátano, cebada, ornamentales, nogal. (Econatur, 2003). Las principales características fisicoquímicas del propiconazol, se resumen a continuación en la Tabla 13:

Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas del propiconazol.

PROPIEDAD	
Nombre común (ISO)	Propiconazole
Tipo de Plaguicida	Fungicida
Grupo Químico	Triazol
Estructura Química	
Nombre químico (IUPAC)	(2*RS*,4*RS*;2*RS*,4*SR*)-1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-ylmethyl]-1*H*-1,2,4-triazole
Fórmula empírica	$C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$
Estado Físico	Líquido viscoso
Aspecto (color y olor)	Amarillo
Peso Molecular	342.22
Punto de Fusión	-23 °C
Punto de Ebullición	Descomposición después de la ebullición
Punto de Inflamación	No es inflamable
Solubilidad	150 mg/L a 20°C
Densidad	1.32 g/cm^3 a 20°C
Presión de Vapor	5.6 x 10^{-5} Pa a 25°C
Contante Ley de Henry	9.20x 10^{-5} Pa.m^3/mol a 25°C
Coeficiente de adsorción normalizada (Koc)*	656
Coeficiente de partición n-octanol/agua log Kow	3.72 a 20°C (pH 7)
DT$_{50}$ Suelos	214 días (fotólisis)
DT$_{50}$ Aguas	6 días (hidrólisis)

Fuente: (University of Hertfordshire, 2016) (Tapia Florez, Jerez Briones, & Moyano, 2015)*****

El movimiento del suelo y el potencial de lixiviación de propiconazol es limitada. La movilidad está restringida en suelos con alto contenido de arcilla montmorillonita y / o materia orgánica. Además, su movimiento es menor en suelos ácidos. La lixiviación en suelos que son ácidos, y alto contenido de arcilla y materia orgánica se limitarán a las 2-3 pulgadas superiores. Por lo tanto, la lixiviación en las aguas subterráneas es poco probable. En un suelo aeróbico bajo condiciones

controladas, el suelo vida media de propiconazol marcado con varia de 30 a 112 días. (Extension Toxicology Network, 1997)

El propiconazol se fotodegrada a la luz solar, esta transformación es más rápida en aguas naturales; las sustancias húmicas contenidas en las aguas naturales pueden influir en esas reacciones ya que la fotodegradación del propiconazol se estimula con los ácidos húmicos. Su vida media es de 50 a 70 horas en aguas naturales. (FAO & WHO, 2007)

El Propiconazol se absorbe fácilmente por los tejidos de las plantas, y es transportado sistémicamente en la planta. Por lo tanto, las hojas que emergen después de la aplicación también estarán protegidos de la infección por hongos. El movimiento sistémico es predominantemente hacia arriba (desde la raíz hasta follaje, o las hojas inferiores a las superiores), pero la translocación a la baja limitada también se produce. (Extension Toxicology Network, 1997)

7.2.2. Significancia del riesgo

Para la caracterización del riesgo se tuvo en cuenta la legislación expedida por la Comisión Europea, teniendo en cuenta que PRIMORIS LAB (laboratorio donde se realizaron los análisis de plaguicidas en lechugas) soporta sus resultados de laboratorio en los límites máximos de residuos establecidos en dicha entidad. A continuación, se realiza la comparación pertinente:

Tabla 14. Límite Máximo de Residuos en lechuga.

Sustancia	Hortaliza	Resultado obtenido en laboratorio (mg/Kg)	LMR¨ (mg/Kg)
Difenoconazol	Lechuga	0.32	3
Metamidofos	Lechuga	0.040	0.01
Propiconazol	Lechuga	0.11	0.05

¨Límite Máximo de Residuos de Plaguicidas en productos destinados a la alimentación (European Commission, 2016)

Fuente: (Autoras, 2016)

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 14, se afirma que la concentración de difenoconazol no genera riesgo para la salud humana por el consumo de lechuga, ya que el LMR no es superado, en cambio para las sustancias de Metamidofos y Propiconazol se presentan en los análisis realizados valores mayores a los de LMR lo cual puede causar riesgo significativo para la población.

Por otro lado, se tuvo en cuenta también la clasificación toxicológica y niveles de riesgo estipulados por la OMS, para los cuales, se hace necesaria información adicional acerca de parámetros toxicológicos obtenidos a partir de estudios epidemiológicos en animales como la DL_{50}. Dicho valor, depende del estado de formulación de la sustancia en estudio.

En la Tabla 15 se puede evidenciar la clasificación toxicológica y el nivel de riesgo para la sustancia difenoconazol según los parámetros de la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 15. Clasificación toxicológica y nivel de riesgo para el difenoconazol según la OMS.

Difenoconazol	
Formulación	Sólida
DL_{50} Oral (Ratas)	1453 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	>2010 mg/Kg¨
Comparación OMS	▪ Oral: 500 – 2000 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: >1000 mg/Kg¨¨
Nivel de Riesgo	III: Poco peligroso ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009)

Fuente: (Autoras, 2016)

En la Tabla 16 se puede evidenciar la clasificación toxicológica y el nivel de riesgo para la sustancia metamidofos según los parámetros de la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 16. Clasificación toxicológica y nivel de riesgo para el metamidofos según la OMS.

Metamidofos	
Formulación	Sólido
DL_{50} Oral (Ratas)	30 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	No Aplica

Comparación OMS	▪ Oral: 5 - 50 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: 10 - 100 mg/Kg¨¨
Nivel de Riesgo	Ib: Muy peligroso (Tóxico) ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009)

Fuente: (Autoras, 2016)

En la Tabla 17 se puede evidenciar la clasificación toxicológica y el nivel de riesgo para la sustancia Propiconazol según los parámetros de la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 17. Clasificación toxicológica y nivel de riesgo para el propiconazol según la OMS.

Propiconazol	
Formulación	Líquida
DL_{50} Oral (Ratas)	958 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	>4000 mg/Kg¨
Comparación OMS	▪ Oral: 200 – 2000 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: >4000 mg/Kg¨¨
Nivel de Riesgo	II: Moderadamente peligroso ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Organización Panamericana de la Salud, OPS , 2009)

Fuente: (Autoras, 2016)

De acuerdo a la normatividad colombiana, los placidas se pueden clasificar según su nivel de toxicidad, teniendo en cuenta lo estipulado por el Decreto 4368 de 2006 del Ministerio de Salud. Para ello, deben tenerse en cuenta las DL_{50} oral y dérmica en ratas para las sustancias encontradas, además para este caso específico, se tendrá en cuenta la DL_{50} por inhalación, debido a que la norma lo recomienda para sustancias volátiles.

Tabla 18. Nivel de toxicidad del difenoconazol según Decreto 4368/2006

Difenoconazol	
Formulación	Sólida
DL_{50} Oral (Ratas)	1453 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	>2010 mg/Kg¨
DL_{50} Inhalación (Ratas)	>3.3
Comparación OMS	▪ Oral: >500 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: >1000 mg/Kg¨¨ ▪ Inhalación: >20

Nivel de Riesgo	IV: Ligeramente Tóxico ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Ministerio de Salud, 2006)

Fuente: (Autoras, 2016)

Tabla 19. Nivel de toxicidad del metamidofos según Decreto 4368/2006

Metamidofos	
Formulación	Sólido
DL_{50} Oral (Ratas)	30 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	No Aplica
DL_{50} Inhalación (Ratas)	0.212 mg/Kg¨
Comparación OMS	▪ Oral: 5-50 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: 10- 100 mg/Kg¨¨ ▪ Inhalación: >20
Nivel de Riesgo	IV: Ligeramente Tóxico ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Ministerio de Salud, 2006)

Fuente: (Autoras, 2016)

Tabla 20. Nivel de toxicidad del propiconazol según Decreto 4368/2006

Propiconazol	
Formulación	Líquido
DL_{50} Oral (Ratas)	958 mg/Kg¨
DL_{50} Dermal (Ratas)	>4000 mg/Kg¨
DL_{50} Inhalación (Ratas)	5.8 mg/Kg¨
Comparación OMS	▪ Oral: 200 - 2000 mg/Kg¨¨ ▪ Dermal: >4000 mg/Kg¨¨ ▪ Inhalación: >20
Nivel de Riesgo	IV: Ligeramente Tóxico ¨¨

¨ (University of Hertfordshire, 2016) ¨¨ (Ministerio de Salud, 2006)

Fuente: (Autoras, 2016)

De acuerdo con la IARC (International Agency for Research on Cancer) se establece que las tres sustancias encontradas en la muestra son clasificadas en el grupo 4, el cual indica que es probablemente no cancerígeno para los seres humanos. (IARC , 2016)

7.3. Estimación de la exposición

7.3.1. Escenario de exposición

El escenario de exposición, hace referencia a la finca piloto, de acuerdo al uso del suelo que se ha destinado en el lugar como se puede evidenciar en la Figura 12.

Figura 12. Usos del suelo en la Finca San Rafael

Fuente: (Autoras, 2016)

Teniendo en cuenta, que la finca se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Madrid, donde predominan suelos con características fisicoquímicas aptas para el cultivo de gran variedad de productos hortofrutícolas; es común que el escenario de exposición evaluado esté influenciado por una diversidad de plaguicidas de distintas naturalezas y con usos específicos (Ver Figura 13).

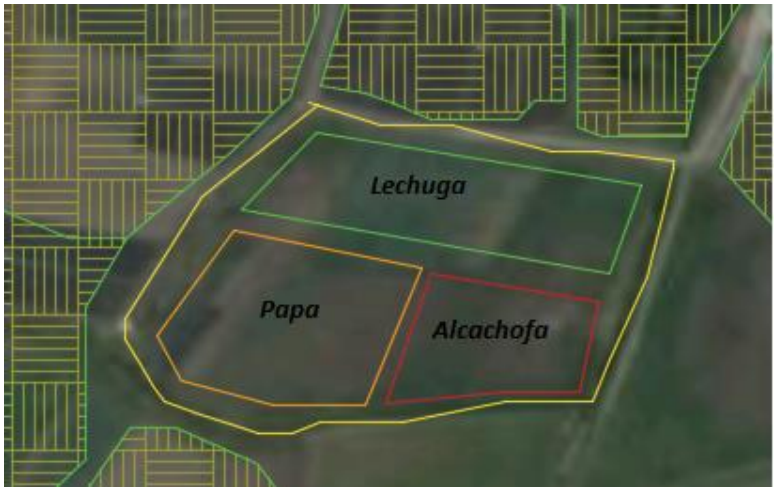


Figura 13. Escenario de exposición por plaguicidas

Fuente: (Autoras, 2016)

7.3.2. Caracterización del escenario de exposición

La caracterización del escenario de exposición, permite relacionar la acción de los plaguicidas y las poblaciones potencialmente expuestas. Los plaguicidas tienen efecto en distintos compartimentos medioambientales; para este caso, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de los compuestos se establece que el difenoconazol, metamidofos y propiconazol tienen especial influencia en el medio aire, agua y suelo, en los que se produce la introducción y transporte de los contaminantes. Además de esto, las lechugas cultivadas son consideradas la principal ruta de exposición, debido al contacto permanente que tienen con los diferentes compartimentos ambientales, por lo que también se evalúa la introducción y el transporte de los compuestos en las hortalizas.

Dentro de la caracterización del escenario de exposición, se realizó la descripción de la población que se encuentra directa e indirectamente influenciada por la exposición a los plaguicidas utilizados en el cultivo de lechuga.

7.3.2.1.Identificación de las rutas de exposición

Se establecieron dos posibles rutas, teniendo en cuenta la aplicación y características fisicoquímicas de los plaguicidas utilizados en la finca piloto. La primera de ellas, hace referencia a una ruta indirecta de exposición en la cual se consideran los diferentes medios (aire, agua, suelo, sedimentos, aerosoles, seres vivos) donde los plaguicidas pueden tener gran influencia debido a sus propiedades fisicoquímicas. La segunda ruta, es una ruta de exposición directa donde se considera a la lechuga como punto de contacto entre la población expuesta y los plaguicidas.

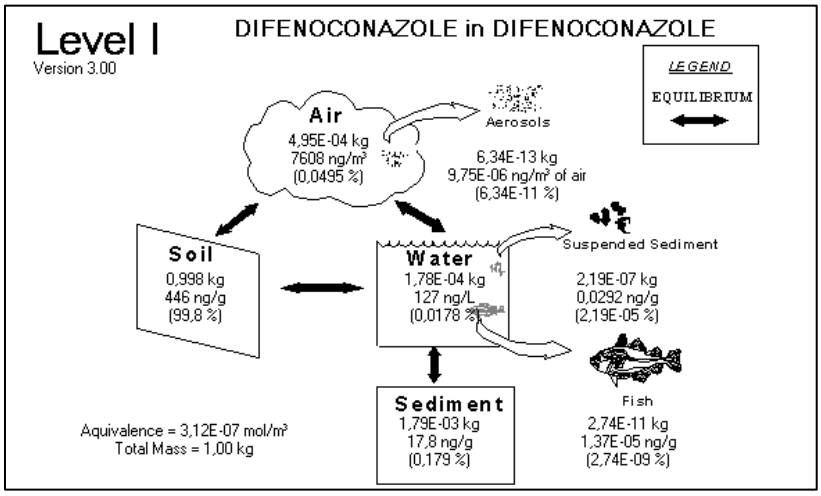
7.3.2.1.1. Ruta indirecta de exposición

La ruta indirecta de exposición está basada en la evaluación del comportamiento de los plaguicidas en estudio en el ambiente. Dicha ruta consta de compartimentos medioambientales interconectados, entre los que se establece un flujo de contaminante en el que intervienen fenómenos de transporte y distribución (Moreno Grau, 2003). Para ello, se usó el programa ACTS Level I, el cual toma la distribución entre fases del contaminante en equilibrio de acuerdo a un balance de masas entre los medios, este no considera pérdidas por otros fenómenos, por lo que se entiende como un caso artificial.

Es importante aclarar, que para la modelación de los plaguicidas, fue necesario establecer un escenario de exposición involucrando los medios, agua, aire y suelo, de acuerdo al volumen y área que ocupan en la finca piloto (Ver Anexo D). Los resultados para la distribución de cada uno de los plaguicidas en los medios, se resumen a continuación:

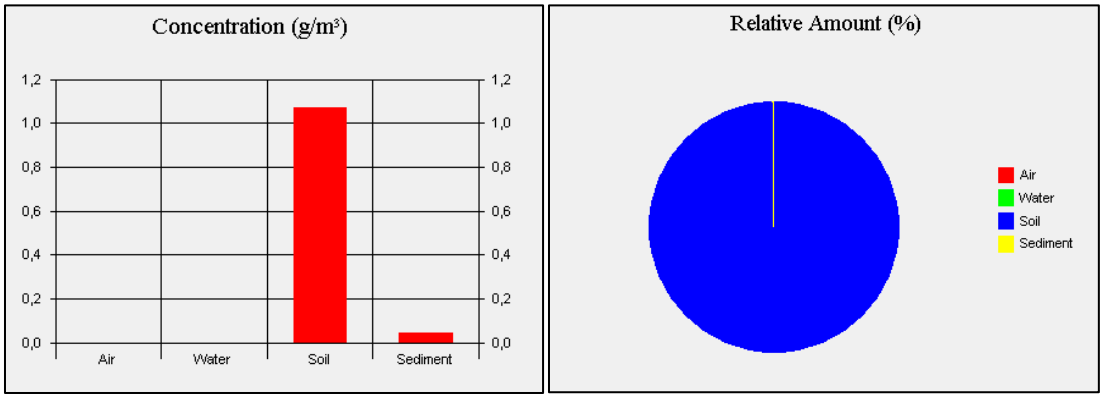
7.3.2.1.1.1. Difenoconazol

Figura 14. Modelación de difenoconazol con su respectiva distribución en los medios involucrados.



Fuente: (Autoras, 2016)

Figura 15. Distribución del difenoconazol en los medios involucrados.

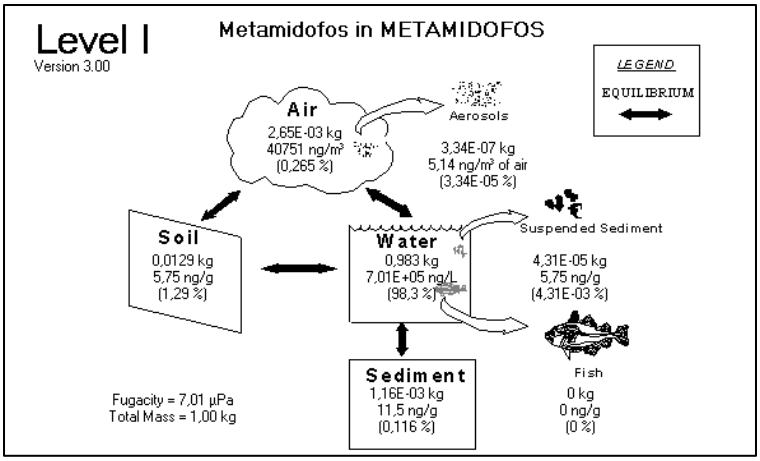


Fuente: (Autoras, 2016)

Teniendo en cuenta el análisis de las características fisicoquímicas del difenoconazol, descritas en la sección 1.1.1.3.2., se afirmó que el compuesto es altamente persistente en el suelo, que debido a su alta tasa de degradación en el agua disminuye su disponibilidad de presentarse en este medio, y que teniendo en cuenta su presión de vapor alta, puede volatilizarse rápidamente. Lo anterior, se confirma de acuerdo a los resultados obtenidos por el modelo Level I, ya que la mayor concentración de difenoconazol se encuentra en el suelo y no hay presencia del mismo en los medios, agua y aire.

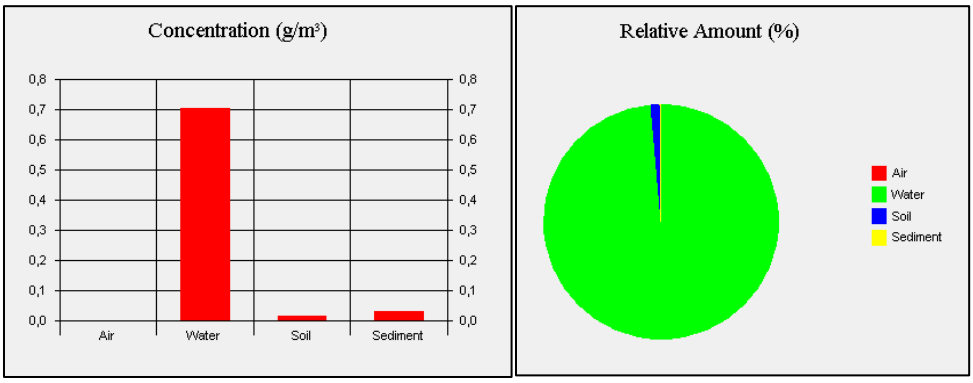
7.3.2.1.1.2. Metamidofos

Figura 16. Modelación del metamidofos con su respectiva distribución en los medios involucrados.



Fuente: (Autoras, 2016)

Figura 17. Distribución del metamidofos en los medios involucrados.

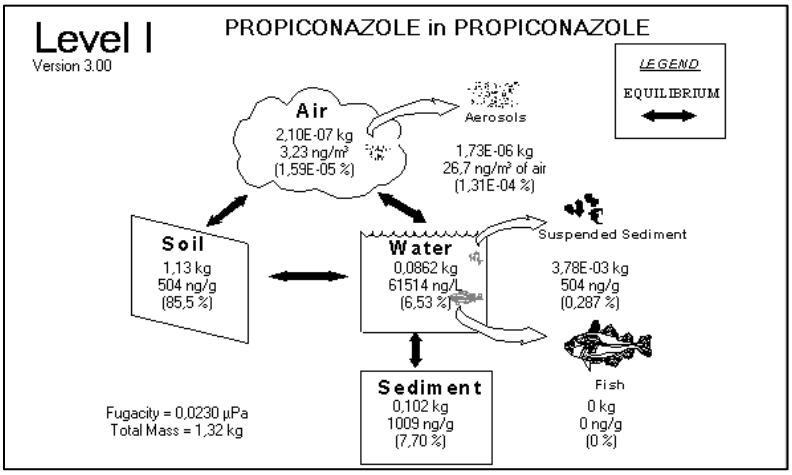


Fuente: (Autoras, 2016)

Según el análisis de las características fisicoquímicas del metamidofos de la sección 1.1.1.3.3., el compuesto presenta una alta movilidad en el suelo y una alta lixiviación, por lo que su presencia en el suelo será casi nula. Una vez el metamidofos atraviesa el perfil del suelo puede llegar al medio agua, donde debido a su baja tasa de degradación, puede bioacumularse en el agua. Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el Level I, se observa que la mayor concentración de metamidofos se encuentra en el agua, y otra muy pequeña en el suelo, debido a la presencia del contaminante como metabolito.

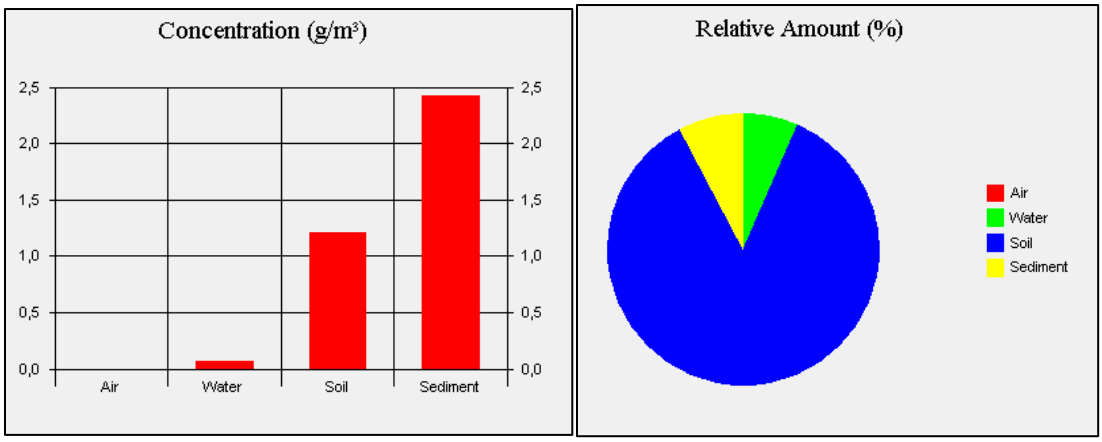
7.3.2.1.1.3. Propiconazol

Figura 18. Modelación del propiconazol con su respectiva distribución en los medios involucrados



Fuente: (Autoras, 2016)

Figura 19. Distribución del propiconazol en los medios involucrados.



Fuente: (Autoras, 2016)

El propiconazol, según sus características fisicoquímicas, es una sustancia que posee baja movilidad en los suelos y su potencial de lixiviación es limitado, debido a que se desarrolla en condiciones de pH ácido. La baja movilidad en el suelo, hace del propiconazol, una sustancia persistente en el suelo con una tasa de degradación baja con la posibilidad de bioacumularse en los

sedimentos del suelo. El poco contacto que tiene con el agua no implica una persistencia en el medio, debido a su solubilidad. Lo anterior, permite corroborar y verificar los resultados obtenidos en Level I, donde el propiconazol se presenta en el suelo y sedimentos en concentraciones mucho mayores que las del agua.

7.3.2.1.2. Ruta directa de exposición

La ruta de exposición directa considera a la lechuga como punto de contacto como se observa en la Figura 20, teniendo en cuenta los plaguicidas encontrados en el análisis de residuos, y el destino del producto después de la etapa de cosecha (alimentación). Esto, debido a que de los tres plaguicidas encontrados en las lechugas, solo dos (propiconazol y difenoconazol) son aplicados directamente en el cultivo. El otro plaguicida (metamidofos) hace referencia a un producto que no es aplicado sobre el cultivo de lechuga directamente, sino a un plaguicida usado para erradicar plagas y enfermedades en otros cultivos que se desarrollan en la finca piloto.

La presencia de propiconazol en la lechuga, se debe a que en la finca piloto se usa el plaguicida Tilt 250 EC el cual tiene principio activo propiconazol, como fungicida para el control de hongos patógenos. El propiconazol posee la particularidad de ser absorbido fácilmente por los tejidos de la plantas y es transportado sistémicamente desde la raíz hasta el follaje, por lo que las hojas que emergen después de la aplicación poseerán una concentración específica de propiconazol (Extension Toxicology Network, 1997). Lo anterior, explica su presencia en las lechugas si se tiene en cuenta que el propiconazol se concentra en mayor medida en el suelo y su baja movilidad provoca su persistencia en el mismo, haciéndolo disponible para ser absorbido por la lechuga por medio de su raíz.

En la finca piloto se usa el fungicida SCORE 250 EC, con principio activo difenoconazol, como método de protección del cultivo. El plaguicida, solo se aplica antes del inicio del cultivo, directamente sobre el suelo lo que facilita su entrada al medio y su persistencia. Debido a que posee una tasa de degradación en suelo baja, el difenoconazol puede bioacumularse en el suelo, donde llega a ser absorbido directamente por las partes verdes de la lechuga, evitando su lixiviación por aguas lluvia.

El metamidofos se presenta en las lechugas de la finca piloto debido a una serie de fenómenos que suceden durante las fases de cultivo de la hortaliza, que involucran las características físicas del lugar en estudio, las características fisicoquímicas de los plaguicidas, las características fisicoquímicas de la lechuga, entre otras, que son de gran importancia a la hora de evaluar los residuos en los productos. El metamidofos, es el componente activo del fungicida Monitor Proficol, el cual es aplicado en los cultivos de papa que se desarrollan contiguos al cultivo de lechuga. Su presencia en las muestras de lechuga pueden deberse a distintas hipótesis:

El compuesto posee altos niveles de lixiviación y alta movilidad en el suelo, lo que hace que atraviese el perfil suelo llegando al compartimiento agua. Teniendo en cuenta que el cultivo de papa se ubica en un terreno con una pendiente relativamente alta, fenómenos como la escorrentía, pueden favorecer el movimiento del metamidofos hasta el cuerpo de agua utilizado como fuente de agua para riego. El agua de riego con presencia de metamidofos puede ser absorbida por las lechugas, implicando su presencia en las mismas.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que en la finca piloto, solo se dispone de una fumigadora que es lavada cada vez que se necesita aplicar un plaguicida diferente. El lavado, se realiza solo con agua, lo que puede implicar la presencia de pequeñas concentraciones de metamidofos en el interior de la fumigadora. Además, la presencia de metamidofos, se puede entender por la mezcla

de plaguicidas que se realiza en la finca piloto; la mezcla de plaguicidas se realiza con el fin de aumentar el efecto curativo de los compuestos y disminuir los tiempos de fumigación. Lo anterior, puede estar asociado con la presencia de residuos de metamidofos en la fumigadora, que pueden luego llegar a las lechugas, en el momento de la aplicación de los plaguicidas pertinentes.

En general, la ruta de exposición de los plaguicidas implica la interacción del suelo con las hortalizas cultivadas y finalmente con las poblaciones aledañas a la fuente de emisión. En la Figura 19 se puede observar la ruta de exposición directa de los plaguicidas en estudio, desde que entran en contacto con la lechuga, hasta su llegada a los emisores (población).

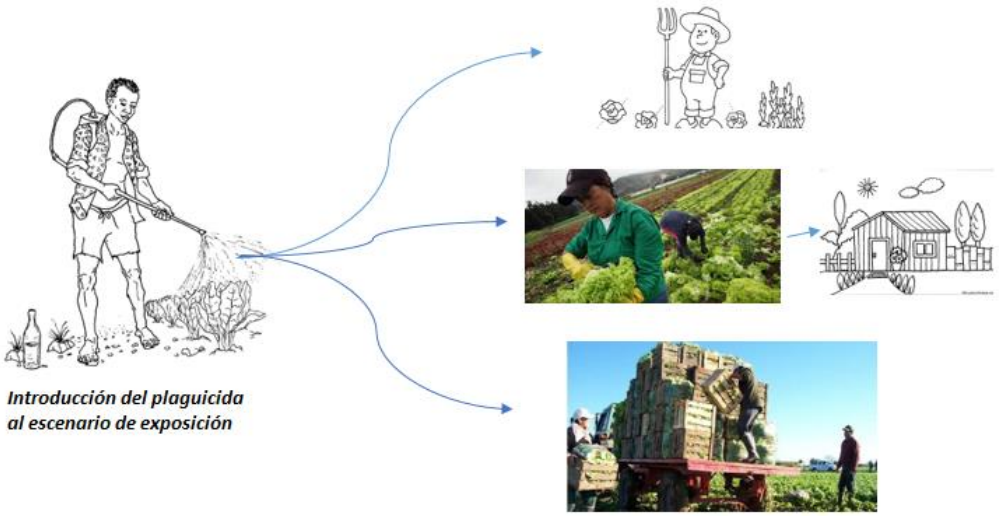


Figura 20. Ruta de exposición a los plaguicidas.
Fuente: (Autoras, 2016)

7.3.2.2.Descripción de la población

Dentro del escenario de exposición se ubicaron las poblaciones influenciadas directa e indirectamente por la introducción de los plaguicidas en el ambiente. Teniendo en cuenta los usos que se le otorgan al suelo, en la Finca San Rafael se encuentran diferentes tipos de población, las

cuales se caracterizaron por medio de una encuesta. A continuación, se resume la información obtenida a partir de las encuestas:

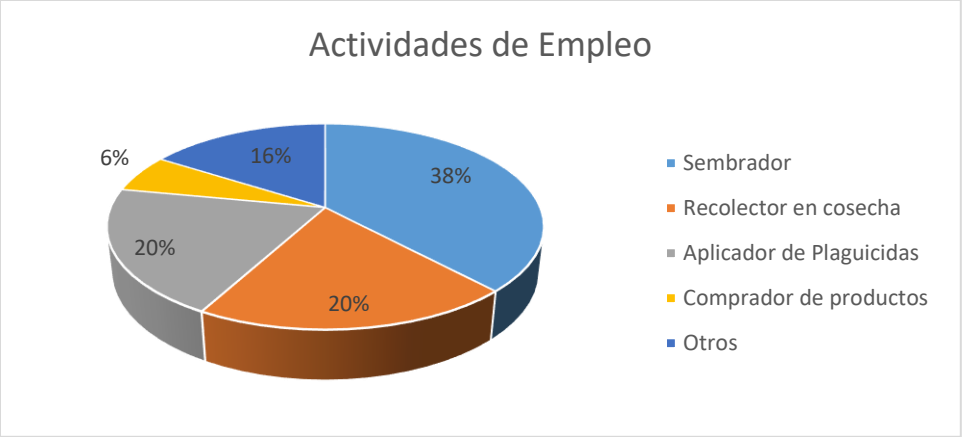
La encuesta fue realizada a las personas directa e indirectamente implicadas con la actividad agrícola que se realiza en la finca piloto, es así que se tomó una muestra de 50 personas que frecuentan la zona (Finca San Rafael), los resultados de la encuesta aplicada fueron los siguientes:

Gráfica 1. Nivel de estudios que presenta la población en la Finca San Rafael.

Fuente: (Autoras, 2016)

Como se puede observar en el Gráfico 1 la mayoría de las personas de la zona tienen una Educación Media incompleta (18 personas), lo que influyó directamente en su llegada a la zona de estudio para realizar actividades hortícolas que les permitan satisfacer sus necesidades básicas.

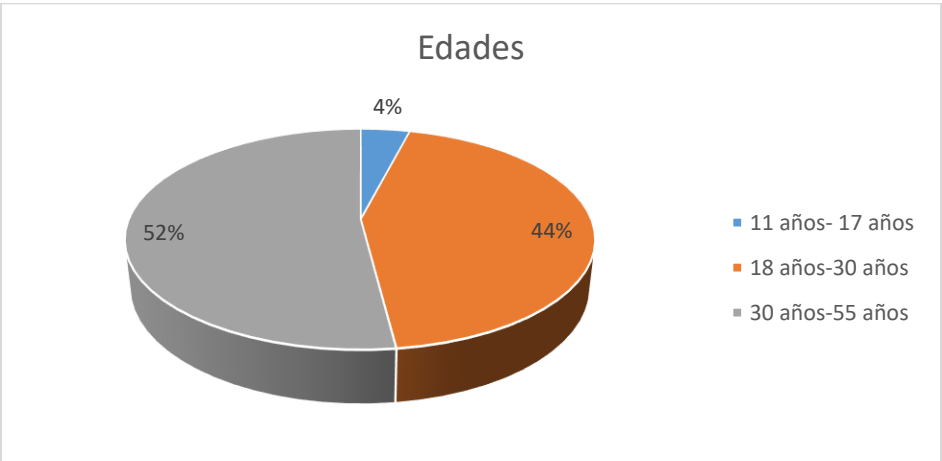
Gráfica 2. Actividades de empleo que desarrolla la población de la Finca San Rafael.



Fuente: (Autoras, 2016)

En la Finca San Rafael, las actividades hortícolas tienen gran acogida por el sector rural del municipio, debido a que el tipo de suelo de la zona permite desarrollar dichas actividades. La zona de estudio, se compone de 10 predios agrícola, donde es posible encontrar personas dedicas específicamente a la labor de cultivo teniendo en cuenta todas las actividades que esta implica. Adicionalmente, en la finca se desarrollan actividades industriales y comerciales, las cuales conforman el diagnóstico de empleo que se observa en la zona de estudio. En el Gráfico 2 se puede apreciar que la mayoría de las personas realizan la actividad de siembra (19 personas) como forma de empleo.

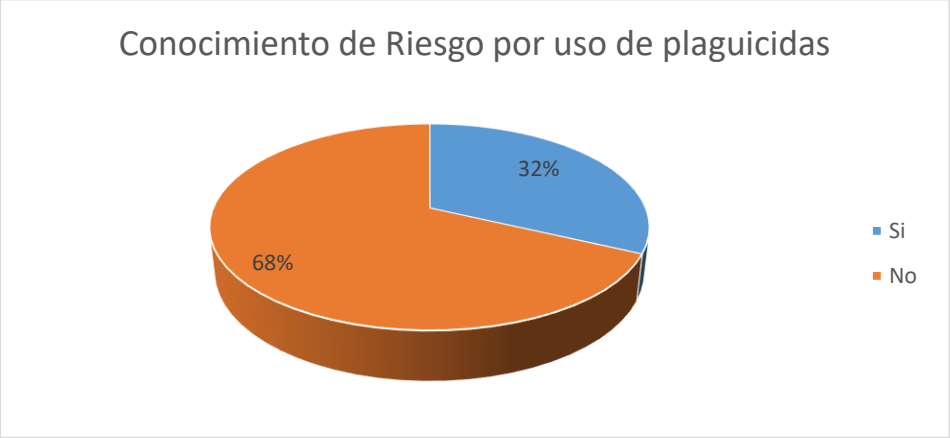
Gráfica 3. Edades de la población en la Finca San Rafael



Fuente: (Autoras, 2016)

Según el Gráfico 3, en la zona de estudio, solo se encuentran dos menores de edad que residen en la Finca San Rafael. La mayoría de las personas se encuentra en el rango de edad entre los 30 y 55 años (26 personas).

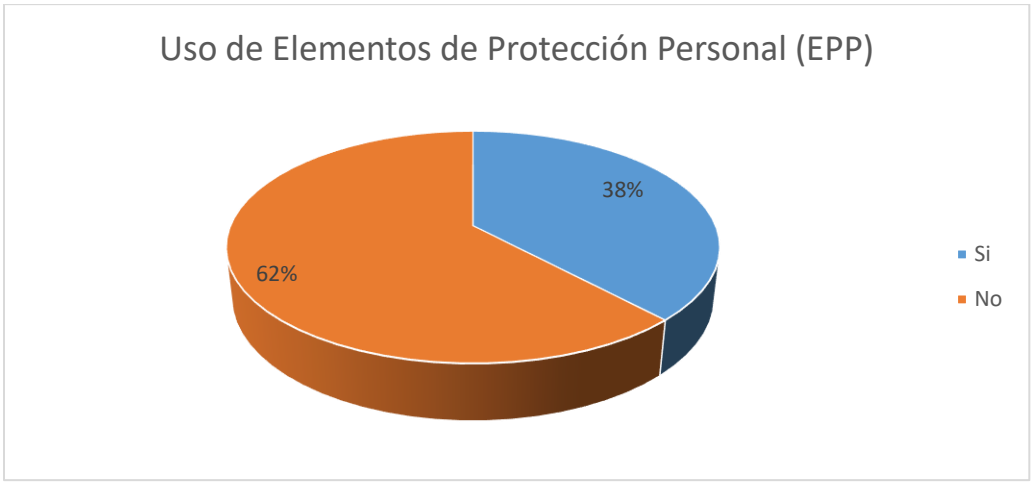
Gráfica 4. Conocimiento de riesgos por uso y contacto de plaguicidas por parte de la población en la Finca San Rafael.



Fuente: (Autoras, 2016)

En el Gráfico 4, se establece que sólo un 32%de la población en la zona, tiene conocimiento acerca del riesgo existente por el uso de plaguicidas. Un porcentaje bajo, si se tiene en cuenta que el 78% de la población se dedica a las actividades hortícolas, y que la mayoría de estas personas han tenido una exposición permanente a los plaguicidas.

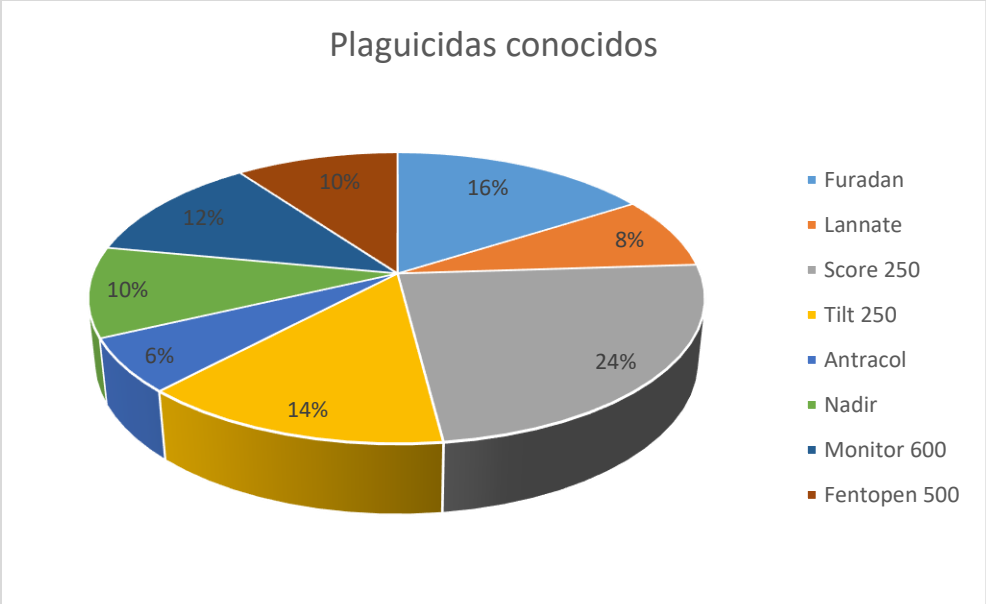
Gráfica 5. Uso de elementos de protección personal de la población dedicada a las actividades hortícolas en la Finca San Rafael.



Fuente: (Autoras, 2016)

El Gráfico 5, evidencia que solo el 38% de la población dedicada a las actividades hortícolas, usa elementos de protección personal para la aplicación de los plaguicidas necesarios para el mantenimiento de los cultivos. Sin embargo, no se usan los EPP adecuados para dichas actividades, lo que aumenta el riesgo de toxicidad por plaguicidas.

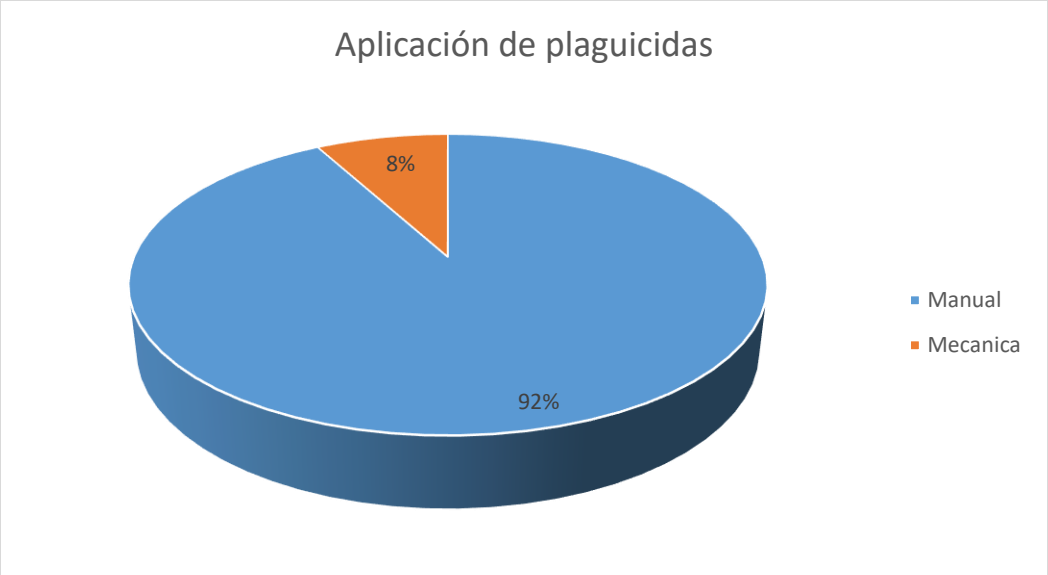
Gráfica 6. Plaguicidas conocidos por parte de los agricultores en la Finca San Rafael.



Fuente: (Autoras, 2016)

El gráfico 6, permite apreciar los plaguicidas más conocidos por la población dedicada a las actividades hortícolas, y por ende los más utilizados. Se observa, que el plaguicida más utilizado para la erradicación de plagas y enfermedades, es el SCORE 250, el cual tiene como principio activo difenoconazol; debido a que es uno de los plaguicidas con más oferta comercial y de fácil acceso económico para los agricultores.

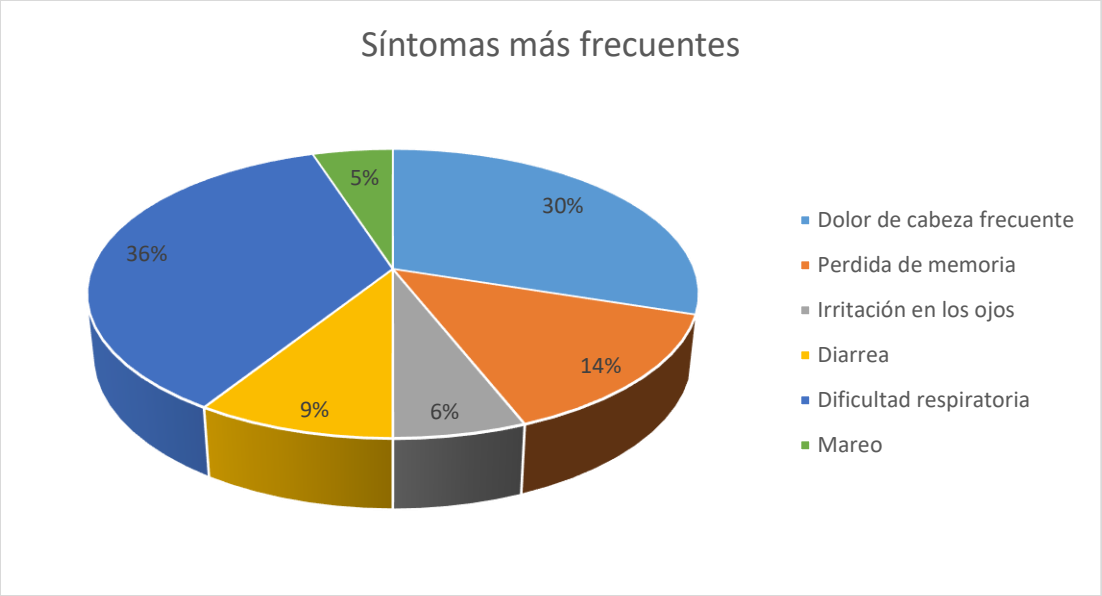
Gráfica 7. Tipo de aplicación de plaguicidas



Fuente: (Autoras, 2016)

Teniendo en cuenta que gran parte de las los cultivos llevados a cabo en la Finca San Rafael, son de pequeña y mediana escala, es evidente que las prácticas realizadas allí sean artesanales, sin ningún tipo de tecnificación. Lo anterior, se puede comprobar teniendo en cuenta que el 92% de la población dedicada a las actividades hortícolas realiza la aplicación de los plaguicidas manualmente; lo cual aumenta el riesgo de exposición a plaguicidas.

Gráfica 8. Síntomas más frecuentes de la población dedicada a las actividades hortícolas, durante el tiempo de labor agrícola.



Fuente: (Autoras, 2016)

Los síntomas más frecuentes que presentan los agricultores, son dificultad respiratoria (36%) y dolor de cabeza (30%), esto debido a la exposición directa e indirecta que presenta la población dedicada a las actividades hortícolas. Lo anterior, puede ser causado por el transporte de contaminantes en la atmosfera, en cultivos aledaños; y debido a la exposición prolongada al plaguicida en el momento de aplicación, en el cultivo piloto.

7.3.2.2.1. Ubicación de las poblaciones de acuerdo a la fuente de contaminación

A continuación se representan las poblaciones caracterizadas en el escenario de exposición, de acuerdo a su ubicación dentro de la Finca San Rafael, y la distancia de localización desde el cultivo de lechuga.

Figura 21. Localización de la población residencial con respecto al cultivo piloto.
Fuente: (Autoras, 2016)

La población residencial que se ubica dentro de la Finca San Rafael, se encuentra a una distancia de 21.7 Km como se observa en la Figura 21. Teniendo en cuenta dicha distancia se puede establecer que la población no se encuentra en contacto permanente con el escenario de exposición; sin embargo es importante tener en cuenta la predominancia de los vientos, ya que esta puede facilitar el transporte de los contaminantes a través de la atmósfera, implicando una ruta de exposición hacia la población. Es importante aclarar, que la población que reside en la Finca San Rafael, consume ocasionalmente lechugas cultivadas en la zona en estudio, por lo que las hortalizas son consideradas la principal ruta de exposición a los plaguicidas.

Por otro lado, las poblaciones de agricultores aledañas al cultivo piloto, se encuentran influenciadas por la introducción de los plaguicidas al ambiente, ya que son las principales rutas de exposición debido a que se consideran como compartimentos que facilitan el transporte de los contaminantes. El medio que más influencia tiene en el transporte de los contaminantes, es para este caso, el suelo, que puede transportar los residuos hacia el agua o el aire, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de los plaguicidas, como se mencionó en la sección 1.6.1.1.

7.3.2.2.2. Identificación de las vías de exposición

Las vías de exposición son el medio a través del cual se produce el contacto entre la población receptora y los plaguicidas. La evaluación de las vías de exposición se realizó teniendo en cuenta la información proporcionada por la siguiente matriz de la Tabla 16:

Tabla 16. Rutas y vías probables de exposición para distintos tipos de población potencialmente expuesta.

Ruta de exposición / Vía de exposición	Población residencial	Población comercial / industrial
AGUA SUBTERRÁNEA		
Ingestión	L	A
Cutánea	L	A
AGUA SUPERFICIAL		
Ingestión	L	A
Cutánea	L	A
SUELO / POLVO		
Ingestión accidental	L, C	A
Cutánea	L, C	A
AIRE		
Inhalación de vapores dentro de los edificios	L	A
Inhalación de vapores fuera de edificios	L	A
Inhalación de partículas dentro de edificios	L	A
Inhalación de partículas fuera de edificios	L	A
COMIDA		
Ingestión Pescado	L	
Ingestión Carne	L	
Ingestión Huevos	L	
Ingestión Verduras	L	

L: Exposición durante toda la vida **C:** Exposición en niños mayor que en adultos **A:** Exposición de adultos durante el período de actividad profesional **---:** No es probable que ocurra

Fuente: (Moreno Grau, 2003) Modificado por autores.

Teniendo en cuenta la Tabla 16, la población residencial es la que posee más vías de exposición, en cada una de las rutas evaluadas. Esto se debe a que la población residencial mantiene una exposición permanente a los agentes contaminantes introducidos y transportados en el ambiente donde se desarrollan las actividades que generan riesgo. La población industrial o comercial, posee

también bastantes vías de exposición que se generan sólo durante las actividades de actividad profesional y la relación que esta tenga con los medios de introducción y transporte de contaminantes.

Con base en la información proporcionada por la Tabla 13, se establecieron las diferentes rutas y vías de exposición para los diferentes tipos de población que se encuentran en la Finca San Rafael, conservando y evaluando las mismas variables de exposición en la Tabla 17:

Tabla 17. Rutas y vías de exposición para los distintos tipos de población potencialmente expuesta a la aplicación de plaguicidas en la Finca San Rafael.

Ruta de exposición / Vía de exposición	Población residencial	Población comercial / industrial
AGUA SUPERFICIAL		
Ingestión	L	A
Cutánea	L	A
SUELO / POLVO		
Ingestión accidental	---	A
Cutánea	---	A
AIRE		
Inhalación de vapores dentro de los edificios	L, C	A
Inhalación de vapores fuera de edificios	L, C	A
COMIDA		
Ingestión Lechugas	L	L

L: Exposición durante toda la vida **C:** Exposición en niños mayor que en adultos **A:** Exposición de adultos durante el período de actividad profesional **---:** No es probable que ocurra

Fuente: (Autoras, 2016)

Cabe aclarar, que las vías de exposición a plaguicidas, se encuentras directamente relacionadas con la frecuencia y tiempos de exposición de la población. En la Finca San Rafael, los períodos de exposición son muy variables debido a los diferentes usos del suelo que se han adoptado en la zona de estudio, la frecuencia de exposición para los sectores agrícola, industrial y comercial es de lunes a viernes durante el horario laboral. A continuación en la Tabla 18 se resumen los períodos de exposición que presentan los diferentes tipos de población de la Finca San Rafael:

Tabla 18. Frecuencia y períodos de exposición de la población en la Finca San Rafael.

Tipo de Población	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición
Residencial	Permanente	24 h / día
Agrícola	Lunes – Sábado	8h (entre semana) 5h (sábados)
Industrial/Comercial	Lunes - Sábado	8h (entre semana) 5h (sábados)
Población Flotante agrícola	Depende de los días de cosecha.	8h (entre semana) 5h (sábados)

Fuente: (Autoras, 2016)

7.4. Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo, es la última fase de la evaluación toxicológica y tiene como eje principal evaluar el nivel de riesgo cuantitativo al que se encuentra expuesta la población de la Finca San Rafael. Para ello, se hace necesario realizar una evaluación de toxicidad, basada en la recopilación de información pertinente, que permita establecer las cantidades de sustancias tóxicas a las que se encuentra expuesto el ser humano y que puede implicar un riesgo para su salud.

7.4.1. Índice de Toxicidad D_dR

Para determinar el nivel de riesgo, se establecieron los posibles efectos cancerígenos que poseen o no los compuestos en estudio, además de los índices de toxicidad que representan los diferentes modos de acción de las sustancias teniendo en cuenta los distintos períodos de exposición y vías de exposición. La información toxicológica enunciada anteriormente, se obtuvo a partir del Sistema IRIS, una base de datos que contiene información actualizada sobre toxicidad (Peña, Carter, & Ayala, 2001).

En la Tabla 19 se presenta el índice de toxicidad utilizado para la respectiva caracterización del riesgo es la Dosis de Referencia (DdR), y posee los siguientes valores para las sustancias en estudio

Tabla 19. Dosis de Referencia, DdR para las sustancias en estudio.

Sustancia	Dosis de Referencia DdR (Vía Oral)
Difenoconazol	No hay información¨
Metamidofos	5 mg/Kg/día
Propiconazol	1.3 mg/Kg/día

Fuente: (EPA, 2016)

Debido a que la información para DdR del difenoconazol, no está disponible en el Sistema IRIS, fue necesario calcularla de la siguiente manera como se evidencia en la Ecuación 1:

$$D_dR = \frac{NOAEL}{FI_s * FM}$$

Ecuación 1. Dosis de Referencia

Donde:

NOAEL: Nivel de exposición experimental que representa el máximo nivel privado al cual no se observan efectos tóxicos, este dato se obtiene de los estudios de Dosis/ Respuesta. Para difenoconazol equivale a 20 mg/Kg/día según (University of Hertfordshire, 2016);

FI_s: Se usa un FI de 10 cuando el NOAEL se obtuvo de experimentos con animales y se quiere extrapolar los resultados para determinar los niveles protectores para el hombre. Este factor tiene por objeto tomar en cuenta las diferencias interespecies entre el hombre y los animales de estudio

FM: Se aplica un FM entre 0 y 10 para reflejar una evaluación cualitativa profesional de las incertidumbres adicionales en el estudio crítico y en la base de datos que no se hayan mencionado entre los FI precedentes. El valor normal del FM es 1.

Con lo anterior, se calculó la Dosis de Referencia DdR del difenoconazol, usando la Ecuación 1:

$$\boldsymbol{D_dR = \frac{20 \frac{mg}{Kg.día}}{10 * 1}}$$

$$\boldsymbol{D_dR = 2 \frac{mg}{Kg.día}}$$

7.4.2. Estimación del Riesgo

Una vez obtenido el Índice de Toxicidad DdR para cada una de las sustancias en estudio, se procede a determinar el potencial de toxicidad en la población de la Finca San Rafael usando la ecuación 2, que se denomina Coeficiente de Peligro, y se describe así:

$$Riesgo = \frac{Ds}{D_dR}$$

Ecuación 2. Nivel de Riesgo asociado a la toxicidad

Donde:

Ds: Es la dosis suministrada, es decir la dosis encontrada en las lechugas de cada una de los componentes activos.

D_dR: Dosis de Referencia

La Tabla 19, resume los valores obtenidos para el nivel de riesgo, teniendo en cuenta las dosis suministradas de cada una de las sustancias en estudio:

Tabla 20. Nivel de riesgo asociado a la toxicidad por difenoconazol, metamidofos y propiconazol.

Sustancia	Dosis Suministrada	Dosis de Referencia DdR	Riesgo
Difenoconazol	0.32 mg/Kg/día	2 mg/Kg/día	0.16
Metamidofos	0.040 mg/Kg/día	5 mg/Kg/día	0.008
Propiconazol	0.11 mg/Kg/día	1.3 mg/Kg/día	0.08

Fuente: (Autoras, 2016)

Las tres sustancias encontradas en la muestra de lechuga se establecen que no presentan un riesgo significativo por ingestión, ya que ninguno supera el valor máximo de riesgo (1). (Peña, Carter, & Ayala, 2001). Es importante tener en cuenta que la población puede estar expuesta a riesgo por otros medios como lo son por inhalación o contacto cutáneo.

8. Medidas de Manejo Ambiental

Es importante tener en cuenta el daño que genera el desarrollo de actividades agrícolas tanto en el ambiente como la afectación directa a la salud humana, es así que se debe tener una planificación remediadora en la que los contaminantes deben ser disminuidos y los residuos después de haber sido generados hacia una preventiva, cuyo principal objetivo es introducir en el proceso de producción las modificaciones necesarias para minimizar tanto la generación de residuos y efluentes como la utilización de sustancias tóxicas que generan alteraciones considerables. (UNEP, 2010)

Es así que la prevención de riesgos en el manejo de plaguicidas es uno de los temas fundamentales desde el punto de vista de la salud pública, por lo cual es indispensable la ejecución de actividades para así incentivar Mejores prácticas agrícolas, para asegurar la inocuidad, la protección ambiental y el bienestar tanto de los trabajadores como de los pobladores y habitantes de la zona. (UNEP, 2010). Como estrategia de prevención es importante que la contaminación siempre que se pueda, se debe evitar en la fuente, en este caso realizando reducciones importantes y modificaciones en la tecnología, procesos o procedimientos, es indispensable tener en cuenta estos aspectos iniciales para la mejora y la prevención del riesgo tanto al ambiente como al hombre.

El manejo inadecuado de los plaguicidas origina contaminación del agua, el aire, el suelo y los alimentos y de esta forma pone en peligro a más de una especie viviente. La conservación del medio ambiente es responsabilidad de todos. Quienes participen de alguna manera en el uso y manejo de plaguicidas, empezando por la investigación y terminando con la disposición de remanentes y envases, deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la contaminación del ambiente por estas sustancias. Durante las operaciones que generalmente llevan a cabo los

trabajadores agrícolas, (preparación de mezclas, llenado de equipos, aplicación, limpieza de equipos, disposición de remanentes y envases), se debe poner el máximo cuidado para evitar la contaminación de las fuentes de agua, el aire, el suelo, los animales domésticos y a los alimentos. (UNEP, 2010).

FICHA # 1.A. PROGRAMA EDUCACIÓN Y CAPACITACIÓN	
OBJETIVOS	
	✓ Brindar un buen conocimiento de las características de los compuestos, para permitir que los agricultores obtengan mejores resultados y reduzcan tanto los riesgos como las consecuencias de una intoxicación o contaminación con estos productos.
IMPACTO AMBIENTAL	
○ Aplicación de dosis incorrectas de plaguicidas y desconocimiento de estos compuestos lo que ha generado, afectación directa al ambiente y a la salud humana	***CORRECCIÓN-MITIGACIÓN***
SOLUCIONES A DESARROLLAR	
○ Al operador se le debe dar a conocer el tipo de material que aplicará y los riesgos que correrá él, los otros trabajadores, las plantas y los animales benéficos con su uso.	
○ Organizar un programa de capacitación para los aplicadores y antes de cada aplicación se les debe prevenir sobre los peligros y cuidados que se deben tener.	
CRONOGRAMA	***TECNOLOGIAS UTILIZADAS***
Un (1) mes de planeación	Preparación de capacitación con la UMATA de Madrid
Dos (1) meses de implementación	Desarrollo de capacitaciones y pruebas en casetas de muestra para los cultivos de la finca San Rafael
Un (1) mes de verificación	Análisis por medio de monitoreo en casetas ubicadas en la zona teniendo en cuenta, indicadores de calidad del suelo.
SEGUIMIENTO Y MONITOREO	
Revisión continua de parámetros de calidad del suelo inicialmente	
INDICADORES	
$Capacitaciones = \frac{Número\ de\ personas\ capacitadas}{Potblación\ total\ de\ la\ Finca\ San\ Rafael}$	
RESULTADOS ESPERADOS	***OBSERVACIONES***
Agricultores y aplicadores con conocimientos de los peligros y condiciones básicas que se deben tener para la prevención del riesgo con respecto a la dosificación y aplicación adecuada	

LUGAR DE APLICACIÓN	***PERSONAL***	***RESPONSABLES***	***COSTOS***
Finca San Rafael	Toda la población de la zona	UMATA	-----

FICHA # 1.B. USO DE ROPA Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
OBJETIVOS	
	✓ Incentivar el uso de la protección personal, principalmente a las personas dedicadas a la aplicación de los plaguicidas en la zona
IMPACTO	
○ Actualmente no se tiene un control adecuado de uso de implementos lo cual genera y está exponiendo a la población a un mayor riesgo y contacto que puede llegar a causar intoxicación por este tipo de sustancias	***CONTROL***
SOLUCIONES A DESARROLLAR	
Capacitaciones con los operarios para el uso de dicha protección	
Una forma adecuada de reducir los riesgos consiste en realizar una rotación de los trabajadores por las diferentes operaciones o en disminuir el tiempo dedicado por los trabajadores a las operaciones de mayor riesgo.	
Determinar tipo y cantidad de protección necesaria, para así tener un rango de clasificación de plaguicida utilizado, en particular su toxicidad, concentración y formulación.	
CRONOGRAMA	***TECNOLOGIAS UTILIZADAS***
Una (1) mes de planeación	Capacitaciones para operarios
Tres (1) meses de implementación	Teniendo en cuenta el apoyo de la UMATA, se debe tener en cuenta la dotación para los agricultores de la zona para evitar riesgos
Tres (1) semanas de verificación	Control de aplicación en cada cultivo de plaguicida con traje adecuado según toxicidad o plaguicida a usar
SEGUIMIENTO Y MONITOREO	

<table>
<tr><td colspan="4">Se dictaran charlas de la importancia y el riesgo que se tiene, lo cual se incentivara más por parte de la comunidad a tener conciencia para el uso de los implementos necesarios</td></tr>
<tr><td colspan="4">INDICADORES</td></tr>
<tr><td colspan="4">$$\frac{Número\ de\ personas\ con\ dotación}{Potblación\ total\ de\ la\ Finca\ San\ Rafael}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">RESULTADOS ESPERADOS</td><td colspan="2">OBSERVACIONES</td></tr>
<tr><td colspan="2">Reducir el riesgo de intoxicación y enfermedades causadas por la aplicación y contacto directo de plaguicidas</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>LUGAR DE APLICACIÓN</td><td>PERSONAL</td><td>RESPONSABLES</td><td>COSTOS</td></tr>
<tr><td>Finca San Rafael</td><td>Agricultores y aplicadores de plaguicidas</td><td>UMATA</td><td>----</td></tr>
</table>

FICHA # 1.C PROGRAMA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

OBJETIVOS

- ✓ Establecer un manejo adecuado del almacenamiento de los residuos peligrosos que son generados por los residuos de los plaguicidas usados en la zona

IMPACTO

Se genera enterramiento y disposición de residuos plásticos donde viene el plaguicida en la fuente hídrica cercana afectando estos medios y generando riesgo a la comunidad	***CORREGIR***

SOLUCIONES A DESARROLLAR

Instalar un centro de acopio para toda la Finca San Rafael para recolectar todos los residuos de este tipo y generar así una solución para toda la zona como tal

CRONOGRAMA	*TECNOLOGIAS UTILIZADAS*
Un (1) mes de planeación	• Diseño de centro de acopio para residuos
Un (1) mes de implementación	• Construcción por parte de la comunidad de un centro de acopio de residuos, con vigilancia por parte de la alcaldía y control para disposición final de este tipo de residuos.
Dos (1) meses de verificación	

SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Por parte de la alcaldía se requiere un plan de gestión de este tipo de residuos ya que este municipio es en su mayoría agrícola y posee este gran problema en varios de sus predios

INDICADORES

Total de recipientes y peso de residuos destinados de mejor manera.

RESULTADOS ESPERADOS		***OBSERVACIONES***	
Disposición adecuada de residuos peligrosos			
LUGAR DE APLICACIÓN	***PERSONAL***	***RESPONSABLES***	***COSTOS***
Finca San Rafael	Toda la población de la zona	Comunidad	----

9. Conclusiones

Una vez evaluadas las concentraciones de componentes activos encontrados en las lechugas, se puede establecer que el metamidofos y propiconazol presentan valores por encima de los LMR estipulados por la Comisión Europea, (0.040 mg/Kg y 0.11 mg/Kg respectivamente). Lo anterior, debido a que el laboratorio donde se realizaron los análisis de toxicidad se basa en los estatutos de dicho ente regulador.

Según normatividad colombiana para los niveles de riesgo o peligro que presentan los plaguicidas, de acuerdo a dosis de referencia por vías de exposición oral, se establece que el metamidofos posee una clasificación IV que hace referencia a una sustancia ligeramente tóxica caso opuesto a la OMS que clasifica al metamidofos como 1b es decir, una sustancia muy peligrosa para el ser humano, esto debido a que a nivel mundial el uso de metamidofos se encuentra prohibido debido a las diversas afectaciones que implica para el ambiente y la salud humana.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el nivel de riesgo de las sustancias encontradas en lechugas, se establece que el difenoconazol representa el riesgo más alto por toxicidad para los seres humanos comparado con las otras dos sustancias estudiadas. A pesar de que está clasificado como tipo III: poco peligroso, la concentración con la que se encuentra en las lechugas (0.32 mg/Kg) es mayor que las de las otras dos sustancias, generando un mayor cociente de peligrosidad o de riesgo para la población. Dicha concentración se debe a que plaguicidas con componente activo difenoconazol, son aplicados directamente sobre el suelo destinado al cultivo de lechuga, lo que facilita su disponibilidad en el mismo para ser absorbido por las hojas de las hortalizas.

Es importante aclarar, que, aunque una sustancia en su estado natural o principio activo no represente peligro de toxicidad para una población, no significa que el compuesto con los

coadyuvantes que conforman el plaguicida que lo contiene tampoco represente peligro. Los plaguicidas, presentan composiciones químicas que requieren de la combinación de diferentes sustancias que le otorguen las propiedades de preventivo y curativo, por lo que su nivel de toxicidad y riesgo para el ser humano es mucho mayor que el del componente activo.

El riesgo al que se ve expuesta la población de la Finca San Rafael se estima que sea por inhalación o contacto cutáneo así mismo, este riesgo aumenta en la medida que no se usen los elementos de protección personal adecuados, ya que esto genera vías de exposición a sustancias tóxicas. La población dedicada al sector agrícola de la Finca San Rafael, no usa adecuadamente los elementos de protección personal obligatorios para la aplicación de plaguicidas, por lo que es común encontrar sintomatología referente a la inhalación de sustancia indeseables.

El suelo de la Finca San Rafael que se ha destinado a las actividades hortícolas, presenta características fisicoquímicas que favorecen la introducción y transporte de sustancias a través de los diferentes compartimentos ambientales. Al ser un suelo franco-arenoso con materia orgánica de 20%, baja capacidad de retención e agua y condiciones ácidas, la presencia de sustancias tóxicas se favorece notablemente de acuerdo a la naturaleza que presenten. La baja capacidad de retención de agua, implica un lavado de nutrientes y sustancias solubles hacia acuíferos y reservorios; lo anterior hace referencia al transporte que presenta el metamidofos, al ser aplicado como plaguicida en los cultivos de la Finca San Rafael.

Teniendo en cuenta el diagnóstico socio-ambiental realizado, se estableció que el suelo no presenta condiciones fisicoquímicas que representen la presencia de sustancias tóxicas en el recurso. Sin embargo, el suelo se considera el principal punto de contacto con los demás recursos (aire y agua) y con los productos sembrados en la Finca San Rafael, por lo que se afirma una posible acumulación de contaminantes en el mismo. Lo anterior se evidencia a través de la modelación de

los componentes activos en el escenario de exposición, los cuales arrojan resultados de concentración altos para el medio agua (metamidofos) y suelo (difenoconazol y propiconazol). La presencia de dichas sustancias químicas en el suelo, se encuentran en concentraciones que son fácilmente asimilables por las lechugas, otorgando un nivel de concentración considerable, asociado a la toxicidad.

10. Recomendaciones

Para futuros estudios de toxicidad, se recomienda escoger el método de análisis más efectivo para identificar trazas del contaminante deseado en las lechugas, debido a que posiblemente la técnica de laboratorio implementada para la detección de carbofurano no fue la adecuada, impidiendo evaluar su presencia y efectos en la lechuga, y la población directamente implicada en la ruta de exposición de dicha hortaliza.

Realizar futuros muestreos encaminados a la evaluación de la toxicidad en hortalizas y otros productos sembrados en la finca piloto, como la papa y la alcachofa; ya que estos cultivos se encuentran influenciados por la aplicación de Monitor Proficol como plaguicida con componente activo metamidofos, una sustancia química que puede estar representando un nivel de contaminación alto para el recurso agua y la población.

Es necesario realizar un estudio toxicológico enfocado a la salud humana, ya que dos de las sustancias encontradas en la lechuga se consideran liposolubles lo cual ocasiona la adherencia a tejidos grasos, esto puede implicar que el compuesto se mantenga inactivo en el organismo de las personas lo cual puede generar riesgo de toxicidad a largo plazo

11. Bibliografía

Acero Jáuregui, J. (2013). *Conceptualización y Ámbito de la Biomédica. Documento en Progreso.* . Cali, Colombia: Intituto de Investigaciones y Soluciones Biomédicas.

Agrícola, G. d. (2013). *El cultivo de Lechuga*. Recuperado el 1 de 11 de 2015, de https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/446/42109/1/Documento2.pdf

Aguirre Forero, S., & Piraneque, N. (2016). *Horticultura.* Bogotá, D.C.: UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201618/exe-horticultura2/index.html

Arregui, M., Grenon, D., & Sánchez, D. y. (2013). Evaluación del riesgo de impacto ambiental de plaguicidas en cultivos anuales del centro de Santa Fe. *FAVE, vol 12.* .

Ávila Vega, J. (2010). *Acidez del suelo.* Bogotá.

Báscones Merino, E. (s.f.). *Análisis de suelo y consejos de abonado.* Diputación Provincial de Valladolid : Excma.

Becerra Rodriguez, J. (2014). *Evaluación Cultivos Transitorios. Semestre B.* . Madrid, Cundinamarca: MinAgricultura .

Bedmar, F., Costa, J., Gimenez, D., & Daniel, P. (2013). Comparación de dos métodos de obtención de índices para la estimación del riesgo de lixiviación de plaguicidas en dos perfiles del suelo. *Volumen 30*.

Bedmar, F., Gianelli , V., Angelini, H., & Viglianchino, L. (Abril de 2015). Riego de contaminación del agua subterránea con plaguicidas en la cuenca del arroyo El Cardalito, Argentino. *Scielo, 41*(1), 70 - 82. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142015000100011

Bermúdez, A. M., & Cañón, A. M. (2014). *Evaluar posibles efectos adversos a la salud en la población de la vereda Quebradas, Municipio de Aquitania-Boyacá, teniendo en cuenta concentraciones de Malathión en cebolla de cultivos propios de la región.* Bogotá.

Biblioteca Técnica Servicios y Almácigos S.A. (02 de Noviembre de 2015). *Cultivo de Lechuga.* Obtenido de http://www.almacigos.cl/bt/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf

Cabrera, E., Inguilán, M., & Chaves Erazo, A. (2016). *Curso Académico Hoticultura. Trabajo Colaborativo.* Bogotá, D.C.: UNAD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de http://www.slideshare.net/LuciaCabrera10/201618-trabajo-colaborativo-61012811

CALCO. (2014). *CALCO. Cales de Colombia S.A.* Obtenido de Cal Agrícol: http://www.bcalco.com.co/productos/cal-agricola

CAR Bogotá. (2013). *ADECUACIÓN HIDRÁULICA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL, Evaluación Ambiental y Plan de Gestión Ambiental, Versión Final. Índice de escasez de la cuenca.* Bogotá. Obtenido de R. Evaluación Ambiental: http://www.car.gov.co/recursos_user/Proyectos%20Especiales/RIO%20BOGOTA/Evaluacion%20Ambiental%20Volume

Carranza, C., Lanchero, O., Miranda, D., & Chaves Bernardo. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) "Batavia" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana, 27*(1), 41-48. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314730006.pdf

Delgado Salas , M. A., & Fajardo Gutiérrez , P. (2015). *Dererminación de la movilidad del Carbofuran en suelos de un cultivo de papa ubicado en el Municipio de Villapinzón-Cundinamarca* . Bogotá.

Diaz, O. (2013). *Validación de una técnica de extracción líquido-líquido y confirmación de plaguicidas en muestras de interés forense por GC-MS.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Química. .

Dirección general de Calidad Ambiental. (2014). *GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS.* Obtenido de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (11 de Marzo de 2012). *Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental.* Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de Comportamiento medioambiental de las sustancias: http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta22/gprarm/109_116.pdf

Econatur. (2003). *Terralia*. Obtenido de http://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/index.php?proceso=registro&numero=885&base=2012

EPA. (2016). *US Environmental Protection Agency*. Obtenido de IRIS, Integrated Risk Information System: https://www.epa.gov/iris

España, I. g. (01 de 04 de 2002). *Movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas* . Recuperado el 20 de 10 de 2015, de aguas.igme.es/igme/publica/libro28/pdf/lib24/4_mov.pdf.

European Commission. (23 de Abril de 2015). *Contenidos Legales*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de Residuos de plaguicidas en productos destinados a la alimentación humana o animal: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV%3Al21289

European Commission. (7 de Abril de 2016). *EU Pesticides DataBase*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de Current MRL values: http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=pesticide.residue.CurrentMRL&language=EN

Extension Toxicology Network. (1997). *Pesticide Information Profile.* California .

FAO . (2 de 11 de 2015). *Organizaciòn de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* Obtenido de http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/

FAO & WHO. (2007). *Pesticide residues in food - 2007- Evaluations 2007- Part II: Toxicological.* Geneva, Switzerland: WHO. Recuperado el 29 de Junio de 2016, de https://books.google.com.co/books?id=M5gXkp3mgCsC&pg=PA263&lpg=PA263&dq=difenoconazole+toxicology&source=bl&ots=izUW9QfYXX&sig=7taQ8PIoTAndcRnet_

WETFRD8Cg&hl=es-419&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiMgo32mfTNAhVF1B4KHW8cD1YQ6AEIOjAD#v=onepage&q=difenoconazole&f=fals

FAO. (2004). *Deposito de Documento de la FAO* . Obtenido de http://www.fao.org/docrep/005/x2570s/X2570S10.htm

FAO. (2006). *Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas.* Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de http://www.fao.org/3/a-a0220s.pdf

Food and Agriculture Organization (FAO). (1996). *Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas de desuso en el paises en desarrollo. Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas.* Roma: FAO.

Garzón , E. A., & Pájaro, D. A. (2013). *Diagnóstico del Impacto ambiental generado por el monocultivo de cebolla larga en los agricultores de Aquitania, Boyacá, debido al uso de plaguicidas inhibidores de colinesterasa.* Bogotá .

Garzón, N. R. (2006). *Plan de Prevención y Atencion de Desastres Madrid Cundinamarca.* Madrid, Cundinamarca.

Gisbert Blanquer, J., Ibañez Asensio, S., & Moreno Ramón , H. (2016). *La textura de un suelo.* Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf

Grupo Edifarm. (18 de Febrero de 2016). *Ecuaquímica* . Obtenido de Furadan 10g FMC : http://www.ecuaquimica.com/pdf_agricola/FURADAN10G.pdf

Guaitero Días, l. B. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de La Sabana de Bogotá.* Bogotá .

Guía Docente. (19 de Febrero de 2013). *El cultivo de la lechuga.* Obtenido de https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/446/42109/1/Documento2.pdf

Gutiérrez, H. M., Barba , L. E., & Materón , H. (2007). Movilidad de plaguicidas carbofuran e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept. *Agronomía Colombiana*, 160-167.

Hamilton, D. (2004). *Difenoconazole (224)* . Australia : Department of Primary Industries and Fisheries Brisbane.

Iannaccone, J., Onofre, R., Huanqui, O., Giraldo, J., Mamani, N., Miglio, M., & Alvariño, L. (2007). Evaluación del Riego Ambiental del Insecticida Metamidofos en Bioensayos con Cuatro Organismos Acuáticos no Destinatarios. *Scielo*, 126-138.

IANNACONE, J. (2011). Evaluación del riesgo ambiental de carbofurano en bioensayos con organismos no blanco . *Acta toxicol. Argentina*, 19-31.

InfoAgro. (31 de Mayo de 2010). *abcAgro*. Obtenido de El cultivo de la lechuga: http://www.abcagro.com/hortalizas/lechuga.asp

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias . (2003). *Los Plaguicidas-Impacto* . Ecuador : Abya-Yala.

INVIMA. (2016). *Ley 9 de 1979: Código Sanitario Nacional* . Bogotá : Instituto Nacional de Vigilacia de Medicamntos y Alimentos . Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de https://www.invima.gov.co/.../leyes/leyes/bancos-de.../ley-9-de-1979-pdf

Julca Otiniano , A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano , R., & Bello Amez , S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura . *Scielo*, 49-61.

Li, Y., Ma, X., & Lu , G. (2013). Systematic investigation of the toxic mechanism of difenoconazole on protein by spectroscopic and molecular modeling. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 105*, 155 - 160. Recuperado el 26 de Julio de 2016

Linares , A. C., Cárdenas, Z., Llanes , M. N., Caridad , R., Hernández, R., & Dierksmeier, G. (2002). *Movimiento de algunos plaguicidas en el suelo, Institutp de Investigaciones de Sanidad Vegetal.* La Habana .

Lopera, M. M., Homez, J. O., Ordoñez, M. M., Pabón, H., Ministerio de Ambiente, V. y., & Colombia, A. H. (2009). *Guía Ambiental Hotifrutícola de Colombia.* Bogotá: Ministerio de Ambiente.

M , F., & Toro S, I. (2010). *Riesgo Ambiental por el uso de agroquímicos* . Bogotá : UNIMINUTO.

Mackay, D. (2001). *Multimedia Environmental Models. The Fugacity Approach. 2Ed.* . London: Taylor and Francias Group.

MADR, M. d. (2006). *Plan Hortícola Nacional PHN.* Bogotá.

Madrid Cundinamarca , A. (2008-2012). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE MADRID CUNDINAMARCA "CONSTRUYENDO A MADRID CON SENTIDO SOCIAL".* Madrid, Cundinamarca .

Madrid, Cundinamarca , A. (2012). *PBOT Municipio de Madrid* . Madrid Cundinamarca .

MADS. (14 de Abril de 2008). *Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Resolución 0598.* . Obtenido de ANLA, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales : http://www.anla.gov.co/sites/default/files/res_0598_140408.pdf

MADS. (2014). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Decreto Ley 2811 de 1974.* Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf

Management, S. F. (2006). *Smart Fertilizer Management*. Recuperado el 1 de 11 de 2015, de pH del suelo : http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-ph

Management, S. F. (2008). *Smart Fertilizer Management*. Recuperado el 1 de 11 de 2015, de Fosforo en el suelo : http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/phosphorus

Martínez , E., Fuentes , J., & Acevedo , E. (2008). Carbono Orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nuetrición vegetal, 8*(1), 68-96 . Recuperado el 12 de Julio de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006

Ministerio de Protección Social, República de Colombia. (2011). *Programa Nacional de Asistencia Técnica para el Fortalecimiento de las Políticas de Empleo, Emprendimiento y Generación de Ingresos en el ámbito Regional y Local (Diagnóstico MADRID-CUNDINAMARCA).* MADRID CUNDINAMARCA: Ministerio de Protección Social, República de Colombia.

Ministerio de Salud. (2006). *Decreto 4368 de 2006.* Bogotá, D.C.: Ministerio de la Protección Social. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%204368%20DE%202006.pdf

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos.* Argentina.

Moreno Grau, M. (2003). *Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana.* Madrid, España.: Mc GrawHill.

Murcia, A., & Stashenko,Elena . (2008). DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS EN VEGETALES PRODUCIDOS EN COLOMBIA. *Agro Sur* , 71-81.

Murray R. , S. (1978). Teoría elemental del muetsreo, teoría de la decisión estadística, ensayos de hipótesis y significación. En *Estadística.* Cali: McGraw-Hill. Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de http://www.estebansaporiti.com.ar/spiegel.pdf

National Geographic. (2016). *National Geographic*. Obtenido de Trucha Arcoíris : http://www.nationalgeographic.es/animales/peces/trucha-arcoiris

Núcleo Ambiental S.A.S. (2015). *Manual Lechuga.* Bogotá D.C.: Programa de apoyo agrícola y agroindustrial. Cámara de Comercio de Bogotá. .

Organización Panamericana de la Salud, OPS . (2009). *Herramienta de capacitación para el manejo responsable de plaguicidas y sus envases* . Buenos Aires, Argentina: OPS.

Peña, C., Carter, D., & Ayala, F. (2001). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental.* Arizona: Southwest Hazardous Waste Program. University of Arizona. Recuperado el 5 de Marzo de 2016, de http://superfund.pharmacy.arizona.edu/sites/default/files/toxamb.pdf

Pesticides Industry Sales and Usage. (1995). *Market Estimates US Environmental Protection Agency.*

Quintero, M. S., Sarmiento, O. I., García, P. D., & Molano, Y. (2015). *Diseño e implementación de una red de evaluación de calidad del suelo para tres cultivos hortofrutícolas en el municipio de Madrid, Cundinamarca.* Madrid, Cundinamarca: Universidad de La Salle.

Ramu, S., & Seetharaman, B. (2014). Biodegradation of acephate and methamidophos by a soil bacterium Pseudomonas aeruginosa strain Is-6. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 23–34.

RAP-AL, R. d. (2009). Plaguicidas con pontruario. Carbofurano. *Enlace*(83), 18-21. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de http://www.rap-al.org/articulos_files/ENLACE_83.pdf

Rucks, L., García F, Kaplán , A., Ponce de León , J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo.* Montevídeo, Uruguay: Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Departamento Suelos y Aguas. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf

Sánchez, M., & Sánchez, M. (1984). *Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo.* Salamanca, España.: Intituto de Recursos Naturales y Agrobiología.

SATA. (18 de Septiembre de 2009). *Guía para la protección y nutrición vegetal.* Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de Carbofuran: http://laguiasata.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=535:carbofuran-&catid=46:principios-activos&Itemid=58

SEMARNAT. . (2012). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC.* Obtenido de Características fisicoquímicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente: http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf

Silva, G. F. (2009). *Análisis de los sistemas de producción de lechuga (Lactuca sativa) en los municipio de Tenjo y madrid.* Bogotá, D.C.: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA.

SMART Fertilizer Management. (13 de Julio de 2016). *El magnesio en el suelo y plantas* . Obtenido de http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/magnesium

Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). *Ensayo de Toxicidad aguda con semillas de lechuga.* Canadá.

Tapia Florez, F., Jerez Briones, J., & Moyano, A. M. (2015). *Eficiencia en la remoción de residuos de plaguicidas.* Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR35538.pdf

U.S. National Library of Medicine. (2016). *TOXNET. Toxicology Data Network.* . Obtenido de HSDB Home: Carbofuran : https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~CIptmW:1

UNEP. (2011). *Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia.* . Bogotá, Colombia: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI).

United States Environmental Protection Agency. (2006). *Interim Reregristation Eligibility Decision (IRED). Document for Carbofuran.* . Estados Unidos: EPA.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (12 de Julio de 2016). *Datateca UNAD.* . Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_10_contenido_de_materia_orgnica_y_fertilidad.html

Universidad Pedagógica Nacional. (2010). *Riegos Ambientales. Guía Institucional de Gestión Ambiental, Identificación y Evaluación.* Bogotá, Colombia: SAA. Sistema de Administración Ambiental .

University at Albany. (2016). *Laboratory of Dr. McNay Ewan* . Obtenido de Center of Neuroscience Research: http://www.albany.edu/mcnaylab/linkpage.html

University of Hertfordshire. (Marzo de 2016). *Agricultural Substances Databases - Agriculture & Environment Research Unit* . Obtenido de PPDB: Pesticide Properties DataBase: http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm

Uzcátegui, J., Araujo, Y., & Mendoza , L. (2011). Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físicoquímicos en suelos del municipio pueblo Llano, Estado Mérida. *Bioagro (23)*, 115-120.

Valencia, E., Guerrero, J., & de Yuanda, A. y. (2008). Evaluación de la adsorción-desorción de C-carbofura y FURADAN 3SC en tres suelos de Cundinamarca Colo,bia . *Revista Colombiana de Química.* .

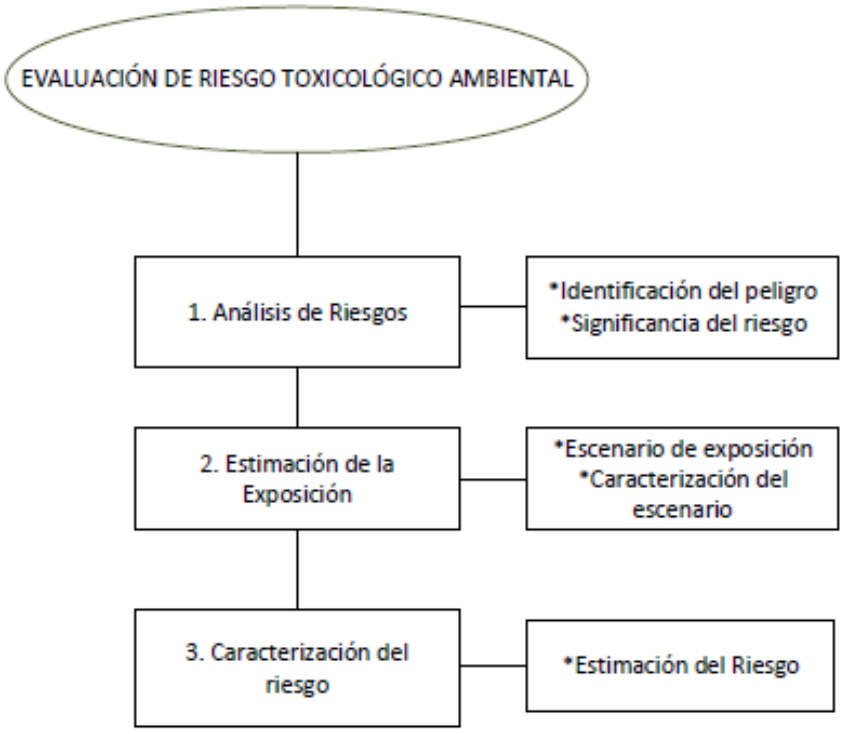
Vega, S. (1985). *Toxicología I: Cinética y efectos de los contaminantes tóxicos del ambiente.* México D.F.

Zamora, F. R., Torres, D., Rodríguez, N., & Zamora, F. J. (2009). Impacto del uso de plaguicidas sobre los niveles de colinesterasa total en sangre en productos agrícolas del asentamiento campesino Santa Teresa, Municipio Miranda del estado Falcón, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela*, *35*(2), 56 - 61.

Zhang , Z., Jiang, W., Jian, Q., Song, W., Zheng, Z., Wang, D., & Liu, X. (2015). Residues and dissipation kinetics of triazole fungicides difenoconazole and propiconazole in wheat and soil Chinese fields. *Food Chemistry, 168*, 396 - 403.

12. Anexos

ANEXO A. Metodología para la Evaluación de Riesgos Ambientales



ANEXO B. Resultados Laboratorio IGAC, análisis fisicoquímicos del suelo de la finca piloto en la Finca San Rafael.

IGAC

INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

GESTIÓN AGROLÓGICA

FECHA (AAAA-MM-DD): 2015-09-29

NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO: MARIA SOL QUINTERO RODRIGUEZ — No. SOLICITUD: 970_1

DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN: CUNDINAMARCA/MADRID — TIPO DE MUESTRA: SUELO

SUPLEMENTO DE RESULTADOS: ☐ — DE FECHA: N.A — DIRECCIÓN DEL CLIENTE: CALLE 65 No. 56B -33

No. LAB.	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	RELACIÓN	pH	A.I. cmol(+)/Kg	S.A.I. %	SALINIDAD		$CaCO_3$		RETENCIÓN FOSFÓRICA %	MATERIA ORGÁNICA	
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %							CE (dS/m)	PSI	Cualitativo*	Cuantitativo %		C.O. %	N. TOTAL %
1-09802	MAR-001	55,8	25,4	18,8	FA*		(1:1)	5,1	1,5	6,4						12,0	

COMPLEJO DE CAMBIO (cmol(+)/Kg)						S.B.%	ALUMINIO ACTIVO %	HIERRO ACTIVO %	ÍNDICE MELÁNICO	ELEMENTOS MENORES (mg/Kg)					mg/Kg			Fósforo (mg/Kg)	
CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.					Mn	Fe	Zn	Cu	B	S	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	Disponible	Total
49,5	13,5	0,73	3,5	4,2	21,9	44,3												163	

OBSERVACIONES: * LA MUESTRA NO DISPERSO APROPIADAMENTE; EL % DE ARCILLA PUEDE SER MAYOR.

meq Calcio/100g (cmol(+)/Kg) x 200 = mg/Kg.
meq Magnesio/100g (cmol(+)/Kg) x 120 = mg/Kg.
Porcentaje (%) = mg/Kg / 10.000
A = ARENA; L = LIMO ; Ar = ARCILLA; F = FRANCO
CE = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

meq Potasio/100g (cmol(+)/Kg) x 391 = mg/Kg.
meq Sodio/100g (cmol(+)/Kg) x 230 = mg/Kg.

* $CaCO_3$: (+) = (-) = NO PRESENTE; BAJO; (++) = MEDIO; (+++) = ALTO; (++++) = MUY ALTO.
N.A = NO APLICA; N.E. = NO ESPECIFICA; N.D. = NO DETECTADO
SAT = SATURADO; B.T. = BASES TOTALES
S.A.I.% = PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE
S.B.% = PORCENTAJE SATURACIÓN DE BASES; PSI = PORCENTAJE SATURACIÓN DE SODIO

NOTA: Los resultados se mantendran 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.
Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-51, Telefax 3694016 ó 3694000 Ext. 4016, mail: laboratorio@ igac.gov.co
Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:

JORGE ALBERTO SANCHEZ ESPINOSA
Nombre — Firma

GIT LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS — Pág 1 de 3 — F40601-04/14.V6

ANEXO C: Ficha de seguridad Furadan 3S

Bayer CropScience

Última revisión: 22/01/2003

FURADAN 3 SC

TARJETA DE EMERGENCIA

ROTULO NFPA

ROTULOS UN

Nombre del Producto:	FURADAN 3 SC
Sinónimos:	CARBOFURAN 330 g/l.
Fórmula:	$C_{12}H_{15}NO_3$ (carbofuran).
Número UN:	2992
Clase UN:	6.1
Usos:	Insecticida y pesticida, carbamato Concetrado emulsionable. Categoría Toxicológica I. Extremadamente tóxico.
Proveedor:	Bayer CropScience S.A. Bogotá: Carrera 7ª No. 71-21 Torre A Piso 19 Tel: (1) 3138480 Planta Cartagena: via Mamonal Km 13 Planta Barranquilla: Kra. 50 Calle 8ª Soledad
Teléfonos de Emergencia:	CISPROQUIM: 01 8000 916012 ATMI: 01 8000 916818 BOGOTA: 01 8000 916303 PLANTA CARTAGENA: (5) 6685801, PLANTA BARRANQUILLA: (5) 3741700

COMPONENTES				
COMPONENTE	**Número CAS**	**TWA**	**STEL**	**%**
Carbofuran	1563-66-2			33
Propilenglicol				6
Ingredientes inertes				61

CLASIFICACION DE RIESGOS:

Tóxico por inhalación, ingestión o al contacto con la piel y ojos.

Contaminante marino.

EQUIPOS Y MEDIOS DE PROTECCIÓN:

Gafas de seguridad

Guantes de nitrilo y desechables

Delantal de PVC, liviano

Botas

Máscara media cara con filtros para vapores orgánicos y prefiltros

EFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

Inhalación:	Puede causar, dolor de cabeza, calambre abdominal, náuseas, salibación, excesiva transpiración , visión borrosa, lagrimación, pupilas disminuidas, coloración azul en la piel, convulsiones, temblor y coma.
Ingestión:	Dolor de cabeza , calambre abdominal, náuseas y salibación.
Contacto con la Piel:	Cuando se aumenta la temperatura y la humedad, se puede incrementar la absorción del producto por la piel, causando síntomas similares a los de la inhibición de la colinesterasa.
Contacto con los Ojos:	Podría ser altamente tóxico si es absorbido a través de la mebrana mucosa de los ojos. Produce lagrimación, visión borrosa y púpilas disminuidas.
Efectos Crónicos:	Efectos de sobreexposición resultan de: Ingerirlo o absorberlo a través de la piel . No hay datos para la formulación, pero en estudios con animales de laboratorio, el carbofuran no produce toxicidad reproductiva, teratogenicidad ni carcinogenicidad. La exposición crónica con animales de laboratorio al carbofurán, produjo una disminución de la actividad de la colinesterasa (eritrocitos, plasma o cerebro). Se demostró una ausencia total de genotoxicidad en estudios de mutagenicidad con carbofurán.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD:

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de almacenamiento.

Reactividad: NR

Incompatibilidades o materiales a evitar:

Agua: No **Aire:** No **Otras:** Evitar calor excesivo y fuego.

EN CASO DE ACCIDENTE

si esto pasa

haga esto

EXPOSICION (PRIMEROS AUXILIOS)

Al inhalar: Trasladar al paciente al aire fresco, si se presenta paro respiratorio suministrar respiración artificial y conseguir atención médica.

Al ingerir: Tomar uno o dos vasos de agua e inducir el vómito. No inducir el vómito o suministrar nada por vía oral a una persona incosciente. Conseguir ayuda médica.

Al contacto con la piel: Lavar con abundante agua y jabón, durante 20 minutos, si la irritación ocurre y persiste, consultar al médico.

Al contacto con los ojos: Lavar con agua por lo menos durante 15 minutos. Si la irritación persiste, conseguir ayuda médica.

FUEGO

No inhalar los humos. Usar aparato de respiración autónoma. En caso posible y sin riesgo, remover los recipientes intactos de la exposición al incendio. De lo contrario, rociar los recipientes tapados con agua para mantenerlos fríos. Siempre y cuando sea posible, contener el agua de la extinción del incendio al rodear el área con arena o tierra y evitar que corra libremente a cauces superficiales, ni debe ser drenada a sistemas de alcantarillado.Evacuar las personas caminando en dirección contraria del viento.

Medios de extinción: Rocío de agua, espuma o polvo químico seco, dióxido de carbono.

Productos de la combustión: Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, además se puede producir metil isocianato durante la descomposición térmica.

Precauciones para evitar incendio: Almacenar lejos de fuentes de ignición.

DERRAMES O FUGAS

PRECAUCIONES PERSONALES: No tocar los contenedores dañados o el material derramado, a menos que esté usando la ropa de protección adecuada. Detenger la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo. Prevenir la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas, haciendo un dique con arena o tierra y absorber el derrame con cualquier material absorbente no combustible y disponerlo en tambores debidamente marcados, para su disposición posterior. mantener alejadas las personas y los animales. Si el derrame llega a ríos o corrientes fluviales, informar inmediatamente a la autoridad del medio ambiente competente. Para limpiar y neutralizar el área y todos los equipos utilizados,lavar con una solución de soda cáustica o de hipoclorito de sodio, después lavar con una solución fuerte de jabón y agua. Absorber el líquido como se hizo anteriormente y colocarlo en tambores en los que ya colocó el material..

INFORMACIÒN MEDICA

Este producto tiene una toixicidad oral e inhalatoria alta y dermal baja. Tiene un efecto irritante mínimo para la piel y ojos, sin embargo la absorción a través de la membrana de la mucosa de los ojos puede ser altamente tóxico. FURADAN 3 SC, contiene Carbofuran, el cual es un inhibidor reversible de la colinesterasa. Se usa el Sulfato de Atropina, para contrarrestar los efectos de la substancia. Se debe hacer un soporte de la respiración con remoción de las secresiones, mantenimiento de la respiración y si es necesario ventilación artificial. Si no se presenta cianosis, en adultos, suministrar 2 mg de Atropina, por vía I.V ó IM , y repetir con 0.4 a 2.0 mg de atropina cada 15 minutos, hasta que desaparezcan los sintomas de la intoxicación y ocurra la Atropinización (taquicardia, ruborización de la piel, sequedad en la boca y dilatación pupilar puntiforme). Para niños menores de 12 años, se debe suministrar 0.05 mg/kg y repetir dosis de 0.02 a 0.05 mg/kg . Mantener al paciente bajo vigilancia. La oxima tal como 2-PAM es controversial. Observar al paciente de tal manera que los síntomas no recurran, cuando los efectos de la atropinización desaparezcan. Si el problema se presenta en los ojos, colocar una gota de homatropina.

TRATAMIENTO: Sintomático.

CONTRAINDICACIONES: No suministrar morfina, aminofilinas, tranquilizantes o leche.

ANEXO D: Resultados PRIMORIS LAB, análisis toxicológica de lechugas.

PRIMORIS
YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS
COLOMBIA

Número de laboratorio: 16/001125
Página: 1/5
Fecha: 7/07/2016

Certificado de análisis
16/001125

Yeraldine Molano Marín
Yeraldine Molano Marín
Cra 6 C Nº 17 - 17 Nueva Navarra Casa Nº 6
ZIPAQUIRA - CUNDINAMARCA
Colombia

Tipo de muestra:	**lechuga - rizada**
Referencia:	**Lechuga Crespa - Ref: Finca San Rafael - Predio Don Mario**

Información general:		**Información de la muestra:**	
Productor:		Fecha de muestreo:	
Origen:		Muestreo por:	
Destino:		Lugar de muestreo:	
Número:		Sellado:	**sin sello**
Orden de compra:		Estado de la muestra:	**en buen estado**
Marca:		Peso (g):	**2300**
Tratamiento:		Unidad(es):	
Brix/Factor de concentración:		Empaquetado:	
Información destino:		Transportado por:	**Cliente**

Reporte:	
Fecha de recepción:	**30/06/2016**
Informe 1° dia:	**07/07/2016**
Periodo de análisis:	**30/06/2016 - 06/07/2016**
Control:	
Tolerancia:	**UE-CM**

EN-ISO17025 BELAC 057 - TEST

YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS
SUPPORT SPEED ANALYSIS KNOWLEDGE

PRIMORIS
YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS
COLOMBIA

Número de laboratorio: 16/001125
Página: 2/5
Fecha: 7/07/2016

Muestra homogeneizada

LMS_02_B - LC-MSMS - Primoris accredited — Analizado ☑

Sustancia	Acr.	Resultado	Tolerancia	Unidad	U
difenoconazole	A	0,32	3	mg/kg (R 1101/2015)	#
methamidophos	A	0,040	0,01	mg/kg (R 899/2012)	#
propiconazole	A	0,11	0,05	mg/kg (R 567/2016)	#
Otros no detectables (< LC)					

M.Sc. Diana Carolina Botia Gil

Laboratory Manager

EN-ISO17025
BELAC
057 - TEST

YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS
SUPPORT SPEED ANALYSIS KNOWLEDGE

ANEXO E: Consideraciones Generales para el modelo básico y multimedia

Se tiene un área de estudio de que corresponde a 0.65 Ha. Debido a que el suelo es de tipo franco destinado a cultivos, el contenido de carbón orgánico característico de este tipo de suelo es de 2% (Mackay, 2001) a una profundidad de aproximadamente 15cm. Se tuvo en cuenta que el caudal del riachuelo cercano a la finca se encuentra entre el rango de 0.25 a 0.75 m3 /s, para este caso se tomó el caudal mínimo de 0.25 m3 /s debido a que se trata de un riachuelo pequeño. (CAR Bogotá, 2013).

La concentración de las partículas suspendidas, se puede valorar en un rango de 5 a 20 g/m3, para este caso se asumió un valor de 10 g/m3. Los peces que se crían generalmente en lagos de las zonas aledañas a un cultivo son truchas, que tienen un peso aproximado de 3kg (6lb) (National Geographic, 2016). El valor asumido para la velocidad del viento, fue el de la velocidad en superficie que alcanza el viento a 10m de altura según la OMM. Se tomó como valor 2.7m/s debido a que el viento tiene esa velocidad en el municipio de Madrid.

Para las fracciones agua-sedimentos y sólidos-sedimentos, se tuvo en cuenta que los sedimentos tienen un mayor porcentaje de agua que de sólidos, por lo que se asumió un porcentaje de 76% de agua y 24% de sólidos.

- Volumen de Aire

$$0.65\ Ha * \frac{10000 m^2}{1 Ha} * 10m = 65000 m^3$$

- Volumen Aerosoles

Para este caso el lago que se tuvo en cuenta está ubicado en una zona rural, se tomaron los valores estándares de concentración ($5\ \frac{\mu g}{m^3}$) y densidad ($1.5 \frac{g}{cm^3}$) para estos valores se hicieron

las respectivas conversiones. Estos valores fueron utilizados junto con el volumen de aire ($65000\ m^3$) lo cual permitirá determinar el volumen de los aerosoles:

$$5\mu g \cdot \frac{1mg}{1000\mu g} \cdot \frac{1g}{1000mg} = 5x10^{-6}\frac{g}{m^3}$$

Densidad

$$\frac{1.5g}{cm^3} \cdot \frac{1000000cm^3}{1m^3} = 1500000\frac{g}{m^3}$$

Masa del aerosol

$$5x10^{-6}\frac{g}{m^3} \cdot 65000m^3 = 0.325g$$

Volumen de aerosol

$$\frac{0.325g}{1500000\frac{g}{m^3}} = 2.16 * 10^{-7}m^3$$

- Volumen de Agua

$$280.56\ m^2 * 5m = 1402.8\ m^3$$

- Volumen del Suelo

$$(6500m^2 - 280.56m^2) * 0.15m = 932.916m^3$$

- Volumen de Sedimentos

Teniendo en cuenta el área del lago $280.56m^2$, la altura a la que generalmente se encuentran los sedimentos en el agua (3 m) y los valores estándar de concentración promedio (12.5 $\frac{g}{m^3}$)1 y densidad (2400 $\frac{Kg}{m^3}$), se obtuvo el siguiente volumen de sedimentos:

$$280.56m^2 * 0.15m = 42.084m^3$$

Masa de los sedimentos

$$42.084m^3\ x\ 12.5\ \frac{g}{m^3} = 526.05g$$

$$526.05g\ x\ \frac{1Kg}{1000\ g} = 0.526\ kg$$

- Volumen de partículas suspendidas

Se tomaron los valores estándares de concentración de partículas suspendidas, densidad (1500 kg/m3).

$$\frac{10\ g}{m^3} * \frac{1\ kg}{1000g} * \frac{1\ m^3}{1500\ kg} * 841.68m^3 = 5.6112x10^{-3}$$

Una vez determinados los valores anteriormente enunciados, se procede a ingresarlos en el programa para obtener la distribución de los plaguicidas en los medios de mayor influencia en la finca piloto.

* Teniendo en cuenta estos valores se identifica que tipo de compuesto es cada uno de los encontrados en las lechugas para así tener en cuenta el comportamiento en el ambiente, teniendo en cuenta el tipo de químico: (Tipo 1: químico con partición en todos los medios), (Tipo 2: químico no volátil), (Tipo 3: químico con solubilidad 0 o cercana a 0).