

Alternativas para el proceso de recuperación de suelos contaminados por el uso de agroquímicos en el cultivo del tomate en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander Colombia.

Laura, D, Garzón Rueda

Martha, L, Mantilla Ballesteros

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Ingeniería Ambiental

Directora: Ana María Ardila Álvarez

Alternativas para el proceso de recuperación de suelos contaminados por el uso de agroquímicos en el cultivo del tomate en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander Colombia.

Laura, D, Garzón Rueda

Martha, L, Mantilla Ballesteros

Trabajo de Grado para Obtener el Título de Ingeniera Ambiental

Directora: Ana María Ardila Álvarez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Ingeniería Ambiental

2021

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
Capítulo I - Generalidades de la Monografía.....	14
1.1 Descripción del Problema	14
1.2 Justificación	16
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 Marco Conceptual y Teórico.....	19
1.5 Marco Referencial.....	20
1.5.1 Antecedentes.....	20
1.6 Marco Legal.....	22
1.6.1 Bases Teóricas.....	23
1.7 Metodología.....	29
1.7.1 Tipo de estudio.....	29
Capítulo II – Generalidades del cultivo de tomate y su relación con los agroquímicos.....	30
2.1 Sector agrícola en Colombia.....	30
2.2 El cultivo del tomate y su ciclo de vida.....	31
2.3 Plagas, enfermedades y virus.....	34
2.4 Generalidades de los agroquímicos.....	41
2.5 Producción de agroquímicos.....	42
2.6 Usos.....	43
2.7 Clasificación.....	48
2.7.1 Plaguicida técnico.....	48
2.7.2 Plaguicida formulado.....	48
2.7.3 Organismos que combate.....	48
2.7.4 Mecanismo de acción.....	49
2.7.5 Composición química.....	49
2.7.6 Persistencia.....	49
2.8 Penetración en la planta.....	51
2.9 Situación actual de los suelos por la contaminación de agroquímicos.....	52
Capítulo III - Consecuencias a nivel ambiental y de salud por el uso de agroquímicos	53
3.1 Consecuencias de los agroquímicos en el ambiente	53
3.2 Suelo	54

3.3 Aire	55
3.4 Agua	56
3.5 Flora y Fauna	58
3.6 Consecuencias de los agroquímicos en la salud humana.....	60
Capítulo IV – Procesos de biorremediación	62
4.1 Metodologías de tratamiento	62
4.2 Técnica Físicoquímica.....	63
4.2.1 Lavado de suelos.....	63
4.2.2 Lavado de suelos ex situ.....	63
4.2.3 Lavado de suelo in situ.....	64
4.2.4 Extracción con disolventes.....	65
4.2.5 Extracción de vapores del suelo.....	66
4.2.6 Aspersión de aire.....	67
4.2.7 Deshalogenación.....	67
4.2.8 Solidificación / estabilización.....	68
4.3 Técnica Electrocinética.....	70
4.3.1 Inyección de aire comprimido.....	71
4.4 Técnicas terminas	73
4.4.1 Incineración.....	73
4.4.2 Desorción térmica in situ.....	73
4.4.3 Desorción térmica ex situ.....	74
4.4.4 Plasma.....	75
4.4.5 Vitricación.....	75
4.5 Técnicas biológicas.....	77
4.5.1 Fitorremediación.....	77
4.5.2 Biopilas y Landfarming.....	78
4.5.3 Compostaje.....	78
4.5.4 Bio aireación.....	79
4.5.5 Bio ventilación.....	80
4.6 Aplicación del método de remediación más viable en suelos contaminados por agroquímicos en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander.....	81
Capítulo V.....	86
5.1 Conclusiones	86
Referencias.....	88

Índice de Tablas

Tabla 1 Servicios ambientales del suelo.....	24
Tabla 2 Principales causas de degradación del suelo.....	25
Tabla 3 Agentes contaminantes de un cultivo de tomate.....	26
Tabla 4 Clasificación de los agroquímicos.....	48

Índice de Figuras

Figura 1 Implementación de semilleros para la germinación del tomate.....	32
Figura 2 Acción del pulgón sobre los brotes de tomate.....	36
Figura 3 Acción de las orugas sobre los folíolos de la planta de tomate.....	37
Figura 4 Acción inicial de la alternaria solani o candelilla temprana en el follaje del tomate...	38
Figura 5 Plantas de tomate afectadas por caracha, prodiplosis o negrita.....	38
Figura 6 Incubación del virus del bronceado del tomate.....	39
Figura 7 Virus del rizado amarillo del tomate.....	40
Figura 8 Presentación de coadyuvante fluyex.....	43
Figura 9 Presentación del fertilizante foss 61.....	44
Figura 10 Presentación del fungicida fitorax.....	44
Figura 11 Presentación del fungicida manzate.....	45
Figura 12 Presentación del insecticida exalt.....	45
Figura 13 Presentación del insecticida inimectin.....	46
Figura 14 Presentación del insecticida engeo.....	46
Figura 15 Presentación del insecticida evisect.....	47
Figura 16 Clasificación de los agroquímicos.....	48
Figura 17 Esquema de la técnica de lavado de suelos exsitu	64
Figura 18 Esquema de la técnica de lavado de suelos insitu	65
Figura 19 Esquema de la técnica de extracción con disolvente.....	66
Figura 20 Esquema de la técnica de aspersión por aire.....	67
Figura 21 Esquema de la técnica de desalogenación.....	68
Figura 22 Esquema de la técnica de solidificación/estabilización.....	69
Figura 23 Esquema de la técnica de electrocinética.....	70

Figura 24 Esquema de la técnica de inyección de aire comprimido.....	72
Figura 25 Esquema de la técnica de incineración.....	73
Figura 26 Esquema de la técnica de desorción térmica insitu.....	74
Figura 27 Esquema de la técnica de vitrificación.....	76
Figura 28 Esquema del mecanismo de fitorremediación en una planta.....	78
Figura 29 Esquema del compostaje como método de biorremediación de suelos.....	79
Figura 30 Preparación de agroquímicos para su dispersión	81
Figura 31 Observación de metales presentes en el suelo de cultivo del tomate	82
Figura 32 Siembra de maíz para la investigación	83
Figura 33 Fitoacumulación de metales en alfalfa amaranto y acelga	85
Figura 34 Heliconia florecida	85

Dedicatoria

Martha Liliana Mantilla Ballesteros

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios por haberme hecho parte de su preciosa creación, por haberme dado las fuerzas y la inteligencia necesaria para superarme y lograr llegar hasta el día de hoy con salud y bienestar, rodeada de la más bella bendición que es mi familia. Dedico con todo mi corazón el fruto de mis esfuerzos a mi madre Doña Anita esa tierna viejecita de ojos verdes como el mar, sin ella jamás lo hubiera logrado, le agradezco cada demostración de cariño, de amor incondicional; cada palabra de ánimo, de fe, gracias por haberme enseñado a creer en mí, por haberme demostrado que todo es posible en la vida y que con esfuerzo y dedicación se llega a la meta como la historia de canuto (Querer es poder) del libro cuarto en el que tu aprendiste a leer hace 65 años, gracias por siempre estar a mi lado en las buenas y en las no tan buenas, gracias por la inmensa paciencia que tuviste frente a mis travesuras de infancia, mi mayor satisfacción es verte sonreír y llevarte de mi mano en busca de nuevas aventuras, tu bendición me acompaña y me protege, cada noche ruego a Dios para que te conceda larga vida siempre a mi lado.

Soy inmensamente feliz por tener el privilegio de vivir, disfrutar y ver materializado este tan esperado momento de mi formación profesional. Agradezco a mis hermanos Alirio, Mireya, Adriana, Leonor, José Luis por infundir en mí el deseo de superación, por mostrarme que si yo quiero puedo alcanzar todo lo que me proponga, por darme la fuerza necesaria de luchar por este sueño, este logro obtenido no es solo mío también es de ustedes mis auyamitas, gracias infinitas por el apoyo económico, por los consejos, por los valores que me han ayudado a crecer y que me definen como persona, como profesional; gracias por la motivación constante que me ha llevado a ser una persona de bien, útil a la sociedad, pero más que nada por su amor incondicional para conmigo, siempre me esforzaré al máximo para hacerlos muy felices, para darles lo mejor de mí, para que se sientan súper orgullosos y devolverles un poco de todo lo que me han dado, de toda la felicidad, cariño y detalles que han tenido para conmigo desde aquella madrugada de ese 30 de diciembre, sus esfuerzos y sus oraciones están dando fruto, se está terminado de crear un ciclo muy importante en mi vida que quiero que lo disfruten junto conmigo al máximo y se preparen para los muchos triunfos que vendrán en el futuro.

Por otra parte, quiero rendir un homenaje mediante mi trabajo de grado y dedicar esta obra a mi padre Don José Alirio Mantilla Pérez quien en el año 2015 cuando yo daba mis primeros pasos en el mundo de la ingeniería partió hacia la eternidad dejándonos un inmenso vacío y una profunda tristeza; pero muchas enseñanzas y valores que hoy reconfortan nuestro corazón dándonos fuerzas para continuar en nuestro raudo trasegar embriagado de nostalgia por tu ausencia, gracias por echarnos a volar nuestra imaginación con tantas historias que nos contaba a la luz de una vela, gracias por infundirnos el amor por el arte, por la música, por la lectura, por la poesía, por el campo, por la naturaleza, por las buenas y sanas costumbres,

gracias por ese hermoso conejo que me diste un día de seguir los deseos de mi corazón y hacer de mi vida lo que me condujera a la plena felicidad; quiero que te sientas muy orgulloso y puedas decir a viva voz "tengo una hija ingeniera" hoy te extraño y te necesito más que nunca, pero sé que desde el cielo me guías y me bendices, yo solo puedo prometerte que mis actos jamás te defraudaran, que tus deseos se cumplirán y siempre estarán protegidos por mí. Jamás te olvidaré mi querido viejo.

Siempre soñé con el día de mi graduación, ese día en el que me convertiría en ingeniera, quería que mi hermana Adriana me acompañara a recibir mi diploma, ella, mi amiga, mi confidente, mi mamá nanita, mi concejera, la niña de la mirada bondadosa a quien en el año 2020 infortunadamente su corazoncito se le cansó y no le permitió continuar viviendo para ver realizadas tantas metas que teníamos planeadas, Dios quiso tenerla a su lado como un ángel más de su corte celestial, solo me queda darle las gracias por tanto cariño, por tanta dulzura, por las lecciones de vida que me dio, gracias por siempre esperarme con un plato de comida caliente cada vez que salía de prácticas en Pamplona, perderte ha sido un duro golpe en mi vida pero sé que desde el cielo me acompañas y me iluminas para llevar a feliz término este proyecto que tanto anhelamos y que tu tanto defendiste, gracias por creer en mí, en mis capacidades, gracias por hacerme sentir orgullosa de ser una campesina que luchó contra todo por su sueño de ser una profesional en ingeniería ambiental y que hoy en día es una mujer fuerte, poderosa, resiliente que nada la vence y que con la ayuda de Dios va a llegar muy lejos.

Laura Daniela Garzón Rueda

De antemano doy gracias a Dios porque si no fuera por la inmensa gracia de él en este momento no estaría celebrando este gran logro. En segundo lugar, a mi madre María del Rosario Rueda por enseñarme a ser fuerte en medio de las debilidades, a ser autosuficientes, a no depender de nadie, ni de nada, a luchar por lo que quiero, pues el futuro está en lo que haga en este momento, por todo el amor incondicional que me brinda cada minuto de la vida. Gracias por el gran esfuerzo que haces día tras día solo por vernos ser felices. A todos mis hermanos, Julián Garzón, David Garzón y Evelio Sanabria, a los tres los considero una parte importante de mi vida, estando cerca o lejos, igual los amo con toda la fuerza de mi corazón, cada uno con personalidades totalmente opuestas, pero son un conjunto de un todo perfecto para mí.

Agradecimientos

Agradecemos principalmente a Dios, por habernos dotado de sabiduría, entendimiento, fortaleza y discernimiento para avanzar con seguridad en cada paso hacia la construcción de nuestro proyecto de grado hasta alcanzar el objetivo final

Un agradecimiento muy especial a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD por darnos la oportunidad de consolidarnos como profesionales, por brindarnos los espacios, el recurso humano y la tecnología necesaria para afianzar y acrecentar los conocimientos, gracias por permitir que personas de todo el país sin distinción de raza, color, credo o estrato socioeconómico puedan acceder a una educación de calidad la cual permitirá mejorar las condiciones de vida tanto del estudiante como de su región de origen.

De manera muy especial queremos agradecer a la directora del trabajo de grado la ingeniera Ana María Ardila Alvarez por ser una excelente guía y concejera en esta importante etapa de nuestras vidas, gracias por la paciencia, por la orientación, por compartir sus conocimientos e ideas para la consecución de la investigación, gracias por brindarnos desde el primer momento su amistad incondicional e infundir valores para nuestro crecimiento personal, gracias por el compromiso, por la bondad y el apoyo para desarrollar la última etapa de nuestra formación profesional.

Resumen

Los suelos contaminados por agroquímicos utilizados en los cultivos de tomate, actualmente son una de las problemáticas más relevantes debido a que estos cultivos son susceptibles a diversas plagas, enfermedades y virus, por lo cual son controladas por medio del manejo de insecticidas, fungicidas y plaguicidas. Este documento enfatiza las diversas alternativas para el tratamiento de suelos contaminados por agroquímicos utilizados en el cultivo del tomate en Gramalote, Norte de Santander. Se realiza un análisis de los problemas desencadenados por el uso de pesticidas, plaguicidas y fungicidas en las actividades agrícolas correspondientes al establecimiento y producción del cultivo del tomate. Así mismo se analizan los efectos de estos productos contaminantes presentes en los suelos, en el ambiente y en la salud humana. Se analiza una metodología de tratamiento para los suelos afectados por los contaminantes, en la búsqueda de alternativas amigables con el medio ambiente que contribuyan al mejoramiento de estas prácticas que deterioran poco a poco la composición y condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo además de los ecosistemas autóctonos de la zona de influencia del cultivo.

Palabras claves: Agroquímicos, tomate, contaminación, suelo, cultivo.

Abstract

Soils contaminated by agrochemicals used in tomato crops are currently one of the most relevant problems because these crops are susceptible to various pests, diseases and viruses, for which they are controlled through the management of insecticides, fungicides and pesticides. This document emphasizes the various alternatives for the treatment of soils contaminated by agrochemicals used in tomato cultivation in Gramalote, Norte de Santander. An analysis of the problems triggered by the use of pesticides, pesticides and fungicides in agricultural activities corresponding to the establishment and production of tomato crops is carried out.

Likewise, the effects of these polluting products present in soils, the environment and human health are analyzed. A treatment methodology for soils affected by pollutants is analyzed, in the search for environmentally friendly alternatives that contribute to the improvement of these practices that little by little deteriorate the composition and physicochemical and microbiological conditions of the soil in addition to the native ecosystems. of the zone of influence of the crop.

Keywords: Agrochemicals, tomato, contamination, soil, crop.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los principales productos alimenticios de los colombianos, el cual se caracteriza por su amplio consumo, por la cantidad de áreas cosechadas y por el valor económico. Según cifras en el territorio nacional hay una producción de 514 mil toneladas las cuales se obtienen principalmente en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Antioquia y Valle del Cauca. Es una hortaliza que cada vez tiene mayor relevancia nutricional debido a que es una fuente extraordinaria de sustancias antioxidantes (licopeno, betacaroteno vitaminas c y vitamina a); pero al mismo tiempo representa un riesgo si se consume en grandes cantidades para la salud humana ya que para su siembra, cosecha y postcosecha se realiza un uso intensivo de sustancias agroquímicas las cuales incrementan notablemente la contaminación en los frutos y en las tierras de cultivo por metales pesados. La absorción de metales y metaloides contenidos en las tierras de cultivo es la más grande fuente de contaminantes en las plantas.

Es de gran importancia para Colombia y el mundo en general conservar e impulsar la comercialización del tomate como un producto alimenticio de primera necesidad, mediante estrategias de establecimiento y producción amigables con el medio ambiente. Al ser Colombia un país poco competitivo en el cultivo y exportación de tomate se hace interesante la necesidad de incursionar en cadenas de mercados nacionales e internacionales con un producto orgánico, 100% natural, que se convierta en un producto apetecido por los consumidores gracias a las buenas prácticas desde la siembra hasta la cosecha y postcosecha. Logrando así una explotación más rentable y siendo cada vez más competitivo.

En las culturas, a medida que pasó el tiempo y fue influyendo la industrialización y el crecimiento poblacional, en la agricultura se fue incluyendo el uso de agroquímicos con el fin de aumentar la producción, controlar plagas y enfermedades, pero el uso irracional e indiscriminado de estos compuestos trajo consigo nuevas problemáticas para la sociedad como por ejemplo los efectos a largo plazo en la salud donde se ha incrementado los casos de cáncer y enfermedades crónicas, los recursos naturales cada día se degradan más al estar más expuestos a este tipo de sustancias.

Es preocupante la situación frente al uso intensivo de agroquímicos especialmente con categorías tóxicas I, II y III ya que se constituye como una amenaza grave para la biodiversidad y la salud humana debido a su impacto perjudicial y contaminante en el ambiente y su entorno. Este uso indiscriminado de agroquímicos está influenciado por la necesidad de producir cada vez mayor cantidad de alimentos debido al crecimiento demográfico y los productores al ver el desempeño y los avances rápidos resultantes en los cultivos se inclinan por esta forma de producción; es por ello que las instituciones oficiales gubernamentales nacionales e internacionales han establecido unos niveles de la máxima concentración permisible de estos agroquímicos, pero para que se cumplan estas disposiciones es necesario que las autoridades ambientales y municipales contribuyan en la instauración y socialización de la normativa

ambiental y de seguridad industrial con el fin de detener, minimizar y compensar el deterioro de los ecosistemas causado mayormente por la mano del hombre y el uso de inadecuadas prácticas agropecuarias no convencionales en el cultivo del tomate.

La contaminación de los suelos se ha constituido en una problemática de alcance global y los suelos colombianos no son ajenos a esta situación, diariamente se enfrentan situaciones donde la parte superficial de la corteza terrestre se degrada a gran velocidad debido a las practicas vinculadas con actividades agrícolas, donde se destaca el monocultivo en este caso más exactamente el cultivo del tomate en Norte de Santander. Por lo anteriormente mencionado la presente monografía pretende investigar e identificar la situación que vive el sector agrícola en Colombia, así mismo conocer en detalle las actividades relacionadas con el cultivo del tomate y su ciclo de vida; las plagas, enfermedades o virus y los productos agroquímicos que son utilizados para contrarrestar sus ataques; de igual manera se hace énfasis en la situación actual que enfrentan los suelos por cuenta de la contaminación generada por los agroquímicos, sus efectos y consecuencias a nivel ambiental y de salud; en la parte final se pueden observar los procesos de biorremediación, las metodologías de tratamiento y las alternativas de remediación que pueden llegar a implementarse en un suelo con presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos propios de la contaminación generada por agroquímicos en cultivos de tomate.

Son diversas las problemáticas que se generan en un suelo explotado en la producción de tomate las cuales son determinadas por las clases, lapsus de tiempo y cantidades de agroquímicos utilizados desde su establecimiento y producción hasta la poscosecha; las técnicas investigadas tienen un enfoque dirigido a mitigar, compensar y corregir los efectos causados tanto a corto como a largo plazo por los compuestos químicos presentes en las áreas de cultivo. Para alcanzar los resultados esperados de la presente investigación se tiene como apoyo principal la revisión bibliográfica de investigaciones y experiencias realizadas en otras regiones del país o del mundo; así mismo con el fin de verificar y acrecentar los conocimientos en el tema, se realizó una estrategia de seguimiento a un cultivo implementado en suelos del municipio de Gramalote departamento Norte de Santander donde se nos permitió observar desde las labores de preparación del terreno, la germinación de las semillas, el trasplante al área de cultivo, la etapa de producción, hasta la cosecha y poscosecha.

Capítulo I - Generalidades de la Monografía

1.1 Descripción del Problema

La sociedad desde hace varias generaciones atrás por medio de sus prácticas capitalistas encaminadas a la exploración y explotación de los recursos naturales y a la obtención máxima de rentabilidad de los mismos, ha causado un deterioro general cada vez más grave al medio ambiente; configurando una problemática de alcance global, en la cual entidades como la organización de las naciones unidas para la alimentación establece, que más del 40% del recurso suelo se encuentra en un estado lamentable debido a las malas prácticas agropecuarias y a las ineficientes técnicas de remediación, compensación y/o mitigación de las causales de este deterioro.

Es de suma importancia destacar que el recurso natural suelo es fundamental no solo para la presente, sino para las futuras generaciones. Ya que existe la necesidad de garantizar la sostenibilidad de las diferentes especies animales y vegetales. La degradación del suelo mediante las diferentes técnicas de explotación de cultivos perennes conlleva a la generación de alteraciones en la biodiversidad de determinada zona, principalmente reduciendo la materia orgánica que actúa como filtro siendo clave en la fertilidad y regeneración de las características fisicoquímicas y microbiológicas del componente suelo.

El tomate (*Solanun lycopersicum*) representa un sector predominante en la economía de la agricultura mundial, es la hortaliza más importante en el mundo y un producto principal en la alimentación de muchos países, compone el 30% de la producción hortícola mundial, con aprox. 4.6 millones has sembradas, con una producción mundial de 163. 963.770 t, siendo la República de la China la de mayor producción con 50. 552.200 t, seguida por la India 18.227.000 t, Estados Unidos 12. 574.550 t y Turquía con 11. 820. 000 t. En Suramérica la mayor producción se presenta en Brasil que ocupa el puesto 8 en el mundo con 4. 187.646 t, Argentina puesto 28 con 691.383 t; posteriormente, Colombia ocupando el puesto 29 con una producción de 683. 538 t y Chile puesto 46 con 370.523 t. Los departamentos con mayor producción a campo abierto son: Norte de Santander con 116.507 y Santander con 52.599 toneladas, (Daza, 2019)

En Colombia, los departamentos con mayor producción a campo abierto son: Norte de Santander 116.507 toneladas (t), Santander 52.599 t; rendimiento de 26,97 t/ha y Boyacá con 44.870 t; rendimiento de 50,83 t/ha, los de mayor producción bajo condiciones protegidas (invernadero) son Boyacá 115.686 t; rendimiento de 116,76 t/ha, Antioquia 36.570 t; rendimiento de 117, 51 t/ha y Cundinamarca con 23.439 t; rendimiento de 67,98 t/ha. En Norte de Santander, la mayor producción de tomate se ha establecido bajo el sistema a campo abierto, en los últimos años se ha venido implementando el cultivo de tomate bajo invernadero, con una producción de 1.675 t, presentando un rendimiento de 139.58 t/ha frente a 40.92 t/ha con la producción a campo abierto), por lo cual, se encontró ante una situación de cambio tecnológico

en la producción de tomate en el departamento, que toma en consideración los rendimientos observados en la producción en invernadero. (Daza, 2019)

El departamento de Norte de Santander posee diferentes pisos térmicos y suelos adecuados para el establecimiento de un sinnúmero de productos agrícolas; lo cual genera que éstas actividades sean las que generan mayores ingresos económicos a las familias campesinas, las cuales debido a la demanda que se vive en la actualidad se ven en la necesidad de aumentar la producción y para llegar a las cantidades requeridas y lograr un eficiente control de plagas o enfermedades adoptan el uso de compuestos químicos, sin tener en cuenta las alteraciones negativas que pueda llegar a presentar el suelo debido a la aplicación indiscriminada e inadecuada de esos productos.

Las actividades agrícolas son una de las mayores fuentes contaminantes debido a las malas prácticas realizadas y que han sido tratadas a través de los tiempos con normalidad, en el caso de estudio, el cultivo del tomate ha generado efectos nocivos a corto y largo plazo tanto en el suelo, como en el ecosistema y de igual forma en la salud pública debido a la cantidad de agroquímicos utilizados en la siembra producción y cosecha de este alimento. Es de saber que muchas de estas sustancias tóxicas son almacenadas de forma inadecuada afectando considerablemente las características del suelo, asimismo las fuentes hídricas son afectadas mediante la escorrentía o el vertido directo de estos productos tóxicos, además de poner en peligro la flora y fauna autóctonas del lugar.

En Colombia el estado de los suelos es crítico ya que una de las principales causas que afecta en gran proporción es la erosión, donde se puede observar que una de las características presentadas en los suelos con esta condición es la porosidad la cual conlleva a su degradación y pérdida de la capacidad de producir alimentos, así mismo estos suelos no cuentan con las condiciones óptimas para retener y liberar agua, esto sucede debido a las malas prácticas agrícolas donde su mayor influencia es el uso de agroquímicos en los cultivos, además de la tala indiscriminada de árboles, las quemadas, los barbechos, el vertido de sustancias tóxicas, la implantación de cultivos perennes, la salinización, la desertificación entre otros.

1.2 Justificación

En la actualidad, el país hace uso amplio de los agroquímicos en diferentes campos, principalmente en la agricultura esto con el fin de mejorar la producción y el rendimiento de los cultivos, los cuales al ser manipulados de manera inadecuada generan efectos adversos que inciden en contaminación ambiental y toxicidad para los seres humanos; con el uso de agroquímicos en la agricultura se ha abierto una brecha enorme en el rendimiento de las cosechas significando un amplio beneficio para los productores, sin embargo también trae consigo consecuencias graves para la naturaleza como desequilibrio en los ecosistemas contaminación del suelo, contaminación de las fuentes hídricas y generación de residuos. Se conoce que las principales actividades antrópicas que generan una gran carga contaminante se encuentran en el uso indiscriminado de agroquímicos, convirtiéndose en grandes consecuencias para la salud humana al quedar expuestos al consumo de alimentos contaminados por estos compuestos químicos.

El presente trabajo de grado denominado alternativas para el proceso de recuperación de suelos contaminados por el uso de agroquímicos en el cultivo del tomate en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander Colombia, tiene como objetivo principal realizar una revisión bibliográfica de información confiable que tenga como propósito dar a conocer la situación actual del sector agrícola en el país, así mismo la investigación se fundamenta en conocer el ciclo de vida de una plantación de tomate desde la etapa de germinación de la semilla hasta la pos cosecha, haciendo énfasis en factores como plagas enfermedades o virus que puedan llegar a comprometer el desarrollo y producción de un cultivo. De igual forma, se realiza un recorrido por las diferentes generalidades de los agroquímicos utilizados en la industria tomatera desde la producción de estos hasta clasificación y los usos dados en la agricultura. Por otra parte, se relaciona la crítica situación que enfrentan los suelos por cuenta de la contaminación generada por el uso de agroquímicos, las consecuencias a nivel ambiental en los recursos aire, agua, fauna, flora y los efectos en la salud humana mediante la exposición directa o por el consumo de frutas, verduras u hortalizas contaminadas.

Al finalizar el documento se encuentra un capítulo que se denomina procesos de biorremediación donde se presentan los resultados obtenidos de la investigación sobre las alternativas más eficaces que contribuyen a la remediación de suelos contaminados por el uso inadecuado e indiscriminado de agroquímicos en el establecimiento del cultivo de tomate, dando a conocer las debilidades y fortalezas de cada alternativa estudiada. Así mismo, basándose en la delimitación del área de estudio que corresponde al municipio de Gramalote departamento Norte de Santander se realizó la elección de la alternativa más viable que permita mitigar y compensar los efectos o consecuencias causados al recurso suelo por el uso intensivo de agroquímicos; se hizo necesaria ésta elección debido a que se conoce que el establecimiento de cultivos de tomate trae consigo un sinnúmero de consecuencias para el medio ambiente, como por ejemplo suelos erosionados y contaminados por los compuestos químicos adicionados en la etapas de producción los cuales no solo generan contaminación en el suelo sino también en los cuerpos de

agua mediante el riego y la escorrentía; además de causar problemas en los ecosistemas tanto a corto y como a largo plazo mediante la fijación de los agentes químicos en las raíces de las plantas y en el ambiente teniendo como consecuencia la degradación progresiva de los recursos naturales.

El presente documento se considera de suma importancia para los productores de tomate ya que se da a conocer de forma clara, concisa y precisa las problemáticas a las que pueden llegar a enfrentarse, el ataque de plagas y enfermedades, las consecuencias en el medio ambiente y en la salud humana que puede traer consigo la inadecuada manipulación o utilización de agroquímicos y las demás acciones que se llevan a cabo al implementar un cultivo como la tala indiscriminada, el barbecho, la incorrecta disposición de residuos o aguas con altos porcentajes de metales, las cuales degradan los ecosistemas causando daños irreversibles al medio ambiente. Así mismo se hace énfasis en la necesidad de cambiar este tipo de prácticas y costumbres por alternativas más amigables con el medioambiente las cuales contribuyan a la conservación y bienestar de cada hábitat.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar una revisión documental sobre las alternativas para el tratamiento de suelos contaminados en el establecimiento y producción del cultivo de tomate, afectado principalmente por el uso de pesticidas, plaguicidas y fungicidas.

1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar las alternativas para la remediación de suelos contaminados por el uso de agroquímicos en el cultivo del tomate en el municipio de Gramalote Norte de Santander Colombia.

Reconocer una metodología eficaz para la minimización de los efectos causados al suelo por el uso indiscriminado de agroquímicos.

Determinar las consecuencias a nivel ambiental y de salud que el uso de agroquímicos causa durante el establecimiento y producción del cultivo del tomate.

1.3 Marco Conceptual y Teórico

El tomate es una hortaliza que presenta una alta diversidad genética, existiendo innumerables variedades con distinto aspecto, color y sabor, además de presentar una demanda que aumenta continuamente, con ello su producción y comercialización. No obstante, este incremento de la producción obedece más bien a un mayor rendimiento que a un crecimiento en la superficie cultivada. La rusticidad de la planta de tomate permite que sea poco exigente a las condiciones de suelo, sin embargo, debe tener un buen drenaje. De aquí la importancia de un suelo con alto contenido de materia orgánica, es decir, en suelos arcillosos y arenosos se desarrolla con un mínimo de 40 cm de profundidad. El tomate, como cualquier planta, requiere elementos nutritivos imprescindibles o esenciales, que son aquellos que no deben faltar para el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo (Torres, 2017)

El 75 % de la producción mundial de tomate se destina al consumo en fresco, mientras que el 25 % restante, a la industria, para la elaboración de pasta concentrada, salsas y tomate pelado, rebanado y deshidratado (Lopez, 2016). En la actualidad, el uso de plaguicidas (también llamados biosidas, pesticidas, agroquímicos, fitosanitarios) es una de las prácticas más habituales en la agricultura convencional para combatir organismos perjudiciales. El no uso de ellos en muchos cultivos, perjudicaría considerablemente la productividad y calidad de los alimentos, principalmente por daños ocasionados por plagas (insectos y ácaros) y enfermedades (hongos, bacterias y virus) e incluso por el no control de malezas en los huertos (Torres, 2017).

En la producción agrícola el uso de insecticidas orgánicos sintéticos ha alcanzado en el último siglo un incremento, pero la carencia de regulación en su empleo y el aumento de dosis innecesarias, sin racionalidad, ha tenido efectos perjudiciales en el ambiente y la salud humana. Estas consecuencias se reflejan en la elevación del costo de la protección fitosanitaria, en la aparición de resistencia y de nuevos insectos plaga (Ruiz, Ruiz, Guzmán, & Pérez, 2011)

Los insectos plaga (IP) del cultivo del tomate combatidos con insecticidas son: mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius, *Trialeurodes vaporariorum* West), áfidos (*Myzus persicae* Sulzer y *Aphis gossypii* Glover) y psílidos (*Paratriosa cockerelli* Sulc.), vectores de enfermedades virales que afectan hasta el 100 % del cultivo, así como los gusanos del fruto (*Helicoverpa zea* Boddie y *H. virescens* Fabricius). En Oaxaca estado de México, por ejemplo, se reportan más de 25 aplicaciones de plaguicidas en el ciclo del cultivo del tomate y su aplicación indiscriminada origina problemas en el agroecosistema como la resistencia y surgimiento de IP, antes considerados secundarios, la eliminación de organismos benéficos, la recalcitrancia de los residuos tóxicos, el riesgo directo para la salud de quien los maneja, así como para los consumidores, y en casos extremos la desaparición del cultivo vegetal en ciertas áreas (Bravo, 2002). Se conoce que durante los últimos 35 años se ha aumentado el uso de plaguicidas a nivel mundial con una tasa de crecimiento de 4 a 5,4% la principal fuente de plaguicida es el carbono y nitrógeno degradándose principalmente por la actividad microbiana presente en el suelo (Izquierdo & Loyola, 2017).

1.5 Marco Referencial

1.5.1 Antecedentes

Los antecedentes nos permiten conocer las experiencias vividas por otras personas dentro de una investigación, por lo tanto, en la realización de este ítem se pretende conocer los resultados obtenidos en proyectos implementados para la biorremediación de suelos en casos tanto a nivel nacional como internacional. Inicialmente se encontró un interesante trabajo titulado “Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible”, esta investigación que fue realizada por Garzón, Rodríguez y Gómez (2017) y permite conocer, en el momento de enfrentar un problema de contaminación la importancia de enfocarse y tener claridad del tipo de contaminante tratado, así como también las causas y consecuencias que puede llegar a sufrir un suelo que ha sido expuesto indiscriminadamente a sustancias químicas las cuales mediante su acción destructiva eliminan las características fisicoquímicas y microbiológicas que permiten la reproducción de vida vegetal en determinada área; de igual forma se describen las posibles dificultades que puedan llegar a presentarse al momento de implementar un método de biorremediación, donde influyen aspectos tales como la variabilidad ambiental del sustrato, el potencial limitado de la biodegradación, la viabilidad de los microorganismos según la problemática, entre otras vertientes que deben ser analizadas para lograr los resultados esperados y una correcta remediación del suelo tratado (Garzón, Rodríguez, & Gómez, 2017)

Por otra parte, se pueden evidenciar los resultados obtenidos por Bernal (2014) donde según su estudio denominado “Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general”, se enfatiza en la importancia de elegir la técnica adecuada que contribuya al mejoramiento del suelo afectado, planteándose la variabilidad dependiente de la posible relación entre los procesos fisiológicos en la planta y los compuestos tóxicos presentes en el suelo, debido a que en cada modalidad de la fitorremediación intervienen el tipo de contaminante, la diversidad microbiana y las propiedades del suelo, aspectos que deben ser tenidos en cuenta antes de optar por alguna forma de implementación de la misma (Bernal, 2014).

Según el estudio realizado por Munive *et all* (2018) llamado “Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados”, se evidencian hallazgos un poco desconocidos sobre el maíz donde, dentro de sus principales características se destaca que es una planta exclusora y estabilizadora de metales pesados; así mismo se dan a conocer la propiedades del vermicompostaje de Stevia como el más efectivo en cuanto a la absorción de los metales del suelo. Esta investigación permite conocer e identificar un conjunto de tecnologías como la fitorremediación donde se utilizan plantas para descontaminar el suelo, el aire o el agua, pudiendo observar los alcances y formas al momento de su implementación al mismo tiempo que se generan las condiciones óptimas para la recuperación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del recurso en estudio (Munive, Loli, Azabache, & Gamarra, 2018).

Un proyecto a tener en cuenta para estos casos es el realizado por Fabelo (2017) el cual es denominado “Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados”, donde se describe dentro de sus conclusiones la importancia de conocer la factibilidad económica y tecnológica al momento de implementar cualquier método de remediación; haciendo énfasis en la metodología a implementar mediante una secuencia de pasos para desarrollar el proceso de recuperación en función de las condiciones presentes en el suelo y sus contaminantes, además de la correcta elección de las técnicas más convenientes y sostenibles a largo plazo (Fabelo, 2017)

Este conjunto de investigaciones gira en torno a la problemática que constituye el objetivo general de la investigación, la cual se fundamenta en las alternativas para el tratamiento de suelos contaminados en el establecimiento y producción del cultivo del tomate, así mismo el reconocimiento de una metodología eficaz que minimice los efectos de los agroquímicos a corto y largo plazo, determinando las consecuencias a nivel ambiental y de salud que trae consigo el uso y consumo de estos compuestos, teniendo en cuenta los aportes de la tecnología junto con los casos implementados en otros países y que pueden ser tomados como referencia.

1.6 Marco Legal

La constitución política de Colombia en su artículo 79 de 1991 permite conocer el derecho fundamental a un ambiente sano, donde todas las personas sin distinción de raza, credo o religión gocen plenamente de un ambiente con todas las condiciones para su bienestar “La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Artículo 81, 1991). De igual forma se resalta la necesidad de regular el uso del suelo: “Es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular”. Las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común (Artículo 82, 1991). En ese orden de ideas también aborda la relación entre la calidad de vida de los habitantes y el saneamiento ambiental: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación (Artículo 366, 1991). Esta norma constitucional puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que éste sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida pueda disfrutarse con calidad.

El artículo 8 de la constitución trata sobre las riquezas tanto culturales como naturales de la nación y establece la obligación del estado y de las personas para su conservación.

El artículo 49 plantea la atención de la salud y el saneamiento ambiental donde se consagra como servicio público estos bienes y servicios, ordenando al estado la organización, dirección y reglamentación de estos.

En el artículo 58 se establece que la propiedad es una función social que implica obligaciones y que, como tal, le es inherente una función ecológica.

La planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales se establece en el artículo 80 donde reza que es deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

En el artículo 95 se encuentra la protección de los recursos culturales y naturales del país donde se establece como deber de las personas, la protección y la conservación de un ambiente sano.

El Decreto 2811 de 1974 también llamado Código Nacional de Recursos Naturales es de gran importancia en la protección del ambiente como un patrimonio común y en esa medida en el artículo 2 señala lo vital de “Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales”, en su artículo 8 define los factores que deterioran el ambiente, entre otros: La degradación, la erosión, el revenimiento de suelos y las alteraciones nocivas de la topografía”.

El marco normativo establecido en Colombia da a conocer las leyes que conservan y protegen los recursos naturales de diversos riesgos y amenazas, así mismo los diferentes instrumentos o herramientas que se han habilitado para la prevención, tratamiento y recuperación de estos.

1.6.1 Bases Teóricas

Según Silva y Correa (2009) el suelo es definido como un componente esencial del ambiente en que se desarrollan variados tipos de vida es un recurso vulnerable, de difícil y larga recuperación, se conoce que pasa por un ciclo de miles de años para formarse, es considerado un recurso no renovable y su extensión es limitada. En su largo proceso de formación interviene el clima, la biota, el relieve, la roca madre, el tiempo y la superficie de la litosfera (Silva & Correa, 2009). El clima es uno de los factores que influyen de manera directa sobre la formación del suelo al condicionar la velocidad de meteorización de la roca madre donde influyen elementos como son la temperatura y la precipitación, estos dos parámetros del clima afectan la tasa de meteorización química y el crecimiento de las poblaciones de organismos, así como la velocidad de descomposición de la materia orgánica. El agua es el solvente y medio para todas las reacciones y procesos del suelo, mientras que la temperatura determina la tasa de reacciones químicas y la intensidad de la actividad biológica (Intagri, 2017). La biota está representada por todos los organismos vivos; la fauna del suelo tiene un rol fundamental en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos del suelo. Por otra parte, las raíces de la vegetación participan activamente para la formación del suelo, ya que son capaces de crecer dentro de las grietas y fisuras de las rocas, acelerando la meteorización. Las plantas contribuyen a la meteorización química debido a que producen ácidos orgánicos y dióxido de carbono, que son compuestos que aceleran el proceso de descomposición de los minerales y la liberación de nutrientes requeridos por las plantas.

El relieve es una característica que influye en la distribución del agua recibida por medio de la precipitación, por lo que afecta directamente el proceso de la erosión hídrica donde las superficies elevadas con relieves inclinados o convexos pierden más agua por escorrentía, arrastrando sedimentos, por lo que los suelos son más someros, mientras que las superficies más bajas que son cóncavas o depresivos reciben agua extra y sedimentos, por lo que el desarrollo de los suelos es más profundo.

Según Intagri (2017), los suelos se derivan principalmente de las rocas, por lo que se le denomina material parental. Estos materiales definen en gran parte el color, la composición, la textura y la estructura de los suelos. Sin embargo, un mismo tipo de roca puede dar lugar a suelos con distintas características, dependiendo las condiciones del medio en el que evolucione (Intagri, 2017). La formación del suelo es un proceso constante que involucra la interacción entre el material parental, la biota, el clima, el relieve y el tiempo. El suelo es un recurso natural que presta una variedad de servicios ambientales para el bienestar de todas sus formas de vida; donde, según Dorronsoro (2007) se pueden encontrar las expuestas en la tabla 1.

Tabla 1

Servicios ambientales del suelo

Servicio ambiental	Descripción
Generación de alimento y demás producción de biomasa.	Los alimentos y otros productos agrícolas son esenciales para la vida humana y dependen totalmente del suelo para su desarrollo. Todas las formas de vida necesitan del suelo para obtener tanto agua como nutrientes y soporte físico.
Almacenaje, filtración y transformación.	El suelo es un sistema completo que almacena, filtra y transforma la materia para su composición, es rico en minerales, materia orgánica, agua y varias sustancias químicas. Funciona como un filtro natural de las aguas subterráneas, contiene la principal reserva de agua potable y libera dióxido de carbono, metano y otros gases a la atmósfera.
Hábitat y reserva genética.	El suelo es el hábitat de todo tipo de organismos que viven tanto bajo el suelo como sobre él, cada uno con un genotipo irremplazable que cumple una función ecológica esencial.
Entorno físico y cultural para la humanidad.	El recurso suelo brinda alimentos, hogar y bienestar a los seres vivos, sirve de base a las actividades humanas, es un elemento del paisaje y del patrimonio cultural.
Fuente de materias primas.	Los suelos proporcionan un sinnúmero de bienes, de servicios y de materias primas tales como las arcillas, las arenas, los minerales, entre otros, que se emplean en diversos procesos productivos.

Fuente: (Dorronsoro, 2007)

Dentro de los bienes y servicios prestados por el recurso suelo está el esparcimiento de la población, el cual hace parte de la identidad cultural de cada región, también sirve como vertedero de desechos, es tema de investigaciones antropológicas y así en general evoluciona tanto como lo hacen las diferentes formas de vida en el planeta, aunque a un ritmo que tiende a ser despacio, puesto que por ser el suelo un sistema abierto se transforma continuamente, pero de

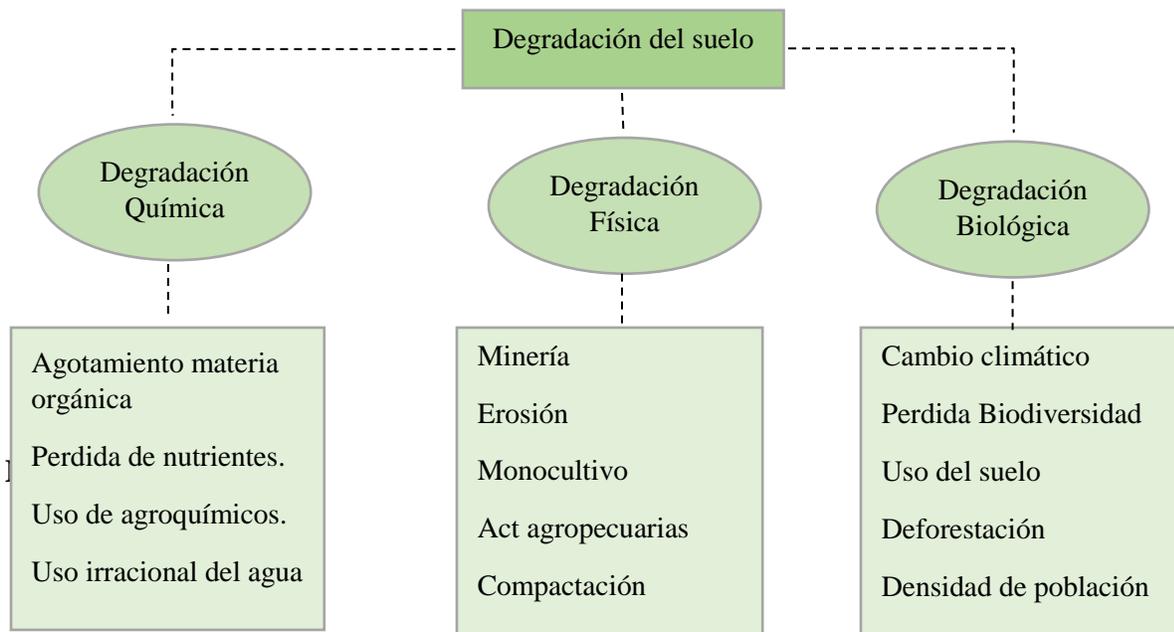
manera muy lenta, razón por la cual se le clasifica como un recurso natural no renovable (Cotler, y otros, 2007).

Por otra parte, se encuentra el surgimiento de problemas de degradación dentro del constante desarrollo del suelo los cuales disminuyen la capacidad productiva y limitan las funciones de este, acrecentando situaciones graves como lo es el desplazamiento del material edáfico el cual es propiciado por el agua y el viento o el deterioro interno de los suelos que involucra procesos químicos como la acidificación, salinización y/o compactación. Estos procesos no suceden de forma única o separada, sino que varios de ellos pueden tener una incidencia conjunta sobre la degradación del suelo, por ejemplo, la erosión hídrica puede generar un deterioro como la pérdida de la fertilidad, esto refleja su nivel de fragilidad porque en general “todo uso de la tierra, que modifica el tipo y la densidad de las poblaciones vegetales originales y/o que dejan al descubierto la superficie del suelo, propicia su degradación” (Cotler, y otros, 2007).

Entre las principales causas de la degradación se identifican las expuestas en la tabla 2.

Tabla 2

Principales causas de degradación del suelo



Fuente: (Cotler, y otros, 2007)

Dentro de los efectos causados por la degradación del suelo se incluyen la contaminación ya que según Wagner (1996) esta acción modifica las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo mediante el uso irracional de productos químicos o por el crecimiento de las industrias económicas (Wagner, 1996). Como son “el manejo de hidrocarburos, aplicación de plaguicidas, la mala planeación en rellenos sanitarios, la acumulación excesiva de desechos

industriales, así como las grandes cantidades de desechos sólidos generados por asentamientos humanos”. Por otra parte, para Ortiz *et al* (2007) es necesario considerar algunos aspectos al momento de abordar la contaminación del suelo; más allá de identificar la sustancia que produce el desequilibrio, se debe verificar si su presencia supera la máxima cantidad soportable por este recurso, es decir si excede su capacidad de amortiguación (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

Según Uquiche (2017), también se deben tener en cuenta cuatro factores claves para el estudio de la contaminación en el suelo; el primero es la vulnerabilidad que consiste en la sensibilidad mostrada por el suelo ante los agentes contaminantes, en especial cuando su capacidad de amortiguación sea baja, el segundo es la biodisponibilidad que habla de la asimilación del contaminante a través de los organismos, esta dependen también del sistema radicular de las plantas y de las fases solución y sólida del suelo, el tercero es la movilidad que se encarga de regular la distribución y el transporte del suelo hacia otros medios, finalmente el cuarto factor es la pertinencia que controla la duración del efecto negativo en el suelo (Uquiche, 2017).

Según lo anteriormente mencionado los principales agentes contaminantes derivados del cultivo de tomate son los siguientes:

Tabla 3

Agentes contaminantes de un cultivo de tomate

Agente contaminante	Descripción
Metales pesados	Los metales pesados tienen su origen en el substrato litológico donde aparecen como elementos nativos o incorporados en estructuras de sulfuros, silicatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos. Los aportes dominantes se producen por deposición atmosférica y afectan de forma significativa a los primeros centímetros de suelo. Son fuentes importantes de metales en suelos las cenizas y escorias de los procesos de combustión de carbón fósil o derivados del petróleo, el aporte directo procedente de actividades agrícolas (adición de agroquímicos, lodos de depuradoras, compost, etc.)
Salinización	Para que ocurra un proceso de salinización o acumulación de sales en el suelo es necesario que haya un fuerte aporte de estas y que su eliminación del suelo esté impedida por algún mecanismo, como malas condiciones de drenaje y lavado. Las acciones del hombre contribuye en gran medida a la contaminación de los suelos por sales a través de prácticas agropecuarias inadecuadas, como el riego con aguas salinas y el empleo de cantidades muy elevadas de agroquímicos solubles, de la sobreexplotación de acuíferos, que ocasiona un descenso de los mantos freáticos regionales y de

	<p>actividades industriales y mineras que contaminan directamente los suelos o indirectamente a partir de deposiciones atmosféricas o de las aguas superficiales.</p>
Fitosanitarias	<p>Por la acción del hombre se causan graves daños a los recursos naturales ya que en su afán de mejorar la producción de sus cultivos y controlar la acción de las plagas (insectos, hongos, nemátodos, malas hierbas, etc.) desde hace décadas ha venido implementando el uso de agroquímicos los cuales una vez aplicados, son absorbidos por las plantas generando procesos de adsorción, volatilización, lavado y degradación biótica y abiótica en el suelo; lo cual conduce a la formación de nuevos productos más móviles, persistentes y más peligrosos que los compuestos de partida, estos productos se encargan de contaminar los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, las cosechas y pasan a la cadena trófica.</p>
Contaminantes orgánicos	<p>Los contaminantes orgánicos son los que con mayor frecuencia encuentran en los suelos debido a que algunas regiones del país son de vocación petrolera, donde se encuentra una amplia gama de hidrocarburos monoaromáticos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos policlorados, fenoles, nitroaromáticos, alcoholes, éteres, disolventes clorados, isocianatos, cianuros orgánicos, carbonilos de metales, etc.</p> <p>Según sea la distribución y el comportamiento de los compuestos orgánicos contaminantes en los suelos estos son regidos por diferentes factores que incluyen las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo (pH, contenido en materia orgánica y arcilla, potencial redox, contenido en nutrientes, actividad microbiológica, etc.), las propiedades específicas de cada compuesto (presión de vapor, solubilidad, estabilidad química, biodegradabilidad, características de sorción, etc.) y factores ambientales como la temperatura y la precipitación. Así mismo, estos compuestos pueden sufrir procesos de lavado, biodegradación, volatilización, foto descomposición e hidrólisis, inmovilización por adsorción y formación de enlaces con partículas de arcilla, óxidos, oxihidróxidos y finalmente se transfieren a organismos.</p>

Fuente: (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007)

Según Volke y Velasco (2002) en su libro tecnologías de remediación para suelos contaminados existe una gran variedad de estrategias para la recuperación de suelos

contaminados donde se pueden identificar tres grupos de técnicas de biorremediación que son las más utilizadas al implementar procesos directamente en el suelo (insitu) las cuales consisten en establecer métodos de contención, un confinamiento del área y una descontaminación del recurso en estudio (Volke & Velasco, 2002).

Biorrecuperación: Las técnicas de biorrecuperación consisten básicamente en el aprovechamiento de los procesos microbianos naturales que se producen en el suelo, mediante los cuales los contaminantes son utilizados por los microorganismos como fuente de alimento o de energía para poder desarrollar sus actividades

Biodegradación asistida: La biodegradación consiste en la disgregación de sustancias orgánicas en moléculas menores o en componentes inorgánicos, denominándose “mineralización” a la degradación completa de un contaminante orgánico en constituyentes inorgánicos. En condiciones aerobias los productos finales son CO_2 , agua y materia celular. En condiciones anaerobias el producto final de la biodegradación es CH_4 , CO_2 y H_2 . Estos procesos de transformación y degradación son el resultado del uso por parte de los microorganismos de los contaminantes orgánicos como fuente de alimentación y energía.

Biotransformación de metales: Es considerada cualquier alteración de la estructura atómica o molecular de un metal, por parte de microorganismos. El principal problema de los metales pesados es que no pueden ser biodegradados, sin embargo, los microorganismos pueden interaccionar con ellos transformándolos. Las principales transformaciones se deben a cambios en el estado de oxidación. Esto influye de forma drástica en la movilidad del contaminante, ya que en algunos casos aumenta la solubilidad de los productos de alteración, favoreciendo así su eliminación del medio, y en otros casos disminuye, produciéndose una inmovilización del contaminante.

En referencia al análisis realizado se considera más apropiado plantear la consecución de un proceso de recuperación de suelos contaminados por el uso intensivo de agroquímicos en el cultivo de tomate, basado en la metodología denominada fitorrecuperación que consiste en el empleo de plantas y sus microorganismos asociados para obtener una mejora funcional y recuperación del suelo contaminado; mediante procesos naturales donde las plantas y la microbiota asociada a sus raíces degradan los contaminantes para luego transformarlos en su propio alimento; ésta selección es motivada debido a que la fase en campo fue desarrollada en cultivos a cielo abierto y se evidencio la necesidad de implementar técnicas de biorrecuperación que cumplan con la función de descontaminar el área afectada por los compuestos químicos propios de las labores llevadas a cabo en la industria tomatera (Volke & Velasco, 2002).

1.7 Metodología

1.7.1 Tipo de estudio

La metodología definida para la consecución de la presente monografía se constituye en un paradigma cualitativo con enfoque de análisis documental el cual según Hernández R (2014), “da profundidad a los datos, la dispersión, la riqueza interpretativa, la contextualización del ambiente o entorno, los detalles y las experiencias únicas” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Se ha planteado una problemática que está afectando en grandes proporciones los suelos colombianos y del mundo mediante el uso indiscriminado de agroquímicos en el establecimiento, cosecha y postcosecha del cultivo de tomate. Es una situación que nos permite conocer a profundidad y establecer interpretaciones holísticas sobre el tema de la contaminación de los suelos y su recuperación; asimismo se enfatiza en el diseño y ejecución de diversas alternativas eficaces de acción que mitiguen, compensen y corrijan la degradación causada al suelo; además de medir las consecuencias a nivel ambiental y de salud que pueda traer el uso y consumo de estos productos químicos.

La revisión documental implementada para obtener los datos necesarios en la investigación consiste en un “trabajo sistemático, objetivo, producto de la lectura, análisis y síntesis de la información producida por otros, para dar origen a una nueva información, con el sello del nuevo autor mediante la recolección, organización, análisis e interpretación de la información de fuentes bibliográficas consultadas para el tema” (Morales, 2003)

Por otra parte, para ampliar los conocimientos en cuanto a los procesos llevados a cabo en un cultivo de tomate se estableció la importancia de realizar un recorrido por las áreas de siembra con los productores de dicha verdura del municipio de Gramalote Norte de Santander, donde se recolectaron amplios y variados datos que corresponden al ciclo de vida del tomate en un cultivo a cielo abierto, los tipos y métodos de esparcimiento de los fertilizantes, los elementos de protección personal que son utilizados al momento de aplicar los agroquímicos, la disposición final de los residuos generados tales como envases, etiquetas, sobrantes de agroquímicos etc., los sistemas de riego utilizados, las características del terreno donde se implementan los cultivos, la escorrentía del terreno, las problemáticas visibles que presenta el área de siembra y sus alrededores, las fuentes hídricas cercanas al cultivo, entre otros datos recolectados.

Mediante el análisis documental realizado a las fuentes consultadas, junto con los datos obtenidos en campo se consolidaron en este documento los resultados más relevantes en cuanto a la preparación del suelo, la siembra, el establecimiento del cultivo, la cosecha y postcosecha del tomate, todo esto con el fin de conocer el proceso y las problemáticas que enfrentan los suelos durante y después del ciclo productivo de un cultivo, además de dar a conocer una visión actualizada de los métodos de biorremediación y los nuevos avances en materia tecnológica que pueden implementarse para remediar un suelo degradado.

Capítulo II – Generalidades del cultivo de tomate y su relación con los agroquímicos

2.1 Sector agrícola en Colombia

Según los resultados expuestos en el capítulo anterior, se dan a conocer las principales generalidades del cultivo de tomate, las zonas de cultivo, el uso de agroquímicos para su producción, la importancia, la degradación ocasionada al suelo por el uso intensivo de agroquímicos, mecanismos de control y regulación de los agroquímicos por parte de organismos nacionales e internacionales. Los esfuerzos por controlar este tipo de sustancias no han sido suficientes frente a la degradación que ocasionan a los recursos naturales y a la salud humana. Es de gran importancia tomar conciencia de los riesgos que se generan en el presente y que repercutirán en las generaciones futuras por cuenta de los hábitos inadecuados al momento de establecer un cultivo. Se hace necesario ser conscientes de los riesgos a los que se expone el ser humano y crear una conciencia pública, ambiental y de salud con el fin de mitigar y minimizar las acciones que han degradado los recursos naturales y que amenazan con extinguir especies animales y vegetales que hacen parte del entorno que complementa y provee de bienestar al ser humano. Según el Ministerio del Medio Ambiente, se conoce que mundialmente Colombia es uno de los pocos países con gran potencial de expandir su área agrícola ya que se posee unas características especiales en el clima, además de contar con una alta biodiversidad, es rico en recursos hídricos y minerales (MinAmbiente, 2000)

Hoy en día existen organizaciones que propenden por el cuidado del medio ambiente, los gobiernos están en la obligación de hacer cumplir las leyes que buscan la protección de los recursos naturales y el buen vivir de todas las especies que habitan la tierra, trabajar en pro del cuidado de la naturaleza es una forma de contribuir a la construcción integral del desarrollo y bienestar para los seres humanos. El medio ambiente cada día se degrada más y si no se implementa una medida eficaz de mitigación y compensación de los daños causados desaparecerán todas las especies hasta llegar al hombre. Es necesario cambiar de mentalidad y de costumbres enfocándose en adoptar nuevas formas para atender los requerimientos alimenticios que el crecimiento poblacional exige cada día mediante la aplicación de medidas, técnicas y prácticas ecológicas sostenibles que sean racionales en cuanto al uso de la tierra. Esta creciente situación nos lleva a plantearnos una búsqueda inteligente de alternativas con el fin de implementar cultivos orgánicos, donde se erradique en su totalidad las inadecuadas prácticas agrícolas y el uso de agroquímicos en la producción de los cultivos. La agricultura orgánica es una práctica eficiente y sana de producción de alimentos que respeta la naturaleza, al mismo tiempo que quien la realiza obtiene beneficios económicos importantes, se caracteriza por eliminar los plaguicidas y utilizar abonos verdes que incrementan la resistencia de las plantas y proporcionan los minerales necesarios para su crecimiento y desarrollo, mejorando la retención de humedad, así como también evitando la erosión de los suelos.

2.2 El cultivo de tomate y su ciclo de vida

Según lo documenta el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (1990) en su libro guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate, ésta hortaliza es originaria de la zona andina, más exactamente en la región comprendida entre Perú, Bolivia y Ecuador aunque la zona de domesticación fue el sur de México y el norte de Guatemala, tomo popularidad a mediados del siglo XIX convirtiéndose en un alimento de gran aceptación a nivel mundial, pertenece a la familia *Solanaceae* cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum* (CATIE, 1990)

Es una planta perenne de porte arbustivo que puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, su sistema radicular está formado por la raíz principal que es corta y numerosas raíces secundarias más las raíces adventicias. En la raíz principal se encuentra la epidermis y se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, en el cilindro central se encuentra la xilema que forman un conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes. El tallo principal tiene un eje de 2-4 cm de grosor en su base, sobre el que se desarrollan las hojas, los tallos secundarios y las inflorescencias. La flor es perfecta, regular e hipógina con 5 o más sépalos e igual número de pétalos de color amarillo y de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo. El fruto puede alcanzar un peso de 600 gramos, está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Vallejo & Estrada, 2004).

Para establecer una plantación de tomate es importante tener en cuenta el manejo racional de los factores climáticos ya que esto determina un adecuado cultivo. La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo oscila entre 20° a 30°C durante el día y entre 1° a 17°C durante la noche, se conoce que temperaturas superiores a los 30°C afectan a la fructificación mediante la incorrecta formación de óvulos, el desarrollo de la planta y el sistema radicular; mientras que temperaturas inferiores a 15°C originan problemas en el desarrollo de la planta. La maduración del fruto está condicionada por la temperatura, la cual afecta la precocidad y la coloración, donde temperaturas cercanas a los 10°C o superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas. La humedad es un valor que determina el desarrollo y producción de la planta, una humedad relativa óptima oscila entre 60-80% ya que si la plantación tiene un nivel de humedad muy elevado puede favorecerse el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y la dificultad de fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El agrietamiento del fruto puede llegar a originarse por un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. Por otra parte, la luminosidad juega un papel muy importante ya que si existe una falencia de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración y fecundación, así como en el desarrollo vegetativo de la planta. La planta de tomate no es exigente al suelo, excepto en lo relativo al drenaje, prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. Aunque se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos, en cuanto al pH, los suelos pueden ser ligeramente ácidos o alcalinos (Vallejo

& Estrada, 2004). En la figura 1 se observa la germinación del tomate en los semilleros hallados en la zona de cultivo del municipio de Gramalote.

Figura 1

Implementación de semilleros para la germinación del tomate



Fuente: Autores

Según datos revelados por Cámara de Comercio de Bogotá (CCB) (2015) para el año 2013 en Colombia se produjeron de 412.351,2 toneladas, siendo Norte de Santander el principal departamento productor con 119.787 ton, seguido por Antioquia con 47.110 ton, Boyacá con 46.638 ton, Santander con 42.924 ton y Cundinamarca con 26.851 ton; las variedades más sembradas son el Chonto, Cherry y Milano (CCB, 2015)

En un cultivo de tomate se debe tener en cuenta la marcación la cual se establece en función del porte de la planta dependiendo de la variedad cultivada; el marco más utilizado es el de 1,5 metros entre líneas y 0,5 metros entre plantas.

Una práctica imprescindible del cultivo es la poda la cual se realiza a los 10 o máximo 20 días luego del trasplante cuando aparecen de los primeros tallos laterales, donde se eliminan los tallos y las hojas más senescentes, mejorando así la aireación del cuello y facilitando la realización del aporcado. El aporcado es una labor que consiste en cubrir la parte inferior de la planta con tierra fértil tras la poda, donde se pretende favorecer la formación de un mayor número de raíces. Por otra parte, el entutorado consiste en mantener la planta erguida y evitar que las hojas y los frutos, toquen el suelo, de este modo, se mejorará la aireación general de la planta y se favorecerá el aprovechamiento de la radiación favoreciendo la calidad del fruto y el control de enfermedades. El destallado consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal, debe realizarse con la mayor frecuencia posible semanalmente en verano-otoño y cada 10 o 15 días en invierno para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa; los cortes deben ser limpios para evitar una posible aparición de enfermedades. Es recomendable eliminar las hojas senescentes para facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos y las hojas enfermas para eliminar así la fuente de inoculación (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, 2010).

La fertirrigación se realiza con el fin de aportar agua y nutrientes de forma generalizada mediante riego por goteo en función del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que ésta se desarrolla la nutrición es de gran importancia a lo largo de todo el ciclo de cultivo; el nitrógeno debe suministrarse de forma gradual, ya que se adapta a las necesidades de cada cultivo a lo largo de su periodo de desarrollo y se consigue disminuir así también las pérdidas de nitrato por lixiviación y desnitrificación. Por otra parte, el fósforo juega un papel muy importante en las etapas de enraizamiento y floración, es determinante sobre la formación de raíces, sobre el tamaño y calidad de las flores; durante el invierno hay que aumentar el aporte de este elemento y del magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo. El calcio es otro macroelemento fundamental en la nutrición del tomate, con el suministro necesario de este elemento se evita la necrosis apical ocasionada normalmente por la carencia o bloqueo del calcio en terrenos generalmente salinos o por graves irregularidades en los riegos, con un correcto aporte de calcio, se favorece que el fruto consiga un mayor calibre y se evita la aparición de rajado. El hierro también juega un papel primordial en la coloración de los frutos al igual que el manganeso, el zinc, el boro y molibdeno (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, 2010).

2.3 Plagas, enfermedades y virus que afectan un cultivo de Tomate

Según el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, (1990) dentro de las variables patógenas que afectan y comprometen la producción de un cultivo de tomate se encuentran las siguientes:

Araña roja (*Tetranychus urticae*, *T. turkestanii* y *T. ludeni*): Los primeros síntomas que provoca la araña roja son decoloraciones o manchas amarillentas en el envés de la hoja, las cuales pueden llegar a apreciarse también en el haz. Cuando las poblaciones son elevadas se produce desecación o incluso defoliación, los ataques más graves se producen en los primeros estados fenológicos, las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa favorecen el desarrollo de la plaga. El control preventivo consiste en desinfectar las estructuras y el suelo, eliminar las malas hierbas y restos de cultivo, asimismo evitar los excesos de nitrógeno y vigilar minuciosamente los cultivos durante las primeras fases de desarrollo. El control biológico se realiza mediante enemigos naturales como los ácaros *Phytoseiulus persimilis* o el *Amblyseius californicus* (CATIE, 1990).

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*): Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos, donde realizan las puestas en el envés de las hojas, luego emergen las primeras larvas, las cuales son móviles. Tras fijarse en la planta pasan por tres estados larvarios y uno de pupa. Los daños que ocasionan al cultivo son amarilleamiento y debilitamiento de las plantas los cuales son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Otro daño que se clasifica como indirecto es la proliferación de negrilla sobre la melaza producida durante la alimentación de la plaga, manchando de los frutos y dificultad en el normal desarrollo de las plantas. Como medida preventiva se puede recurrir a la instalación de trampas cromáticas amarillas y a la limpieza de malas hierbas; además de evitar la asociación de cultivos en la misma área de siembra y quitar las hojas demasiado jóvenes con el fin eliminar pupas recién parasitadas. Para el control biológico de la mosca blanca existen muchos depredadores, parasitoides y algunos hongos entomopatógenos de la mosca blanca. Ejemplo: orden himenóptera: avispidas muy pequeñas tales como *erectmocerus spp*, *encarsia spp*; orden neuróptera: *chrysopa spp.*; orden coleóptera, familia *coccinelidae*; orden arácnida: *arañas* y hongos entomopatógenos como *verticillium lecanii* y *beauveria bassiana* (CATIE, 1990)

Nematodos: Esta plaga penetra en las raíces causando hipertrofia en los tejidos del sistema radicular que da lugar a la formación de los típicos rosarios los cuales producen la obstrucción de vasos impidiendo la absorción por las raíces y causando que el desarrollo de la planta sea menor y aparezcan síntomas como marchitez, clorosis y enanismo. Se transmiten con gran facilidad por el agua de riego, calzado, aperos y cualquier medio de transporte de tierra. Además, los nematodos interactúan con otros organismos patógenos facilitando la entrada de bacterias y hongos por las heridas que han provocado. Como control preventivo se puede implementar la utilización de variedades resistentes, la desinfección del suelo en parcelas con

ataques anteriores, la utilización de plántulas sanas, la utilización de productos biológicos como preparados a base del hongo *Arthrobotrys irregularis*, además de la esterilización con vapor o la elevación de la temperatura del suelo mediante la colocación de una lámina de plástico transparente sobre el suelo durante un mínimo de 30 días (CATIE, 1990).

Dentro de las enfermedades que afectan un cultivo de tomate se identifican las siguientes:

Oidiopsis (*Leveillula taurica*): Es un hongo ascomiceto, parásito de desarrollo semi-interno que produce síntomas en las hojas como manchas amarillas en el haz y una especie de fieltro blanquecino en el envés. Conforme avanza la enfermedad, las manchas se van extendiendo en superficie y número desde las hojas senescentes a las jóvenes, si el ataque es severo, la hoja se seca y se desprende. Como control preventivo se puede implementar una eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y hojas senescentes dañadas, utilización de plantas sanas y un manejo adecuado de la ventilación (CATIE, 1990).

Mancha negra: Es la bacteriosis más frecuente en el tomate, afecta a todos los órganos aéreos de la planta, en las hojas se forman manchas negras de 1 a 2 mm de diámetro y son rodeadas de un halo amarillo que puede confluir llegando a secar el foliolo. En tallos, pecíolos y en los bordes de los sépalos, también aparecen manchas negras de contorno irregular, los frutos verdes son atacados en los que se observan pequeñas manchas. Las principales fuentes de infección son las semillas contaminadas, los restos vegetales contaminados y la rizosfera de numerosas plantas silvestres; el viento, la lluvia, las gotas de agua y los riegos por aspersión diseminan la enfermedad, que tiene como vía de penetración las estomas y posibles heridas de las plantas, se desarrolla en temperaturas de 20 a 25°C y los períodos húmedos. Para el control biológico existen diferentes tipos de parásitos larvales como *Opius insularis* Ashm. (*Hymenoptera Braconidae*); *Brachymeria* spp, *sympiesis* sp. (*Hymenoptera Chalcididae*); *Derostenus* sp., *Diglyphus* spp. *Diaulinopsis callichroma* Crawf. (*Hymenoptera Eulophidae*); *Chrysocharis parksi*, Crawf., (*Hymenoptera Entodontidae*); *Halticoptera* spp., *Neocatolaccus filia* Gir (*Hymenoptera Pteromalidae*) (CATIE, 1990).

Las plantaciones de tomate también son susceptibles a una amplia variedad de virus dentro de los cuales se pueden identificar los siguientes:

Virus de la mancha clorótica del tomate: se manifiesta mediante el bronceado en el haz de hojas jóvenes con necrosis interna, el encrespamiento de foliolos, el engrosamiento de nervaduras, presenta una coloración oscura y deformación de hojas, además de estrías necróticas en el tallo, los frutos presentan deformaciones y alteraciones en la coloración; este virus es transmitido por la Trips (*F. occidentalis*) puede llegar a controlarse mediante la eliminación de malas hierbas, control de trips y nematodos.

Virus del Mosaico del Tomate: Entre los síntomas presentes a nivel de las hojas se observa un mosaico verde claro o verde oscuro, deformaciones sin mosaico y reducción del crecimiento; los frutos presentan manchas pardas oscuras externas e internas, manchas blancas

anubarradas en frutos verdes y necrosis, es transmitido por semillas infectadas y de forma mecánica. Su método de control consiste en eliminar plantas afectadas, utilizar variedades resistentes y evitar la transmisión mecánica (CATIE, 1990).

Dentro de la estrategia implementada para llevar a cabo la presente investigación se realiza una visita a un cultivo de tomate ubicado en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander de aproximadamente 2 hectáreas, con el fin de verificar y conocer el tipo de plagas o enfermedades, la forma de ataque en cada una de las fases de desarrollo de la plantación; para lo cual se encontró las siguientes:

Pulgón (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*): Estas especies de plagas son muy comunes y abundantes, presentan polimorfismo, las hembras son aladas y ápteras de reproducción vivípara, su color es verde o amarillento, aunque en ocasiones pueden ser pardas o rosadas. Conforman colonias y se distribuyen en focos que se dispersan, principalmente en primavera y otoño mediante las hembras aladas. Como control preventivo se deben eliminar las malas hierbas y los restos del cultivo anterior, además de mantener colocadas trampas cromáticas azules. Los adultos realizan las puestas de sus huevecillos dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente en las flores, los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos; los síntomas pueden apreciarse en los frutos y cuando son muy extensos en las hojas. Todos los áfidos están sujetos a control natural por depredadores o parásitos y hongos bajo condiciones de humedad. El control biológico puede realizarse mediante insectos afidófagos destacándose: parasitoide *Aphelinus spp*; depredadores: *Brachycantha dentipes*, *Cycloneda sanguínea*, *Hippodamia convergens* y *Chrysopa spp*; hongos entomófagos como *Verticillium lecanii* y *Entomophthora sp* (CATIE, 1990). En la figura 2 se evidencian los daños causados por el pulgón en el follaje de las plantas de tomate en el cultivo visitado.

Figura 2

Acción del pulgón sobre los brotes de tomate



Fuente: Autores

Orugas: Es una larva polilla que en su estado adulto deposita hasta 250 huevos en las hojas y flores de la planta de ellos irán surgiendo nuevas larvas, que se alimentan de las hojas y

de los frutos; el ciclo de vida de estas especies está formado por varios estados huevo, larva y pupa; los huevos son depositados en las hojas, preferentemente en el envés. En la figura 3 se observan los daños en la planta los cuales son causados por las larvas al alimentarse principalmente de la vegetación y de los frutos. El control biológico como depredador del huevo se encuentra: *Selenopsis geminata* (Hymenoptera Formicidae); entre los depredadores de adultos se tiene a *Castolus tricolor* Champ, *Repita taurus* F., *Zelus spp.* y otros de la familia *Reduviidae* (Hemiptera) y a *Chauliognathus sp.* (Coleoptera: *Cantharidae*) (CATIE, 1990).

Figura 3

Acción de las orugas sobre los folíolos de la planta de tomate



Fuente: Autores

Alternariosis: Se presenta debido a la presencia de un hongo saprofito que produce un chancro negro en el tallo a nivel de suelo, en las hojas, en los frutos y en los peciolos. Se dispersa mediante semillas infectadas y plantas enfermas. La temperatura óptima para el desarrollo de la enfermedad se encuentra entre 20 a 35°C, la esporulación es favorecida por noches húmedas seguidas de días soleados. Para el control biológico existen Parasitoides de huevo como la *Trichogramma fasciatum* Perk (Hymenoptera Trichogrammatidae); parasitoides larvales *Achaetoneura archippivora* Will, *Arcoglossa vetula* Rein, *Linnaemya sp.*, *Zenilla blanda* O.S. (Diptera Tachinidae); *Chelonus sp.* (Hymenoptera, Braconidae); *Euplectrus plathypenae* How (CATIE, 1990). La figura 4 evidencia los inicios de la alternariosis en las hojas más jóvenes de la planta de tomate.

*Figura 4**Acción inicial de la alternaria solani o candelilla temprana en el follaje del tomate**Fuente: Autores*

Caracha prodiplosis o negrita: Es una plaga muy popular en la zona de cultivo, se manifiesta a partir de que una mosca realiza una postura de larvas en las hojas y las flores del tomate las cuales se alimentan de los nuevos brotes, consumen el ovario de los botones florales y el follaje de la planta, la hembra pone alrededor de 5 a 10 larvas por hoja y a medida que envejece disminuye el número de posturas. La acción de las larvas produce necrosamiento, agujeros y enroscamiento de la hoja y caída de ésta, los frutos son manchados en su superficie motivo por el cual baja su calidad (CATIE, 1990). La caracha como se observa en la figura 5 prefiere los brotes más tiernos de la planta de tomate, el síntoma más visible es el necrosamiento progresivo.

*Figura 5**Plantas de tomate afectadas por caracha, prodiplosis o negrita**Fuente: Autores*

Virus del Bronceado del Tomate: El virus inicia cuando una mariposa realiza una postura de huevos tipo queresas en las hojas y en los frutos, las cuales presentan síntomas como bronceado, puntos o manchas necróticas en peciolo y tallos, es una mancha de color plateado que con el pasar de los días se necrosan, quemando las zonas donde fueron alojadas; se reduce el

crecimiento de la planta y los frutos presentan síntomas como manchas irregulares, necrosis y maduración irregular, es transmitido mediante la Trips (*F. occidentalis*). Para el control biológico se observan unos depredadores como: *Coccinellidae* y ciertos *Staphilinidae* (*Coleoptera*), *Cecidomyiidae* (*Diptera*), *Anthoridae* (*Hemiptera*), *Thysanoptera* y ácaros depredadores (*Phytoseiidae*) (CATIE, 1990). El bronceado del tomate es un virus que ataca la plantación de tomate desde edades tempranas como se observa en la figura 6, afectando el follaje de las plantas hasta llegar a los frutos.

Figura 6

Incubación del virus del bronceado del tomate



Fuente: Autores

Virus del Rizado Amarillo del Tomate: El rizado de la hoja es una enfermedad ocasionada por la mosca blanca (*B. tabaci*) las larvas se alimentan de las hojas y las flores, inyectando toxinas que doblan, enroscan y deforman las hojas, los primeros síntomas aparecen a las 2 o 3 semanas dependiendo de las condiciones ambientales; en la figura 7 se evidencia los síntomas iniciales de la enfermedad, como la parada de crecimiento, folíolos de tamaño reducido, amarillamiento y hojas curvadas hacia arriba, los frutos son de tamaño reducido. Su método de control consiste en la eliminación de plantas afectadas, la utilización de variedades resistentes y la erradicación de la mosca blanca (CATIE, 1990).

Figura 7

Virus del rizado amarillo del tomate



Fuente: Autores

2.4 Generalidades de los agroquímicos

Según la (FAO, 1990) los agroquímicos son cualquier sustancia o mezcla de sustancias naturales o sintéticas destinadas a prevenir, eliminar o reducir ciertas adversidades (plaga, enfermedad o maleza) que interfieren en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de productos agropecuarios, alimentos humanos y animales, madera y productos de madera. Incluye a las sustancias que regulan el crecimiento de los cultivos, defolian, desecan, reducen la densidad de la fruta o evitan su caída prematura, y a aquellas que se usan antes o después de la cosecha para proteger al producto o al subproducto cosechado del deterioro durante su almacenamiento o transporte.

La definición dada por Ortiz *et all* (2014) menciona que un plaguicida se define como aquella sustancia o mezcla la cual previene, controla o destruye aquello que se considere como una plaga, esto incluye a los vectores causantes de enfermedades humanas, también posee dicho nombre las sustancias destinadas a ser utilizadas como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta, o evitar su caída prematura, y todas las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger al producto contra su deterioro durante el almacenamiento y transporte (Ortiz, y otros, 2014).

2.5 Producción de agroquímicos en Colombia

En Colombia se inició la industria de los plaguicidas en 1962 con el proceso de combinar y fusionar varios ingredientes activos, solventes y coadyuvantes. Se envasaban y realizaban la venta libre al público, en 1964 se crean los funguicidas, herbicidas y desinfectantes de suelos por medio de diversos ingredientes como: mancozeb, cimoxanil, diuron, propanil y metam sodio.

En los últimos treinta años el Instituto Colombiano Agropecuario ICA registra que para los plaguicidas se utilizan un aproximado de 770 productos de los cuales poseen 186 ingredientes activos en comparación con el año 2003 que posee un registro de 1.370 productos con 400 ingredientes activos, 28 de estos ingredientes se encuentran en la categoría de agrotóxicos más usados en Colombia y América Latina. Teniendo en cuenta que en otras partes del mundo 77 de estos ingredientes son prohibidos para cualquier tipo de uso debido a problemas de salud pública y medio ambiente. En la actualidad el 41% de los agroquímicos disponibles en el mercado posee dichos ingredientes (Nivia, 2004).

Entre 1980 y 1995 la producción de plaguicidas en Colombia se incrementó con un valor por encima del 100%, teniendo en cuenta que en 1980 se presentaron 24.202 Toneladas y en 1995 se presentan 34.352 toneladas. Por otra parte, en estos treinta años se ha duplicado la venta y fabricación de los insecticidas y herbicidas a su vez se ha triplicado la fabricación de funguicidas y coadyuvantes (Nivia, 2004).

Nivia (2004) afirma que en 1996 se observa una mayor demanda de plaguicidas en cultivos específicos de los cuales encabeza el cultivo de arroz con el 21% en este caso el tomate presento un aumento del 3%. En Colombia hay una recurrente problemática la cual es la mala disposición de residuos sólidos en el caso de los plaguicidas y sus embaces debido a diversos factores como la venta indiscriminada de agrotóxicos, déficit de control en la importación, bajo compromiso de fabricantes y comercialización ilegal (Nivia, 2004).

Colombia promueve en sus políticas una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente, pero terminan por ser contradictorias pues al basarse en la utilización de agrotóxicos, manipulación genética y monocultivos, esto genera incoherencia en las políticas públicas de tal manera que la orientación dada a los campos obedece a intereses capitalistas, con costos energéticos altos e impactos negativos, sin tener en cuenta la justicia social y la calidad de vida (Nivia, 2004).

2.6 Usos

Según Jiménez *et all* (2016) Colombia actualmente es un país que depende económicamente de la producción agropecuaria es por ello que debido a factores como el crecimiento poblacional los agricultores se han visto obligados a aumentar la producción de cultivos por medio del uso variado de agresivos productos químicos los cuales tienen como función contrarrestar la acción de plagas, enfermedades o virus asegurando las cosechas de cualquier evento que las pueda poner en riesgo de pérdida al mismo tiempo que se aumenta la producción (Jiménez, Pantoja, & Leonel, 2016)

Durante la visita realizada al cultivo de tomate, se observaron los diferentes tipos de agroquímicos utilizados en la industria, su composición y la función que cumplen en el control de plagas enfermedades o virus. Como primera medida se encuentra un tratamiento que es aplicado al agua de riego del cultivo denominado fluyex su presentación se observa en la figura 8, el cual es un coadyuvante el cual presenta como característica principal ser de tipo biodegradable y su función principal consiste en corregir las condiciones fisicoquímicas del agua como lo es la regulación de pH, logrando establecer la calidad del líquido, según la información presente en la etiqueta del producto es un potente reductor de tensión superficial lo que significa que facilita los procesos de dispersión, obteniendo un mayor cubrimiento sobre la superficie aplicada; además el humectante contenido en su formulación permite que su poder químico perdure por más tiempo, favoreciendo la penetración de los agroquímicos en las plantas.

Figura 8

Presentación del coadyuvante fluyex



Fuente: Autores

Seguidamente, como se observa en la figura 9 dentro de los fertilizantes hallados en la zona de cultivo se encuentra el denominado foss 61 el cual por su composición rica en fósforo y nitrógeno juega un papel muy importante en el cultivo, se empieza a aplicar desde que se hace el semillero hasta el inicio de la floración de la planta; su presentación es en cristales solubles, en la fase foliar se aplica por medio de un sistema de fertirriego, lo cual permite un correcto desarrollo

de los estados primarios del cultivo, contribuyendo al adecuado desarrollo de las raíces y mejorando la absorción de los nutrientes.

Figura 9

Presentación del fertilizante foss61



Fuente: Autores

Los fungicidas están estrechamente ligados al control de los diferentes tipos de hongos que afectan el desarrollo y producción del cultivo. Para este caso como lo muestra la figura 10 se pudo evidenciar el uso del fungicida fitorax de tipo orgánico, protectante y curativo, su acción protege por fuera y cura por dentro de la hoja, trabajando sobre la espora y la enfermedad; se puede aplicar como método preventivo o curativo, por su grado de toxicidad III debe utilizarse durante su aplicación los elementos de protección personal (EPP) como overol, tapabocas, botas y guantes. Una característica muy importante del producto es que se absorbe rápidamente no se acumula dentro de la planta y en invierno presenta su máxima potencia.

Figura 10

Presentación del fungicida fitorax



Fuente: Autores

Según lo expuesto en la figura 11, el manzate corresponde a un fungicida de amplio espectro, de categoría toxicológica III, el cual es utilizado en la prevención de múltiples enfermedades, se constituye como el mejor aliado para el manejo de la resistencia de las

enfermedades producidas por hongos. En el cultivo de tomate visitado es muy utilizado con el fin de combatir el Hielo o *Phytophthora infestans*, la mancha de las hojas o *alternaria solani*, la mancha gris de la hoja o *Stemphyllium solani* y la Antracnosis del fruto o *colletotrichum phomoides*.

Figura 11

Presentación del fungicida manzate



Fuente: Autores

La figura 12 nos presenta el insecticida exalt, que tiene como característica principal que actúa por ingestión o por contacto de la plaga, su modo de acción es a nivel del sistema nervioso central ocasionando temblores, falta de coordinación, parálisis y finalmente la muerte. Posee un mecanismo único, que no lo expone a resistencia cruzada con insecticidas de otros modos de acción.

Figura 12

Presentación del insecticida exalt



Fuente: Autores

En el mismo grupo de los insecticidas usados en el cultivo se encuentra el denominado imimectin su función no solo es combatir las plagas, sino que también controla los estados

móviles de los ácaros actuando por contacto e ingestión ocasionando parálisis de la plaga y evitando así que se alimenten, por lo que mueren entre 3 y 7 días después de efectuado el tratamiento. En la figura 13 se observa uno de los envases del insecticida inimectin hallados en la zona de cultivo.

Figura 13

Presentación del insecticida inimectin



Fuente: Autores

La figura 14 se muestra la presentación del insecticida denominado engeo el cual es un agroquímico de amplio espectro compuesto por microcápsulas de lambdacialotrina combinada con tiametoxam formulada en una suspensión concentrada; el tiametoxam, es un neonicotinoide sistémico de alta residualidad, que controla insectos succionadores, mientras la lambdacialotrina es un piretroide que actúa sobre insectos succionadores y masticadores, chupadores y raspadores, otorgando poder de volteo.

Figura 14

Presentación del insecticida engeo



Fuente: Autores

El evisect es un insecticida orgánico, contiene una sustancia relacionada con la nereistoxina, un compuesto orgánico presente naturalmente en anélidos marinos (*Lumbrinereis spp.*) sus residuos al ser orgánicos no afectan el medio ambiente; al entrar en contacto con plagas o enfermedades actúa principalmente por ingestión, aunque también posee una buena acción al contacto. Como se observa en la figura 15 en el cultivo de tomate se utiliza con frecuencia el evisect es utilizado para combatir el gusano cogollero y la mosca blanca (*bemisia tabaci*), su aplicación se realiza ante en los estados ninfales de la plaga y se debe suspender 3 días antes de la cosecha.

Figura 15

Presentación del insecticida evisect



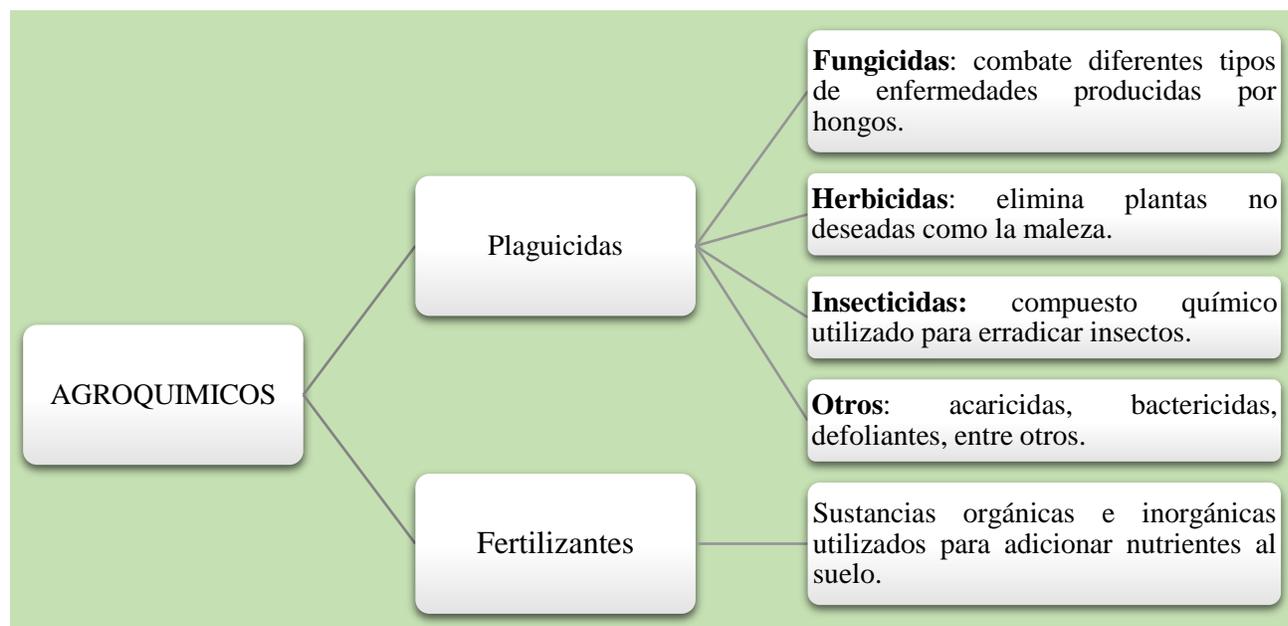
Fuente: Autores

2.7 Clasificación

Existen diferentes tipos de agroquímicos y se clasifican por su estado, los organismos a combatir, mecanismo de acción, composición química, persistencia, uso, entre otros. La clasificación de los agroquímicos se divide en dos tipos como se observa en la figura 16, cada uno de estos se enfocan en la erradicación de agentes que alteran el funcionamiento óptimo del cultivo, en la actualidad existen diferentes tipos de fertilizantes y en diversas presentaciones, pero todos poseen el mismo propósito el cual es adicionar nutrientes faltantes al suelo.

Figura 16

Clasificación de los agroquímicos



Fuente: Autores

- 2.7.1** Plaguicida técnico: se encuentran en su forma más puro ya sea en el estado sólido, líquido o gas, contiene la máxima concentración del ingrediente activo como resultado final de su proceso de fabricación.
- 2.7.2** Plaguicida formulado: es la mezcla de uno o más plaguicidas técnicos con uno o más ingredientes conocidos como “inertes”, cuyo objeto es dar estabilidad al ingrediente activo.
- 2.7.3** Organismos que combaten:
 Insecticidas: Son los plaguicidas que controlan y destruyen artrópodos. En este grupo están incluidos los acaricidas, molusquicidas, larvicidas y nematocidas.

Fungicidas: Son los plaguicidas que se utilizan para erradicar cualquier tipo de hongo.

Herbicidas: Están constituidos por los plaguicidas que destruyen las malas hierbas de manera general o selectiva. En este grupo están incluidos los defoliantes y arboricidas.

Rodenticidas: Son los plaguicidas empleados para el control de ratas y otros roedores.

2.7.4 Mecanismo de acción

Plaguicidas de contacto: Actúan penetrando las paredes de los tejidos externos y produce la deshidratación del individuo.

Plaguicidas de ingestión: al ser atractivos para la plaga se procede a ser ingerido atacando desde adentro.

Plaguicidas sistémicos: es un neuroactivo a base de nicotina, actúan al ser absorbido por la planta o animal y se traslada al sistema vascular.

Plaguicidas fumigantes: Actúan al liberar vapores y gases penetrando todas las vías de absorción.

Plaguicidas repelentes: Actúan impidiendo el ataque de las plagas.

Plaguicidas defoliantes: Causa la caída del follaje de las plantas.

2.7.5 Composición química

Compuestos inorgánicos: Son compuestos que carecen de carbono, sólo se considera a los derivados del cobre, azufre, zinc y aluminio.

Compuestos orgánicos: Son compuestos que contiene átomos de carbono en su estructura química. Fabricados a partir de compuestos químicos básicos, por ejemplo, aquellos extraídos de plantas, se consideran botánicos.

Plaguicidas biológicos: Comprenden a los virus, microorganismos o derivados de su metabolismo, formulados como insumos.

2.7.6 Persistencia

El grado de persistencia de un plaguicida está determinado por el tiempo que transcurre entre la aplicación del plaguicida y la degradación ambiental de este compuesto.

Ligeramente persistentes: Menos de 4 semanas.

Poco persistentes: De 4 a 26 semanas.

Mediamente persistentes: De 27 a 52 semanas.

Altamente persistentes: Más de 1 año y menos de 20 años.

Permanentes: Más de 20 años.

2.8 Penetración en las plantas

La solubilidad de un plaguicida es la medida que se aplica para disolver el químico con el fin de no sobresaturar el suelo y contaminar las aguas subterráneas que se encuentren cercanas a la zona de influencia, los plaguicidas poseen la capacidad de penetrar en los tejidos de la planta o cultivo a su vez que por las raíces (FAO, 2017).

Existen diferentes tipos de acción de los plaguicidas que infieren en la penetración y absorción de la planta

Sistémicos: este plaguicida es absorbido por los diferentes tipos de tejidos de la planta por medio de los folios y raíces siendo transportado y modificando de esta manera a las diferentes partes de la planta.

Translaminar: este tipo de plaguicidas realiza una penetración en la planta a través de la cutícula y láminas de las hojas de esta con el propósito de poseer una actividad local y limitada (FAO, 2017).

La desaparición de los plaguicidas se genera por medio de varios mecanismos de los cuales los más comunes son el metabolismo y la degradación química, los factores que inciden en la degradación y el metabolismo de los agroquímicos como plaguicidas son la temperatura, el pH, la composición del suelo, la humedad, la luz, entre otros. Estudios indican los diferentes destinos de los compuestos presentes en los distintos plaguicidas de tal forma se observa la distribución de los residuos por los diferentes tipos de tejido del cultivo, a la vez que muestra la composición del residuo y el comportamiento en la planta. La cantidad de residuos de plaguicida depende en gran manera del tipo de absorción pues se tiene en cuenta si se absorbe por las hojas o por las raíces, los tipos de movilidad también influyen en la planta, si es persistente o móvil (IRET, 2009).

2.9 Situación actual de los suelos por la contaminación de agroquímicos

La contaminación del suelo generada por producción agraria como fertilizantes y plaguicidas, poseen en ocasiones elevadas concentraciones de cobre, cadmio, plomo y mercurio, perjudicando y alterando así el metabolismo de las plantas, además de generar una baja productividad en los cultivos (FAO, 2019). De igual manera en la actualidad existen plaguicidas que permanecen en el suelo de forma permanente debido a los componentes que trae, en su mayoría son: mercurio, arsénico o plomo. En la actualidad se presenta una preocupación en el sector agrícola pues la implementación de agroquímicos indiscriminadamente sin ningún tipo de orientación en base a la apropiada aplicación de dichos químicos genera que debiliten la producción y calidad del cultivo. Es fundamental en cualquier tipo de cultivo poseer un sistema de riego óptimo según las necesidades de este teniendo en cuenta que dicho sistema normalmente captara sus aguas de alguna fuente cercana de agua dulce como ríos, quebradas, pozos, entre otros. Lastimosamente en la actual el estado de estas fuentes se encuentran deteriorados, debido a los vertimientos de aguas residuales agrícolas, industriales o urbanas. Provocando una contaminación del suelo indirectamente y a su vez una alteración en la calidad del producto.

Un tema muy común para países como Colombia y en vía de desarrollo, es la reutilización de los envases de químicos, ya que estos se encuentran fabricados en plástico o acero y son útiles para almacenar alimentos, agua o algún tipo de agroquímico. Para este tipo de reutilización se deben realizar una limpieza previa con el fin de descontaminar el recipiente, pero en la mayoría de los casos estos envases no logran ser descontaminados en su totalidad y quedan residuos impregnados que al ser combinados con agua o algún compuesto se termina por contaminar y altera su propósito inicial (Díaz & Gómez, 2016)

Capítulo III - Consecuencias a nivel ambiental y de salud por el uso de agroquímicos

3.1 Consecuencias de los agroquímicos en el ambiente

El uso intensivo de agroquímicos en la producción de cultivos de pancoger se ha intensificado a gran escala durante los últimos años debido al crecimiento poblacional, donde cada vez se hace más necesario producir alimentos en corto tiempo, sin importar las consecuencias que pueda sufrir el medio ambiente con la ejecución de estas prácticas inapropiadas. La utilización indiscriminada de compuestos químicos tiene un fuerte impacto en todas las especies tanto animales como vegetales que habitan la tierra, se conoce que la aplicación intensiva conlleva a la eliminación de organismos que fertilizan el suelo, contaminan y desaparecen ecosistemas acuáticos, causan resistencia en algunas poblaciones de plagas, degradan el suelo, promueven la aparición de malas hierbas, entre otros.

Algunos países como Panamá, Australia, Japón, Reino Unido entre otros, han prohibido y descontinuado la producción y comercialización de compuestos químicos como por ejemplo los carbamatos, organofosforados y ciclodienos, además de implementar programas conjuntos amigables con el medio ambiente para el manejo de plagas y enfermedades en sus cultivos. Se conoce que la contaminación de alimentos sucede principalmente cuando los agroquímicos son aplicados directamente sobre las plantas en plena producción inclusive hasta días antes de la cosecha, donde se van acumulando progresivamente hasta alcanzar altos niveles de concentración y mediante el consumo de frutos u hortalizas afectan el organismo de animales y humanos. “Como consecuencia de la amplia distribución de los plaguicidas en el aire, suelos, aguas y biota, se produce una acumulación variable de ellos en los elementos que constituyen la alimentación humana y por ende en el organismo humano” (Badii, Garza, & Landeros, 2006)

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005) los efectos de los agroquímicos en el medio ambiente se pueden agrupar en corto o largo plazo en el ambiente cercano y largo plazo en el ambiente lejano, esto significa que el área de aplicación del compuesto químico es la que más sufre, ya que causa contaminación inmediata en el suelo, en las fuentes hídricas, en el aire, se presenta muerte de organismos polinizadores, afectación de la biodiversidad, en algunos lugares sucede la migración o desaparición de aves. Por otra parte, los efectos a largo plazo mencionados suceden cuando los plaguicidas tienen acción persistente, aún después de cierto tiempo de no utilizarlos continúan haciendo presencia en el suelo donde se van acumulando en los cultivos y posteriormente en los alimentos (Minambiente, 2005)

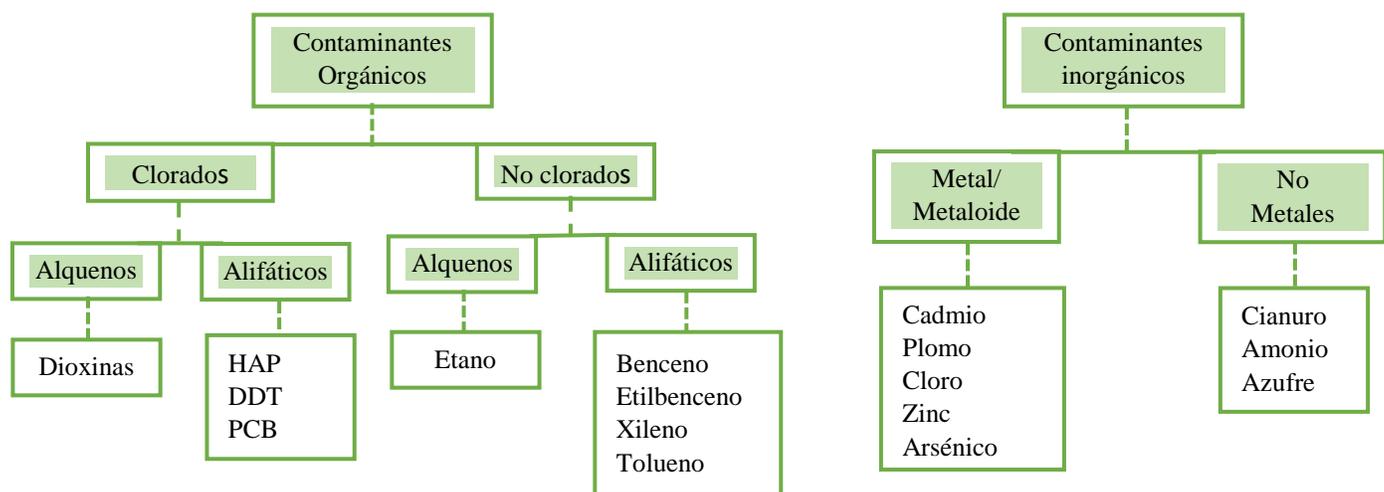
Los agroquímicos en el medio ambiente son movilizados mediante procesos de lavado, fotodescomposición, degradación química y microbiana, filtración, lixiviación, absorción, drenaje, escorrentía y/o volatilización, llegando por estos medios a diferentes lugares de la zona de influencia del cultivo.

3.2 Suelo

Según Sepúlveda (2013) el suelo se constituye como un recurso natural no renovable debido a que su fuerza de degradación es mayor a su capacidad de renovación, está compuesto por minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos. En las últimas décadas los suelos han sufrido procesos de degradación como la erosión, la salinización, compactación, acidificación y la contaminación química que han reducido en grandes proporciones su capacidad productiva; es un elemento indispensable para la economía y debido a su función filtrante los productos agroquímicos son transportados hacia su interior generando esterilización (Sepúlveda, 2013). Si bien es cierto que los agroquímicos contribuyen a la erradicación de plagas y enfermedades que atacan los cultivos y comprometen las cosechas, también es cierto que son los causantes de una feroz degradación que está acabando con este recurso. El uso intensivo de agroquímicos crea un desequilibrio en la naturaleza, lo que hace que suceda un continuo desbalance en los ciclos biogeoquímicos. La inclusión de estos productos químicos en la industria agrícola contribuye en gran magnitud a la desaparición de especies que hacen posible la formación del suelo, trayendo consigo problemáticas como la infertilidad; además de que al entrar en contacto con las plantas se fijan en sus raíces o son arrastrados por la escorrentía contaminando áreas aledañas a la zona de cultivo. Las aplicaciones directas a los cultivos, la incorrecta disposición de residuos plásticos, los derrames en el suelo, junto con el lavado de herramientas como fumigadoras son factores determinantes para la contaminación del suelo (FAO, 2010). Según lo observado en las diferentes visitas realizadas al cultivo de tomate, para cada una de las fases desde la siembra hasta la cosecha y aún después de la cosecha se utilizan una gran variedad de productos agroquímicos en los cuales varía el grado de toxicidad, la composición y pueden llegar a clasificarse como orgánicos o inorgánicos conforme se detalla a continuación.

Tabla 4

Clasificación de los agroquímicos



Fuente: (Sánchez, 2008)

3.3 Aire

El recurso aire es uno de los mayormente afectados ante la constante utilización de agroquímicos en la industria agrícola; estos compuestos químicos se tornan peligrosos debido a su grado de toxicidad y a la cantidad dispersa en el aire; la forma más común de que estos compuestos químicos lleguen a la atmosfera es por medio de aspersiones aéreas, fumigaciones manuales, derrames, accidentes o durante su fabricación y transporte al lugar de comercialización.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO) (2006) en las labores agrícolas predomina la producción antropogénica de amoníaco junto con los fertilizantes minerales, la combustión de la biomasa y los residuos de cultivos. Durante la preparación de mezclas de los agroquímicos utilizados en la producción de los cultivos se potencializa la emisión de gases, vapores y olores los cuales mediante la acción del viento o el calor del sol se volatilizan dirigiéndose a la atmosfera generando contaminación atmosférica (FAO, 2006).

El abandono de envases con restos de agroquímicos es otra de las problemáticas que aqueja el medio ambiente ya que al evaporarse estos compuestos químicos entran en contacto con la atmosfera modificando sus características y convirtiéndolos en un potencial contaminante del aire. De igual forma el lavado de herramientas y otros equipos que son utilizados en la dispersión de agroquímicos se convierte en una problemática que afecta todos los recursos que entran en contacto con el material contaminante ya que en esta actividad se generan gases y vapores que por medio de la volatilización contaminan la atmosfera.

Según la FAO (2002), la aplicación de agroquímicos mediante la utilización de bombas de aspersión ya sean manuales o de motor se constituye como una problemática que no solo afecta el área de cultivo sino también las zonas aledañas ya que por influencia del calor o del viento la mayoría de estos compuestos químicos se volatilizan y se trasladan hacia otras zonas contaminando la superficie circundante. Por otra parte, la producción de gases de efecto invernadero mediante la realización de las labores agrícolas como quemas, barbechos, aplicación de pesticidas etc., contribuye en gran medida a la contaminación del aire y posteriormente a la destrucción de la capa de ozono ya que al llevar a cabo este tipo de actividades se produce la liberación de grandes cantidades de metano, el cual es generado en el proceso digestivo de los rumiantes y en la descomposición de la materia orgánica en campos, seguido del óxido nitroso el cual es producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis o abonos orgánicos y el dióxido de carbono que es producido mediante la deforestación y la quema de la biomasa que es comprendida por bosques, matorrales, restos de cosechas y rastrojos; estos compuestos al liberarse y dispersarse atrapan la energía radiante del sol en la atmosfera teniendo como resultado el aumento global de la temperatura y la contaminación del aire (FAO, 2002).

3.4 Agua

El agua es un elemento de la naturaleza de vital importancia para los ecosistemas, en las últimas décadas se ha visto afectada en su composición debido a las diferentes actividades llevadas a cabo en las industrias, la agrícola por ejemplo es una de las más representativas, es por ello que en la mayoría de productos utilizados en ésta industria se plasma en las etiquetas la información necesaria en cuanto a la adecuada manipulación de compuestos químicos al ser utilizados cerca del agua, donde se especifican ciertas declaraciones de riesgos ambientales que describen las problemáticas que pueden llegar a ocurrir si elementos contaminantes de tipo químico entran en contacto con fuentes hídricas, además de informar sobre las precauciones que se deben tener en cuenta para proteger los diferentes cuerpos de agua y también establecen una lista de especies potencialmente sensibles al contacto con el agroquímico como peces anfibios o aves.

Según Puerto *et all* (2014), existen algunos factores que influyen en la toxicidad del agua debido al uso intensivo de agroquímicos, y son determinados según la toxicidad que abarca los mamíferos y no mamíferos siendo expresada en forma de dosis letal con valores de 0 a 10 que significan extremadamente tóxicos, el efecto de estos compuestos sobre los organismos vivos puede ser agudo que causa la muerte o crónico que puede causar enfermedades que conlleven a la muerte. Por otra parte, se tiene la persistencia del agroquímico la cual según los últimos avances de la tecnología puede durar solo el tiempo necesario para controlar la plaga, virus o enfermedad y está determinada según los procesos bióticos, la biodegradación, el metabolismo y los procesos abióticos como son la hidrólisis, fotólisis y la oxidación. El proceso de degradación puede llevar a la formación de productos degradados, cuya toxicidad puede ser mayor, igual o menor que la del compuesto original. El comportamiento de un agroquímico siempre dependerá de la afinidad natural del producto químico con respecto a uno de los cuatro compartimientos ambientales, en este caso en el agua (Puerto, Suarez, & Palacio, 2014)

El cultivo del tomate es uno de los que más requiere agroquímicos para su establecimiento lo que disminuye la calidad del producto, además de ser un gran contaminante del recurso hídrico es una fuente deterioradora de ecosistemas acuáticos y terrestres. La contaminación del agua por agroquímicos se puede dar de forma directa e indirecta, la directa está dada mediante el lavado de envases, maquinaria o equipos contaminados y la indirecta ocurre cuando los compuestos químicos utilizados en los cultivos se infiltran a los mantos de agua subterráneos o por medio de escurrimientos superficiales a ríos, arroyos, lagos y embalses desde las zonas de aplicación. Según Sepúlveda (2013) “los contaminantes por plaguicidas se abren paso hasta llegar a las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas transportadas por los ríos” (Sepúlveda, 2013)

Las actividades agrícolas sin duda son una de las fuentes más contaminantes existentes en el planeta, debido a que con el crecimiento poblacional aumenta la necesidad de multiplicar la

producción de alimentos, para alcanzar las cantidades requeridas y es ahí donde el uso de agroquímicos entra a jugar un papel muy importante en los procesos degradativos del medio ambiente ya que con el aumento de la producción se intensifica en uso de éstas sustancias químicas las cuales muchas veces son utilizadas de manera irracional y sin una correcta disposición de residuos sin tener en cuenta que en su gran mayoría estos compuestos químicos poseen características contaminantes persistentes que resisten la degradación química, fotoquímica y bioquímica, por lo que su vida media en el medio ambiente puede ser muy elevada. Una de las mejores tecnologías a implementar para el mejoramiento de la calidad del agua es la fotocatalisis heterogénea la cual consiste en la utilización de la luz solar para captar el CO_2 y eliminar los contaminantes orgánicos mediante un proceso oxidativo activado que se encarga de formar radicales de hidroxilo que conforman la degradación no selectiva de una gran cantidad de contaminantes que son transformados en materia orgánica (Puerto, Suarez, & Palacio, 2014)

3.5 Flora y Fauna

La flora abarca todo tipo de plantas que conforman un ecosistema, que son fuente de alimento de las especies herbívoras; este recurso ha sido afectado en las últimas décadas por la contaminación causada mediante el uso intensivo de agroquímicos en actividades agrícolas. Para la utilización de estos productos químicos es necesario tener en cuenta una serie de cuidados al momento de su manipulación, con el fin de evitar modificar las características de las especies vegetales que hacen parte de la biota autóctona de determinada zona, para esto se debe realizar un seguimiento al protocolo de manipulación por parte de los productores con el fin de evitar accidentes como derrames que puedan afectar el suelo, el agua o la flora y fauna, así mismo es de gran importancia conocer las cantidades adecuadas a utilizar y hacer una correcta disposición de los residuos generados durante la realización de las actividades evitando que estos residuos se conviertan en potenciales contaminantes (MinAmbiente, 2018).

Es de gran importancia identificar el tipo de plaga o enfermedad que está afectando los cultivos y al momento de implementar un control, se debe verificar que las especies nativas no se vean afectadas por las aspersiones, esto se puede verificar detalladamente en las etiquetas del producto químico que se va utilizar. La flora Colombiana se ve afectada por las grandes aspersiones aéreas que pretenden controlar y erradicar los cultivos ilícitos, las cuales se basan principalmente en el uso de glifosato este compuesto químico tiene una característica que consiste en fijarse fácilmente a las partículas del suelo o en las aguas superficiales; posee efectos tóxicos agudos en todas las variedades de plantas haciéndolas susceptibles y poniéndolas en riesgo de extinción, reduce su capacidad de fijar nitrógeno y aumenta los riesgos de sufrir enfermedades, deformaciones y secuelas en su desarrollo (Uribe, 2019).

Las especies vegetales nativas de una región y las que se encuentran en peligro de extinción son las mayormente afectadas por el uso indiscriminado de agroquímicos ya que, debido a los problemas de degradación, a la falta de nutrientes y a las características fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos en que se desarrollan, se tornan débiles y no cuentan con un mecanismo de defensa que soporte la acción de los pesticidas, lo que concluye en la desaparición total de especies muy importantes para la regularización de los ciclos biológicos en un ecosistema.

Por otra parte, el uso intensivo de agroquímicos en áreas de cultivo causa un sinnúmero de problemáticas que afectan potencialmente la fauna de determinado lugar, la cual está comprendida por diversos grupos de animales que al ser expuestos a ciertos niveles de toxicidad en el ambiente les sobrevienen problemas de salud o incluso la muerte y esto no solo depende del grado de toxicidad si no de la cantidad de tiempo en que estuvieron expuestos al producto químico. Algunas especies de animales pueden ser más sensibles que otras a los efectos de determinado contaminante como, por ejemplo, las especies acuáticas entre ellas los camarones suelen ser más susceptibles al daño causado por la exposición a contaminantes agroquímicos causando la muerte en sus hábitats debido a la alta interacción con la superficie del agua durante

su periodo de crecimiento y desarrollo. Las comunidades de sapos y ranas al estar en contacto en el agua o suelo con restos de agroquímicos se ven perjudicados en su desarrollo, causando problemas físicos o incluso la muerte al absorber el veneno a través de su piel (Rueter, 2016).

Según la investigación realizada en la zona de estudio, se conoce que en el caso de los mamíferos las intoxicaciones con agroquímicos pueden variar presentando síntomas como irritaciones en mucosas, hinchazón en el estómago, bajo rendimiento, estancamiento del crecimiento o la muerte. En el caso de los cerdos pueden entrar en contacto con agroquímicos a través del agua de consumo o el forraje, lo cual puede elevar los índices de malformaciones fetales, condicionar el crecimiento y desarrollo de los lechones, además de inferir en la calidad de la leche de la madre y de la carne en el caso de los cerdos de ceba.

Por otra parte, se tiene a las comunidades conformadas por aves las cuales son afectadas debido a que su principal fuente de alimento son frutas e insectos que tienen almacenados en sus organismos restos de agroquímicos causando envenenamiento, deformidades, malformaciones en su sistema óseo, infertilidad y cuando los niveles almacenados son demasiado altos causan la muerte. La población de aves ha disminuido notablemente durante las últimas décadas y esta situación es debido a la intensificación de las prácticas agrícolas. Otro grupo de animales que es afectado por los compuestos químicos que se utilizan en las labores agrícolas es el ganado debido a la exposición directa mediante el consumo de forrajes y hierbas que han sido expuestas a los agroquímicos por la aplicación directa en establos y zonas de pastos de corte o por acción del viento en fumigaciones de cultivos cercanos. La vida silvestre no se salva de ser expuesta a este tipo de problemáticas debido a la expansión de la frontera agrícola donde son aplicados de manera indiscriminada pesticidas para la limpieza y control de malezas en terrenos destinados a la siembra y parte de estos contaminantes son consumidos o absorbidos por animales nativos los cuales en su gran mayoría mueren por acción de estos compuestos químicos en sus órganos vitales (Badii, Garza, & Landeros, 2006).

3.6 Consecuencias de los agroquímicos en la salud humana

Son muchos los riesgos a los que se expone la salud humana por cuenta de los agroquímicos, la mayoría relacionados con elementos presentes en los suelos de cultivos como por ejemplo el arsénico, el cadmio, el plomo o también sustancias químicas orgánicas como bifenilos policlorados (BPC), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) o contaminantes orgánicos persistentes (COP) éstas sustancias son catalogadas como tóxicas amenazas a la salud humana, debido a que son resistentes a la degradación y por esta característica permanecen durante largos periodos en el ambiente, siendo incorporados en los tejidos de los seres vivos donde aumentan su concentración o trasportadas a regiones donde nunca se han utilizado (Jiménez, Pantoja, & Leonel, 2016)

Los envenenamientos por agroquímicos ocurren mediante exposición directa, ya sea de semanas, meses o años, donde las personas pueden presentar los primeros síntomas solo después de mucho tiempo de haber estado en contacto con este tipo de sustancias; los seres humanos pueden quedar expuestos a través de la ingestión de frutos, plantas o animales que hayan acumulado cantidades considerables del contaminante. Otra forma en que puede llegar a quedar expuesto el cuerpo humano es a través de la piel, como por ejemplo cuando los productores de alimentos aplican en sus zonas de cultivos agroquímicos ya sea para prevenir o mitigar la acción de las plagas y enfermedades, sin utilizar la adecuada protección personal. Se han conocido casos en que la presencia o consumo de este tipo de sustancias puede llegar a afectar el desarrollo del feto y acarrear problemas en las diferentes etapas del embarazo si la madre está en constante contacto con los contaminantes. Según (Benítez, 2012). “un daño crónico se presenta cuando se ha estado en contacto con concentraciones bajas de un producto, un daño agudo se presenta cuando por algún evento extraordinario el organismo entra en contacto directo con la sustancia tóxica a altas concentraciones”

Según lo expuesto por Puerto A *et all* (2014), la exposición humana directa o indirecta de sustancias químicas siempre tendrá efectos negativos para la salud, sobre todo cuando la exposición a determinada sustancia supere los niveles considerados seguros; los daños causados por exposiciones agudas inician poco tiempo después de que la persona haya entrado en contacto con el producto y dependen del tipo de sustancia, la dosis, la vía y el tiempo de exposición, los efectos consisten en vómitos, diarrea, aborto, cefalea, somnolencia, alteraciones comportamentales, convulsiones, dolores o calambres abdominales, visión borrosa, sudoración, lagrimeo, salivación, dolores musculares, dificultad para respirar, pérdida del conocimiento, coma y muerte. Las enfermedades crónicas causadas por la exposición a agroquímicos demoran mucho tiempo en aparecer y son más difíciles de detectar entre ellas se identifican cánceres, leucemia, necrosis de hígado, malformaciones congénitas, neuropatías periféricas, malestar general, cefaleas persistentes, pérdida de peso, debilidad constante, problemas pulmonares, heridas que no sanan, calambres en manos y pies, vértigo, pérdida de la visión, taquicardia, arritmia cardiaca, cambios de humor, confusión, pérdida de memoria, dificultad para concentrarse, afección directa de órganos vitales, como el hígado, los pulmones, el sistema

nervioso; sus efectos son generalmente irreversibles y se deben a exposiciones repetidas (Puerto, Suarez, & Palacio, 2014). Para la Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito UNODC (2010) “la búsqueda de la productividad a corto plazo por encima de la sustentabilidad ecológica, practicada en las últimas décadas, ha dejado un saldo a nivel mundial de contaminación y envenenamiento” (UNODC, 2010). El uso indiscriminado de agroquímicos en la agricultura se constituye como el principal problema que amenaza los recursos naturales y contribuye cada vez más a la crisis de la agricultura dificultando la conservación de los ecosistemas; además de influir en la degradación de la salud humana donde las comunidades rurales entran en contacto con dichas sustancias desde el primer momento en que se decide implementar un cultivo, ya que son varias las etapas donde dichas áreas requieren una desinfección y un control de plagas, enfermedades, virus u hongos que puedan afectar el rendimiento y producción; para ello se deben transportar los plaguicidas, herbicidas, fungicidas etc, y al realizar esta labor el cuerpo humano entra en contacto directo con el químico, luego se realiza la fase de mezclado donde existe un contacto directo y luego está la fase de aplicación en el terreno donde no solo hay una exposición de la piel, sino también de los ojos, de la nariz que mediante la inhalación va a los pulmones y de la boca es conducido al tracto digestivo y demás órganos. Según el Centro de Información, Vigilancia y Asesoramiento Toxicológico (2014) “de acuerdo con los órganos que afectan los tóxicos reciben diferentes nombres tales como: neurotóxicos (afectan el sistema nervioso), hepatotóxicos (afectan el hígado), nefrotóxicos (afectan los riñones), fetotóxicos (afectan el embrión), mutagénico (potencial para producir alteraciones en el material genético)” (Centro de Información, Vigilancia y Asesoramiento Toxicológico, 2013). Los tóxicos en el organismo son eliminados progresivamente por diversas vías, principalmente por medio de la orina, otros por vía respiratoria, digestiva o secreción glandular. La exposición humana a sustancias tóxicas puede alterar el sistema inmunitario, lo que puede abrir la puerta para que otras enfermedades más severas ingresen al cuerpo humano y este a su vez no tenga los medios suficientes para combatirla. “Como consecuencia, los insecticidas preparados para atacar el sistema nervioso de los insectos son igualmente capaces de producir efectos agudos y crónicos sobre otros vertebrados, incluido el hombre. Por lo tanto, no hay que extrañarse al encontrar alteraciones en el sistema nervioso sensorial, motor, autónomo y en las funciones cognitivas y comportamentales, trastornos del sueño, cefaleas, etc., en las personas expuestas a los diferentes productos” (Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido, 2009)

Según (Martinez Valenzuela & Gómez Arroyo, 2007) cada año entre 500,000 y 1 millón de personas se intoxican con plaguicidas y entre 5,000 y 20,000 mueren; el 75% de los que fallecen son agricultores, el resto se debe a envenenamientos por consumo de alimentos contaminados. Los principales productores y exportadores de plaguicidas a nivel mundial son Alemania, Estados Unidos, Inglaterra, Suiza, Francia, Japón e Italia, que surten todas las importaciones del tercer mundo y que, según las agencias de regulación, alrededor del 30% de los plaguicidas comercializados en los países en desarrollo no cumplen las normas de calidad aceptadas internacionalmente.

Capítulo IV – Procesos de biorremediación

El Norte de Santander es un departamento que se encuentra conformado por 40 municipios dando un aproximado de 2.100 hectáreas de las cuales según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2016) el 6,5% de dichos suelos es apto para la agricultura con un total de 141.000 hectáreas, teniendo en cuenta que Colombia cuenta con 20 departamentos que poseen suelos más fértiles, Norte de Santander se encuentra ubicado en el puesto 18 (IGAC, 2016).

4.1 Metodologías de tratamiento

El departamento Norte de Santander es un gran productor en el sector agrícola, pero esta característica convierte el suelo en uno de los más afectados a nivel nacional por la sobrecarga de agroquímicos derivados de los diferentes cultivos los cuales en su mayoría no cuentan con ningún tipo de control.

4.2 Técnica Fisicoquímica

Esta técnica se enfoca en la separación de las propiedades tanto físicas como químicas de los diferentes tipos de contaminantes y a su vez diferentes tipos de suelos, a fin de destruir o minimizar la contaminación presente en la zona afectada, este método posee ciertas ventajas como periodos de tiempo cortos, equipos accesibles, consumo de energía relativamente bajo y mantenimiento simple (Garrido, 2016).

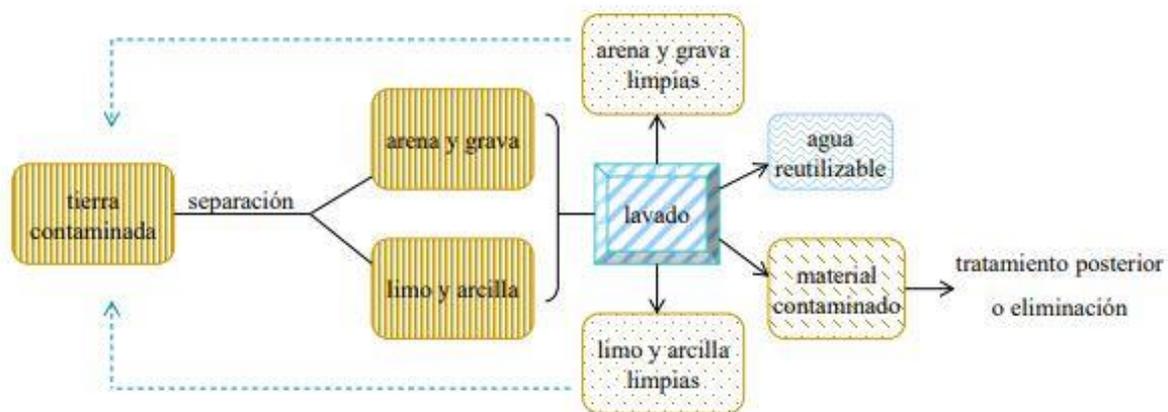
A la vez también existen desventajas a la hora de aplicar estas técnicas como son el aumento de costos debido a materiales residuales de los procesos, pues a estos se les debe realizar el respectivo tratamiento o eliminación ya que los fluidos pueden llegar a arrastrar contaminantes aumentando la zona afectada (Garrido, 2016)

4.2.1 Lavado de suelos: este tipo de técnica se puede realizar de dos maneras diferentes in situ y ex situ las cuales poseen gran diferencia la una de la otra puesto que in situ será de bajo costo ya que se realizará en el sitio afectado y la técnica ex situ requiere de más costos por el transporte de equipo y material afectado entre esto se encuentran costos de excavación, fragmentación y separación de los diferentes tamaños de muestra (Garrido, 2016).

4.2.2 Lavado de suelos ex situ: se realiza un proceso de excavación con el fin de realizar un pretratamiento al suelo afectado por los contaminantes a fin de disminuir partículas de grava que posean poca absorción, se prosigue a realizar un proceso de lavado con extractantes químicos que permitan solubilizar y desirve los contaminantes presentes. Se prosigue a realizar un lavado al suelo con agua limpia a fin de eliminar los contaminantes restantes o químicos residuales, se realiza procesos de flotación a la vez que se eliminan contaminantes pesados por medio de la sedimentación a causa de la gravedad como se observa en la figura 17. El suelo afectado debe poseer ciertas características para que la eficacia de la técnica sea la indicada como son: pH, mineralogía, textura, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, entre otros. Los compuestos extractantes utilizados en este método normalmente son ácidos, agentes quelantes, bases, alcoholes, aditivos como sales y surfactantes. Los ácidos más comunes para la eliminación de zinc, plomo y cobre pueden ser ácido clorhídrico, ácido cítrico, ácido nítrico, ácido etilendiaminotetraacético EDTA. Esta técnica de lavado se realiza a suelos contaminados por diferentes tipos de químicos como derivados del petróleo, cianuro, metales pesados (Said & Arnaiz, 2018)

Figura 17

Esquema de la técnica de lavado de suelos ex situ.

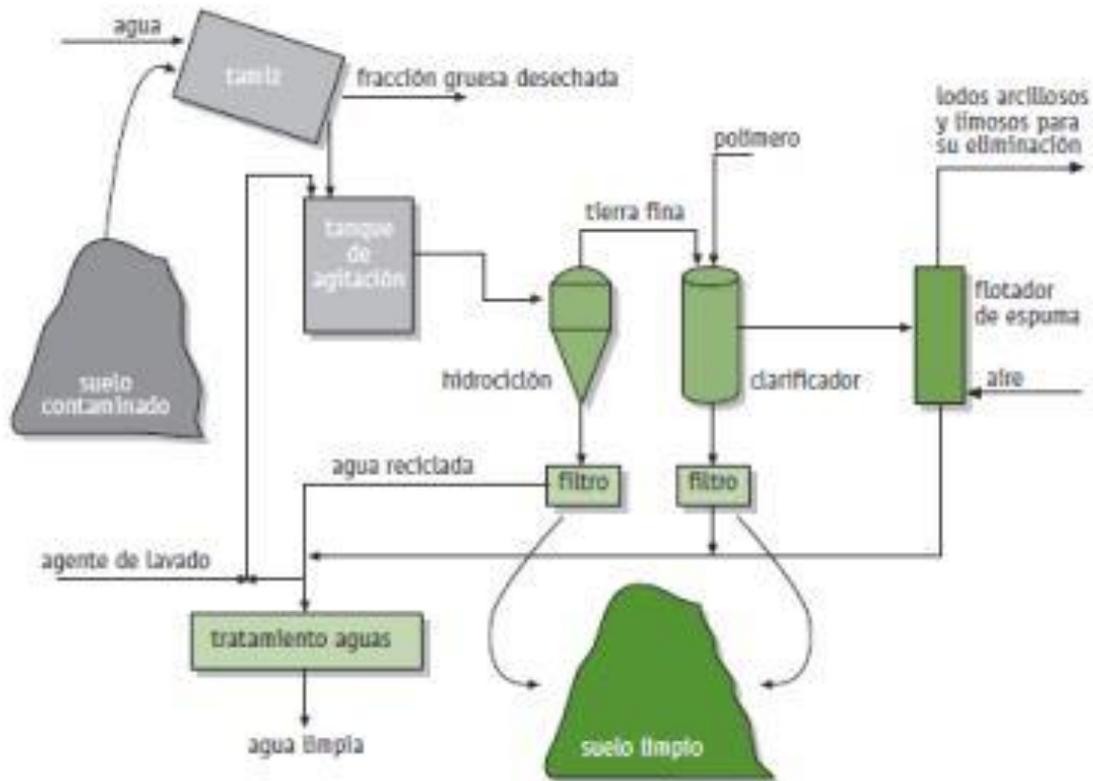


Fuente: (Garrido, 2016).

4.2.3 Lavado de suelo in situ: para esta técnica se inyectan líquidos a la zona afectada la cual pasa a través de la masa diluyendo los contaminantes presentes, generando que se han desplazados a fin de lograr bombearlos hasta la capa superficial del suelo, de esta manera los fluidos extractantes y aguas subterráneas son bombeadas mediante la utilización de pozos de extracción para ser tratados como se muestra en la figura 18, el componente principal en esta técnica es el agua, ya que el propósito es inundar la zona afectada y aplicarle aditivos para volver solubles los contaminantes presentes (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 18

Esquema de la técnica de lavado de suelos in situ.



Fuente: (Said & Arnaiz, 2018)

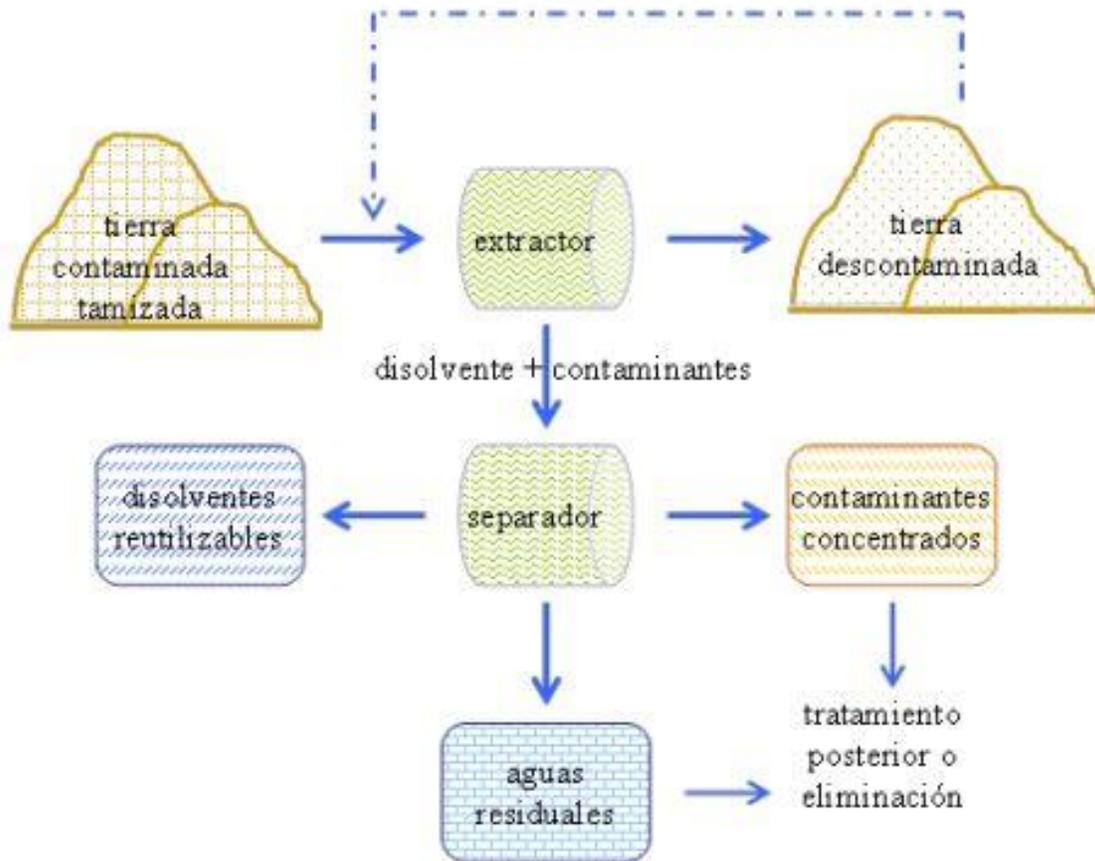
Al igual que cualquier técnica a utilizar, esta también posee desventajas como son: el desplazamiento de contaminantes por medio del agua, generando movilización a zonas no deseadas por ende se debe tener un mayor control para evitar que los contaminantes afecten suelos sanos, esta técnica no es igual de eficiente a la hora de descontaminación como la técnica ex situ, no se debe realizar esta técnica si el suelo es poco permeable o heterogéneo y por obligación se deben realizar diversos pozos para la inyección (Said & Arnaiz, 2018).

4.2.4 Extracción con disolventes: esta técnica se utiliza para los suelos que se encuentran contaminados con compuestos orgánicos, sedimentos, entre otros, por medio de un disolvente orgánico el cual realiza la función de concentrar y separar los contaminantes del suelo, esta técnica realiza procesos de separación del suelo por tamaños para garantizar la mayor eficiencia, el primer paso para la técnica es introducir el suelo a recuperar en el equipo de extracción a la vez que el disolvente, de tal forma se realiza una mezcla eficiente y permite que se disuelvan los contaminantes presentes como se muestra en la figura 19, de este proceso se generan dos

residuos el primero es el suelo descontaminado y el otro es el disolvente con los contaminantes, este disolvente es recuperado y reutilizado para un posterior uso (Garrido, 2016).

Figura 19

Esquema de la técnica de extracción con disolvente.



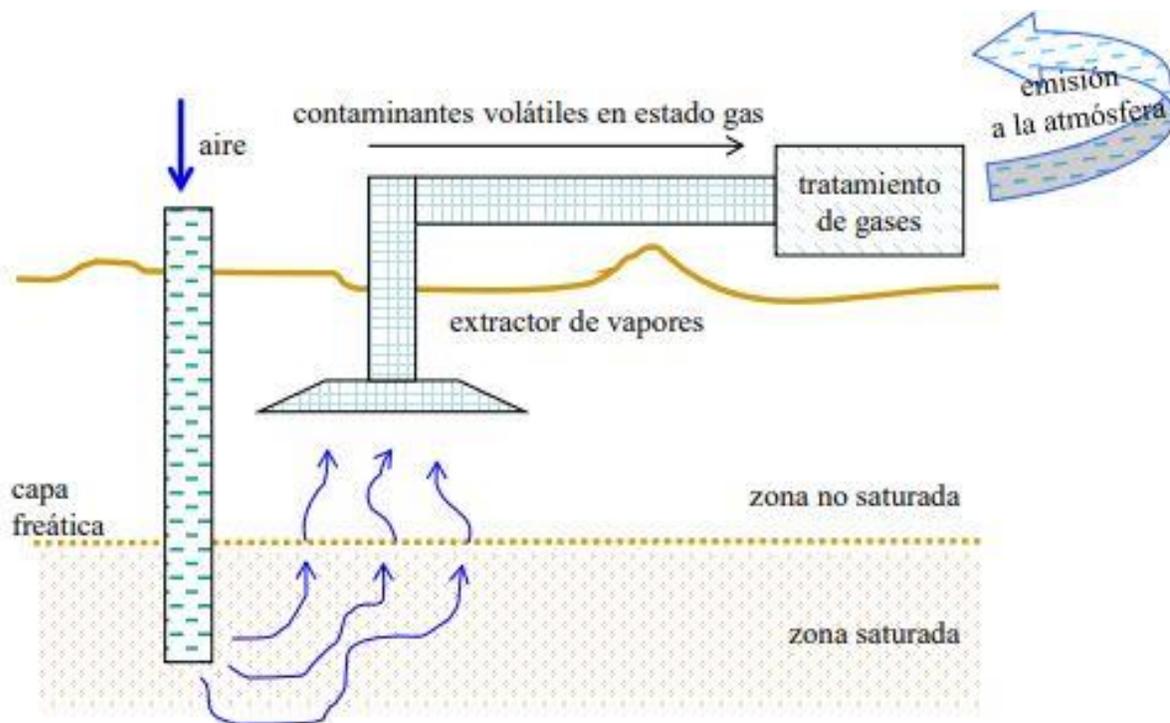
Fuente: (Garrido, 2016).

4.2.5 Extracción de vapores del suelo: esta técnica se utiliza cuando el suelo es contaminado por compuestos orgánicos volátiles, bifenilos policlorados PCBs y compuesto semivolátiles. Este proceso se realiza por medio de una fuente de vacío dirigida al suelo generando una presión ascendente, de tal manera se realiza un movimiento continuo de los vapores contaminantes llevándolos a la superficie para luego ser tratados y finalmente liberados a la atmósfera con un nivel de contaminación más bajo (Garrido, 2016).

4.2.6 Aspersión de aire: según Garrido I (2016) este proceso posee una gran ventaja ya que al inyectar aire por bombeo a la zona afectada esto permite que los contaminantes puedan subir a la superficie en forma de burbujas y a la vez estimula la biorremediación por medio de la oxigenación, estos gases son extraídos para posteriormente ser tratados y liberados de forma inofensiva como se muestra en la figura 20 (Garrido, 2016).

Figura 20

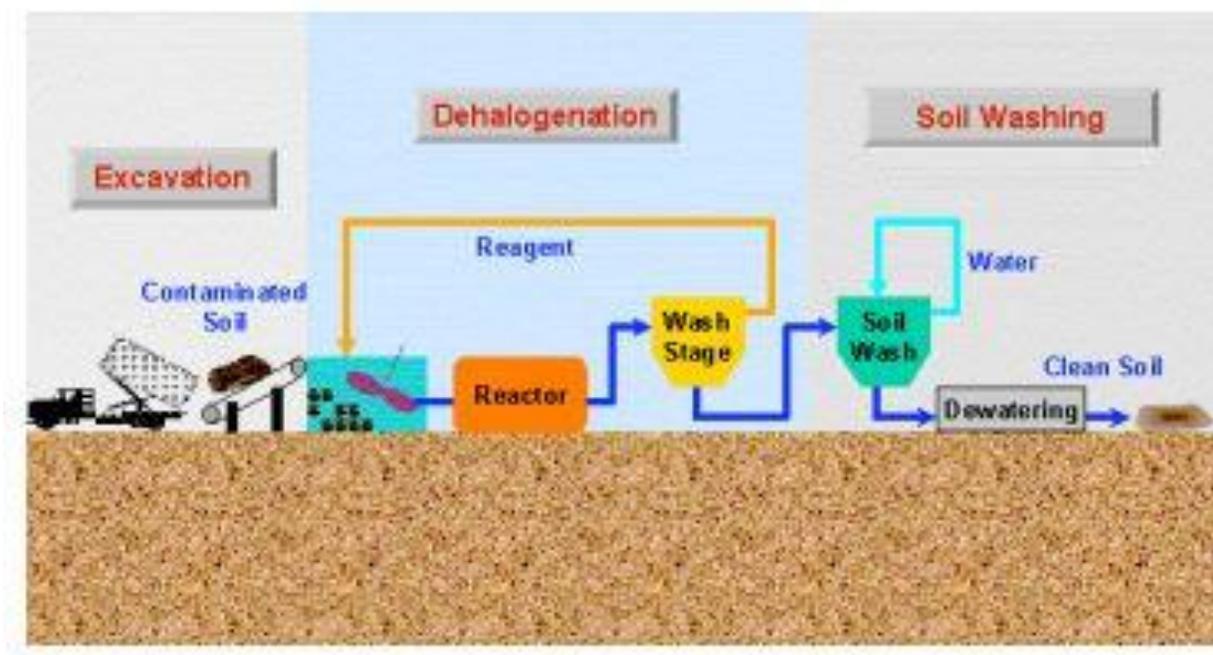
Esquema de la técnica de aspersión por aire.



Fuente: (Garrido, 2016)

4.2.7 Deshalogenación: según Said A (2018) esta técnica se utiliza con reacciones químicas como son la sustitución, para esto normalmente se utiliza potasio e hidróxido de sodio, pues los compuestos orgánicos halogenados que se encuentran en el suelo presentan la pérdida de un átomo de halógeno, ocasionando que estos compuestos sean menos tóxicos y se logren diluir con agua generando la facilidad en el proceso de separación del contaminante al suelo como se observa en la figura 21 (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 21
Esquema de la técnica de Deshalogenación

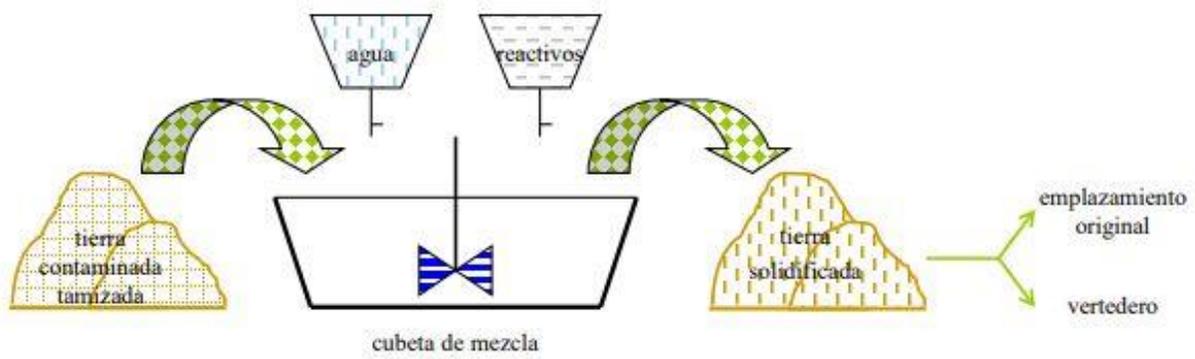


Fuente: (Said & Arnaiz, 2018)

4.2.8 Solidificación / estabilización: según Garrido I (2016) esta técnica es utilizada principalmente para los suelos contaminados por compuestos orgánicos e inorgánicos y compuestos no volátiles, este proceso se realiza por medio de la mezcla de materiales como polímeros orgánicos, residuos de hornos, cemento, silicatos asfalto, ceniza, entre otros, teniendo presente que estos residuos son materiales reactivos, lo que genera una inmovilización de estos contaminantes como se muestra en la figura 22 (Garrido, 2016).

Figura 22

Esquema de la técnica de solidificación / estabilización.



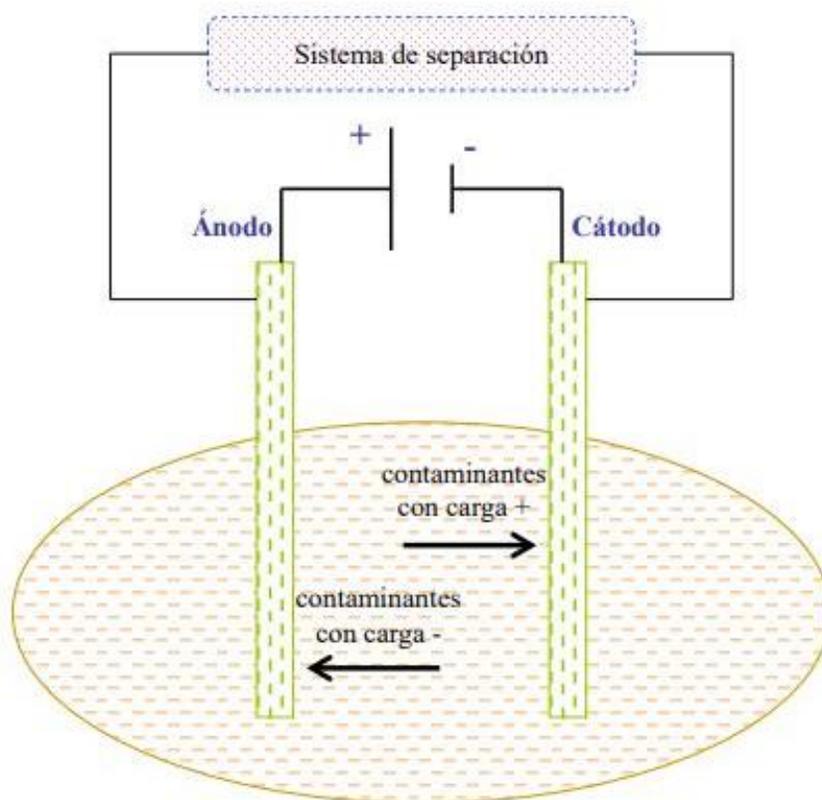
Fuente: (Garrido, 2016)

4.3 Técnicas Electrocinéticas

El propósito de dichas técnicas es realizar el desplazamiento de los contaminantes con la ayuda de una corriente eléctrica de intensidad baja la cual se genera por la implantación en el suelo de dos electrodos. Al ser aplicada corriente directamente al suelo se genera un proceso de hidrólisis del agua presente en la zona afectada, de tal forma se acidifica la solución debido a la producción de hidrogeno y se libera el oxígeno. El frente ácido migra hacia el cátodo y permite la desorción de los contaminantes en el suelo y se anula del electro por métodos de precipitación/coprecipitación como se muestra en la figura 23, esta técnica es aconsejable por la eficacia a la hora de eliminar metales pesados y compuestos orgánicos en el suelo (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 23

Esquemas de la técnica electrocinética.



Fuente: (Garrido, 2016)

Los contaminantes como cianuro, cloro, flúor, nitratos, entre otros son arrastrados hasta el electrodo positivo. El amonio y compuestos cargados positivamente siendo compuestos catiónicos se ven arrastrados hasta el electrodo negativo, por ende, el barrido de estos se debe realizar lentamente (Said & Arnaiz, 2018).

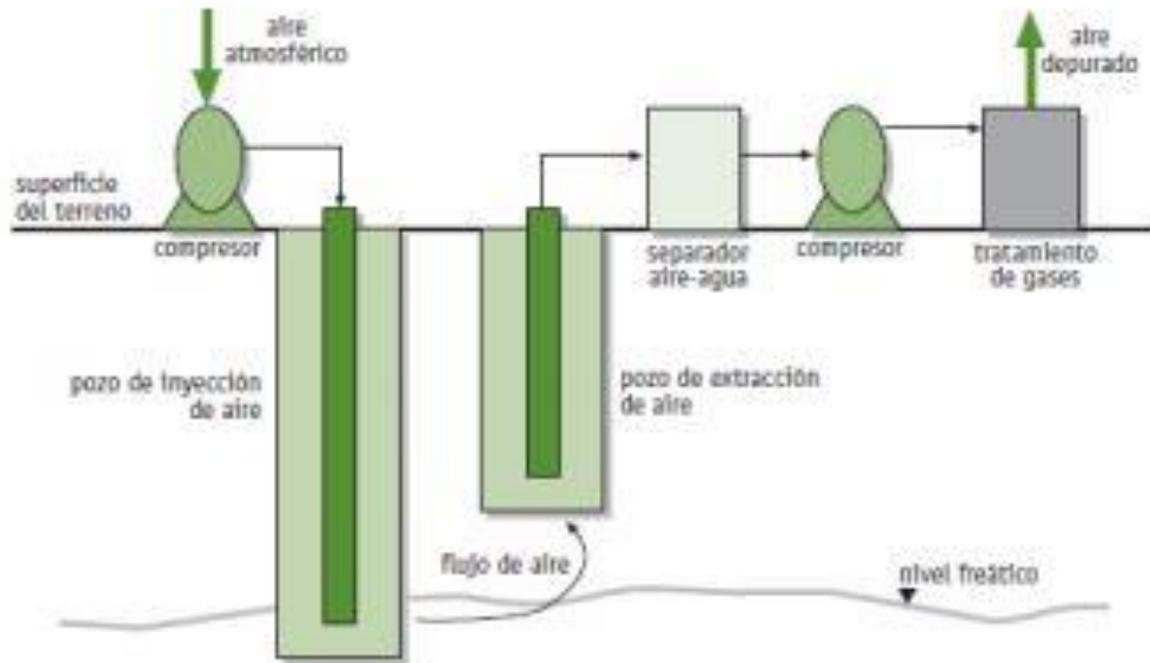
Posteriormente se realiza la extracción de los contaminantes de los electrodos por medio de una corriente de agua. Esta técnica posee diversos beneficios como un bajo consumo de energía, posee mayor control en la dirección de flujo y la facilidad de eliminar los contaminantes por medio de bombeo, pero a su vez también presenta contras ya que al ser una técnica relativamente reciente aún se encuentra en investigación y mejoras, tiene gran inestabilidad a la hora de arrojar resultados ya que estos se ven implicados por los parámetros del suelo, contaminantes y la distancia entre los electrodos generando que sea a corto o mediano plazo (Garrido, 2016).

4.3.1 Inyección de aire comprimido: esta técnica separa los contaminantes presentes en el agua en forma de vapor, se utiliza cuando los contaminantes están presentes en el suelo y por ende disueltos en agua subterránea. Por medio de la inyección de aire genera volatilización de los contaminantes presentes en el agua generando un desplazamiento hasta una zona no contaminada, promoviendo la biodegradación, al ser redirigido el aire contaminado se extrae a la superficie y se depura con filtros de carbón activado, así como se muestra en la figura 24 esta técnica es especial para cuando los suelos poseen contaminantes como solventes clorados, compuestos orgánicos volátiles, xileno, tetracloruro de carbono, benceno, cloruro de metilo, tolueno, tricloroetano, entre otros (Said & Arnaiz, 2018)

El suelo apropiado para esta técnica debe ser poco húmedo y permeable con el fin de que no haya desplazamiento de contaminantes a zonas no afectadas y posee un elevado consumo energético (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 24

Esquema de la técnica de inyección de aire comprimido.



Fuente: (Said & Arnaiz, 2018)

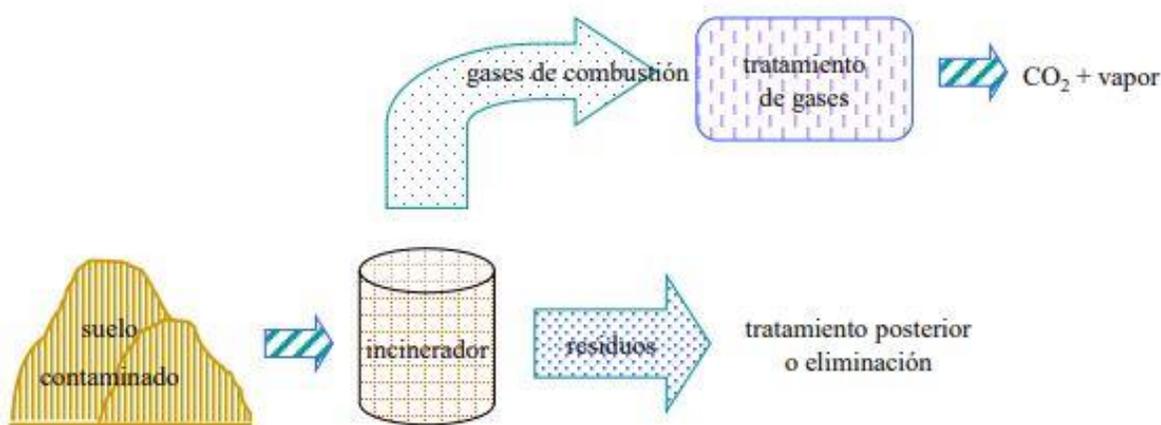
4.4 Técnicas terminas

Estas técnicas son caracterizadas por la utilización de calor a fin de destruir el contaminante que se encuentra en la zona afectada, estos tratamientos son de los más eficientes hablando en cuestiones de tiempo, pero los costos son altos debido al gasto de energía, mano de obra e inversión en equipos, una desventaja hablando desde la perspectiva ambiental es la generación de vapores, residuos sólidos y lixiviados, los cuales deben tener un tratamiento posterior generando un incremento en los costos (Garrido, 2016).

4.4.1 Incineración: según Said A (2018) el propósito principal de esta técnica es realizar la destrucción de los contaminantes presentes en el área afectada por medio de una controlada combustión del suelo con unas temperaturas aproximadamente de 1000 °C, esta combustión genera vapores residuales, dióxido de carbono y agua. El porcentaje de eficiencia de la técnica es aproximadamente del 99,99% y se implementa en la mayor parte cuando los suelos se han visto contaminados por plaguicidas, compuestos halogenados, dioxinas, metales volátiles, entre otros, como se muestra en la figura 25 (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 25

Esquema de la técnica de incineración.



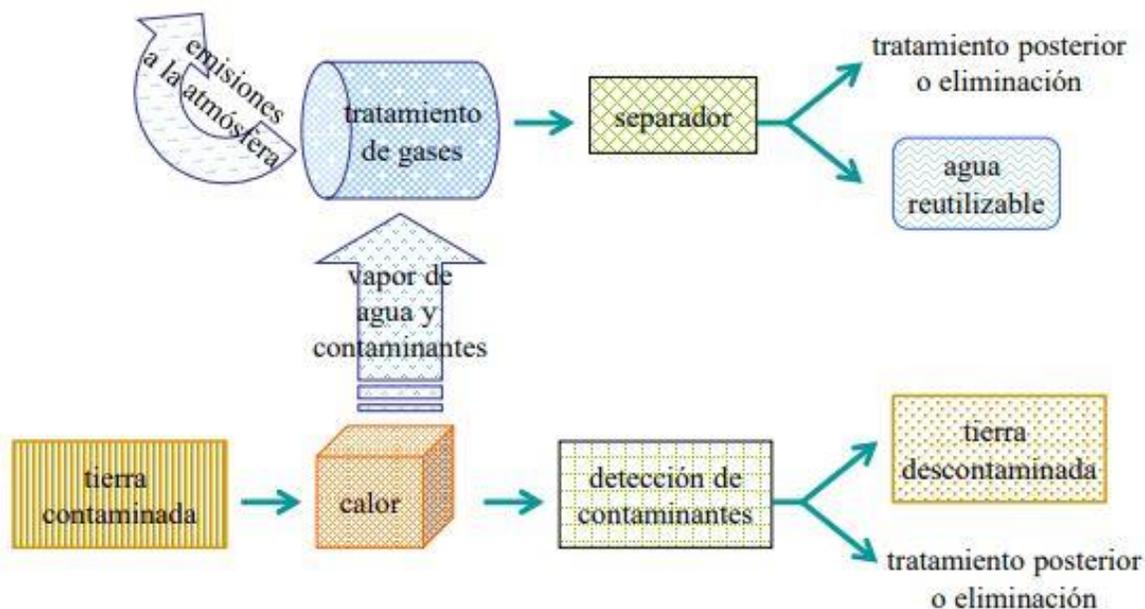
Fuente: (Garrido, 2016)

4.4.2 Desorción térmica in situ: el objetivo principal es aplicar calor a los suelos contaminados a fin de volatilizarlos y depurar los gases residuales tóxicos. Lo ideal es realizar la inyección de aire caliente a las capas del suelo contaminado por material volátil o semivolátiles por medio de resistencias eléctricas a suelos porosos y húmedos y posee un corto tiempo de aplicación, como se observa en la figura 26. Esta técnica posee ciertos inconvenientes como el aumento en los

costos energéticos debido a que ciertos contaminantes poseen un alto punto de volatilización y se requiere un sistema para la depuración de vapor y gases (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 26

Esquema de la técnica de desorción térmica in situ.



Fuente: (Garrido, 2016)

4.4.3 Desorción térmica ex situ: esta técnica se realiza en un sitio diferente a la zona afectada separándose en dos cámaras, la primera se encuentra a una temperatura alta aproximadamente de 320 – 560 °C la cual es combinada con procesos de deshalogenación, solidificación o incineración, la segunda cámara realiza el descenso de la temperatura entre 90 – 320 °C esto con el fin de realizar remediaciones a suelos contaminados con petróleo. Para esta técnica también es necesaria la implementación del equipo de depuración de vapores y gases. Las ventajas que posee esta técnica es el tiempo de operación pues es de corto tiempo, aproximadamente en una hora se puede llegar a descontaminar 25 toneladas de suelo con una restauración completa a fin de obtener microorganismos, por el contrario, las desventajas que presenta es que no es apropiado para suelos húmedos y poco permeables, también los residuos generados tienden a ser más tóxicos que los contaminantes originales (Said & Arnaiz, 2018).

4.4.4 Plasma: este tratamiento se realiza in situ a fin de evitar costos extras, se utiliza un plasma para calentar el suelo a temperaturas altas puesto que estas inducen a la ausencia de oxígeno en el suelo contaminado eso con el fin de degradar los compuestos orgánicos y vitrificar los compuestos inorgánicos, una de las desventajas que presenta el tratamiento con plasma son la producción de furanos y dioxinas debido a una combustión incompleta lo que implica realizar un segundo tratamiento para erradicar y controlar dichos residuos (Garrido, 2016).

4.4.5 Vitrificación: esta técnica se puede realizar in situ y ex situ ya que en ambos el suelo es transformado en una matriz silícea vítrea químicamente por medio de la aplicación de calor al suelo hasta el punto de fundición con unas temperaturas entre 1600 – 2000 °C esto por medio de unos electrodos de grafito los cuales son insertados directamente en el suelo produciendo la corriente eléctrica necesaria y a su vez destruyendo los compuestos orgánicos, como se muestra en la figura 27, una de las ventajas de este método es que no produce lixiviados pero si es necesaria la implementación de un post tratamiento para los gases generados. Para el proceso ex situ se procede a la excavación de los suelos contaminados y posteriormente se realiza todo el procedimiento anteriormente mencionado (Said & Arnaiz, 2018).

Figura 27

Esquema de la técnica de vitrificación.



Fuente: (Garrido, 2016)

4.5 Técnicas biológicas

Mayormente conocidas por la utilización de seres vivos como plantas, hongos, bacterias, entre otros, normalmente se conoce como biorremediación, esto con el fin de transformar, extraer o degradar los contaminantes presentes en la zona afectada, estos microorganismos utilizan los químicos contaminantes como fuentes de energía y alimento, estas técnicas son amigables con el medio ambiente, normalmente no se realizan post tratamientos y son considerados de bajo presupuesto. Las desventajas que presentan estas técnicas son en su mayoría el exceso de tiempo necesario para observar resultados y la verificar la toxicidad de residuos (Garrido, 2016).

4.5.1 Fitorremediación: según Garrido I (2016) para esta técnica se utilizan ciertas plantas las cuales poseen la habilidad de degradar y absorber los contaminantes orgánicos presentes en el suelo, existen dos tipos de fitorremediación las cuales son:

In planta: es cuando la planta misma realiza el proceso de absorción del contaminante y lo procesa

Ex planta: esto sucede cuando la degradación del contaminante se genera en la zona de la rizosfera ya que hay más movimiento y actividad por parte de los microorganismos puesto que hay mayor alimento.

Existen dos procesos que realizan las plantas para la eliminación de estos contaminantes los cuales son la Fito extracción y la Fito acumulación.

La fitoacumulación: es cuando las raíces de las plantas absorben los contaminantes para luego ser dirigidos a las hojas y los tallos.

La fitoestabilización: es cuando se inmovilizan los contaminantes ya que al estar retenidos en las raíces generan un químico que evitan que se dispersen.

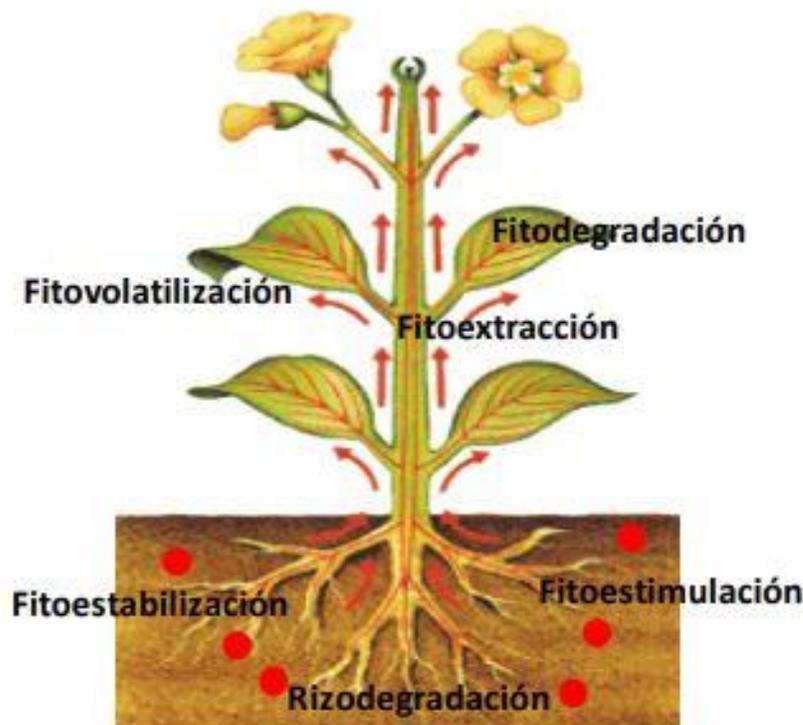
La fitodegradación: es cuando se degradan los contaminantes por los procesos metabólicos que se generan en la planta junto con una enzima.

La fitovolatilización: se genera cuando el contaminante es transportado por el tallo hasta llegar a las hojas donde se genera la volatilización o evaporación, como se observa en la figura 28.

Estas técnicas se especializan con el propósito de eliminar los contaminantes como plaguicidas, compuestos orgánicos, disolventes clorados y metales, entre otros. Las desventajas más notorias para esta técnica es el tiempo de aplicación puesto que no es rápido ya que se debe llevar el proceso con calma para obtener resultado (Garrido, 2016).

Figura 28

Esquema del mecanismo de fitorremediación en una planta.



Fuente: (Garrido, 2016)

4.5.2 Biopilas y Landfarming: Esta técnica se basa en la estimulación de los microorganismos presentes en los suelos contaminados mediante la incorporación de nutrientes, oxígeno y humedad teniendo en cuenta que previamente se realiza la excavación del suelo. Ambas técnicas son similares pues en las dos se observa los procesos de acumulación del suelo en pilas, de aireación y para las dos se necesitan microorganismos degradadores de contaminantes. Para finalizar terminan siendo cubiertas las pilas por capas impermeables a fin de prevenir la alteración del proceso (Garrido, 2016).

4.5.3 Compostaje: Según Garrido I (2016) esta técnica se utiliza con el fin de provocar un crecimiento de los microorganismos los cuales se encargaran de degradar el suelo contaminado dando como resultado un compuesto inocuo, el proceso que se realiza para esta técnica es la excavación del suelo contaminado para después agregar materiales biodegradables como residuos vegetales, aserrín, paja, entre otros, como se muestra en la figura 29, se realiza el control de ciertas variables físicas como el pH, temperatura, humedad, oxígeno disuelto, etc. esta

técnica posee diversos beneficios como bajos costos en implementación, mantenimientos y simplicidad en las tecnologías aplicadas. Esta técnica se puede realizar por medio de dos sistemas los cuales son:

Sistema abierto: Se realiza el proceso de compostaje al aire abierto.

Sistema cerrado: El proceso se realiza en reactores especializados para realizar procesos de fermentación (Garrido, 2016).

Figura 29

Esquema del compostaje como método de biorremediación de suelos.



Fuente: (Garrido, 2016)

4.5.4 Bio-aireación: Esta técnica se realiza in situ por medio de pozos de inyección los cuales se sitúan en el suelo contaminado para realizar la incorporación de nutrientes y oxígeno de esta forma se incrementa el crecimiento de los microorganismos presentes en el sector, una de las desventajas más notorias para esta técnica es la inseguridad en la eficiencia pues dependiendo de los microorganismos y contaminantes se deriva la efectividad en degradación (Garrido, 2016).

4.5.5 Bio-ventilación: Esta técnica es similar a la bio aireación la única diferencia que presenta es que los pozos de inyección se sitúan en una zona no saturada de contaminantes, esta técnica se enfoca en la degradación de suelos contaminados por plaguicidas, compuestos no clorados y conservantes (Garrido, 2016)

4.6 Aplicación del método de remediación más viable en suelos contaminados por agroquímicos en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander.

El municipio de Gramalote está caracterizado por tener suelos con relieves quebrados a escarpados, con pendientes fuertes mayores del 25%, con texturas finas de moderada a baja profundidad efectiva, la mayor parte del territorio posee suelos ácidos y pobres en magnesio, calcio y fósforo. En términos generales los suelos se registran con riesgos de erosión y limitaciones para el desarrollo radicular; según sus características fisicoquímicas y microbiológicas son aptos para el establecimiento de bosques industriales, cultivos permanentes, reforestaciones y en los sectores de menor pendiente se puede desarrollar la ganadería y la agricultura en asocio con sistemas agroforestales (Alcaldía Municipal de Gramalote Norte de Santander, 2002).

De acuerdo con la revisión bibliográfica y la visita técnica realizada al cultivo, se pudo evidenciar que los suelos ácidos limitan el desarrollo y la producción de las plantas, por lo que para corregir esta característica los productores preparan variadas mezclas de agroquímicos como la que se puede observar en la figura 30.

Figura 30

Preparación de agroquímicos para su dispersión



Fuente: Autores

La figura 31 evidencia la presencia de metales pesados en el suelo del cultivo como el hierro, arsénico, mercurio etc, éstos son debido a la utilización de fuertes concentraciones de productos agroquímicos los cuales son aplicados desde etapas tempranas con el fin de fortalecer las plantas previniendo y minimizando el ataque inesperado de plagas y enfermedades, iniciando con los de baja concentración para que no afecten el desarrollo normal de la planta y a medida que crece se va aumentando la cantidad y la concentración del producto, lo que conlleva a la fijación y permanencia en el suelo

Figura 31

Observación de metales presentes en el suelo del cultivo de tomate



Fuente: Autores

Conforme a los resultados expuestos y junto con una minuciosa evaluación de los métodos estudiados para la biorremediación de un suelo contaminado por agroquímicos se concluye que la mejor técnica a aplicar es la de tipo biológico denominada fitorremediación la cual tiene como característica principal ser de tipo sustentable, de bajo costo y con una alta aplicabilidad para la rehabilitación de suelos. De igual forma el método a implementar corresponde a la fitoestabilización la cual se seleccionó debido a que inmoviliza los contaminantes en el suelo a través de la absorción y acumulación en las raíces de la planta remediadora y mediante su proceso de crecimiento va cambiando las características del suelo tratado, al mismo tiempo que le da estabilidad, reduciendo así la movilidad de los contaminantes y evitando que lleguen a otros medios como el agua o el aire. Este método es perfecto para ser aplicado en las áreas de siembra de tomate en el municipio de Gramalote ya que reúne las características al ser cultivos de grandes extensiones de terreno que han sido contaminados con productos agroquímicos en su superficie. Una de las ventajas que más llamó la atención es que este método es de fácil aplicación y los costos son relativamente bajos en comparación con los demás y al llegar a su desarrollo total, los animales pueden consumir sin ningún problema este tipo de plantas, ya que los contaminantes han desaparecido por completo gracias al trabajo realizado en sus raíces.

Algunas de las especies de plantas que más se utilizan para la fitoestabilización y que son conocidas ampliamente en la región son:

Maíz (*Zea Mays*): El maíz es un excelente fitorremediador ya que posee características específicas como la resistencia a diversos climas y buen desarrollo radicular. La extracción de los contaminantes presentes en los suelos agrícolas se genera por medio de las raíces de dicha planta llevando procesos de bioconcentración y translocación. Según Pastor, Gutiérrez y Hernández (2012) la siembra de maíz en terrenos contaminados por metales pesados es una decisión acertada ya que realizaron unos análisis por medio de un bioensayo el cual tuvo un tiempo aproximado de 3 meses en donde se mantuvieron bajo condiciones como temperatura y humedad controladas, se realizó al sembrar las plantas en contenedores plásticos, con suelos extraídos de zonas mineras las cuales presentaban altos contenidos de Cadmio, Zinc y Plomo. Al finalizar el estudio se realizó el respectivo análisis de la zona radicular y el tallo por medio de un proceso de secado, dando como resultado la acumulación del Pb y Zn en las raíces y con una menor concentración en el tallo y las hojas. La figura 32 permite observar un estudio realizado por Munive, R., Loli, O., Azavache, A., Gamarra, G (2018) en Lima Perú, donde se dieron a conocer resultados como por ejemplo que la siembra de maíz previamente realizada en suelos contaminados por Pb y Cd muestra panoramas alentadores ya que en todo el estudio las plantas se mantuvieron intactas, los niveles de concentración de metales pesados disminuyeron y los niveles de materia orgánica, pH, nitrógeno, fosforo, potasio, entre otros tuvieron un aumento significativo.

Figura 32

Siembra de maíz para la investigación



Fuente: Munive, R., Loli, O., Azavache, A., Gamarra, G (2018).

Ruiz y Armienta (2012). Realizaron un estudio en el cual analizan la reacción del Maíz al ser sembrada en sustratos cercanos y lejanos de minas, con un periodo de análisis de 70 días. El estudio se dio inicio con la recolección de los dos tipos de suelos, seguido se realizó la siembra por semillas en macetas de aproximadamente 750 gr para dar un seguimiento del crecimiento. Al finalizar los 70 días se procede a secar los suelos para un posterior análisis a fin de identificar los tipos de contaminantes y el porcentaje de concentración de metales pesados siendo menos al

iniciar el crecimiento de la planta que se encontraba en el sustrato altamente contaminado fue menor y con un bajo rendimiento, por el contrario, la planta que fue sembrada con el sustrato más lejano a la zona afectada tuvo un crecimiento y rendimiento normal. Al realizar el respectivo análisis de las plantas se procede a dividir la raíz del tallo para ser lavadas y secadas lo cual arroja que las raíces poseen acumulación alta de los metales y el tallo y hojas la acumulación es más baja.

Peniseto (*Pennisetum setaceum*): Esta planta es originaria de África, pero se han observado unos favorables usos en Colombia, teniendo en cuenta las temperaturas adecuadas ya que se encuentra en un aproximado de 24° a 30°C, posee unas características específicas como su flor, ya que esta es en forma de espiga con una peculiar tonalidad gris. Esta planta es utilizada en su mayoría para prevenir y evitar la erosión ya que contribuye a la estabilidad del suelo. López y Contreras (2017) realizaron un proyecto el cual se enfocaba en un terreno destinado a ser relleno sanitario por lo cual se analizaron dos muestras la primera se encontraba en el área de influencia la cual es afectada por los lixiviados y la segunda no presentaba ningún tipo de contaminación, para el crecimiento de las semillas se realizaron en un periodo de 3 meses en donde se sembraron en 53 macetas plásticas, cada semana se realizaba un registro de las novedades observadas en las plantas. Pasados los 3 meses se realiza la extracción y análisis de la planta dando como resultado un 60% de absorción de metales como Zn en las hojas.

Alfalfa (*Medicago sativa*): Esta planta conserva un gran sistema radicular, absorbe, conserva y tolera metales en su interior, por tal motivo se conoce como hiperacumuladora. Otra de las ventajas de esta planta es la tolerancia a las temperaturas por debajo de 15°C, también es tolerante a las largas temporadas de sequía y posee una gran fijación de fosforo y nitrógeno. Las desventajas que se analizan es la sensibilidad a los pH ácidos y al exceso de agua. OEI (2017). Según Coyago y Bonilla (2016) afirman que la planta posee una absorción continua llegando a retener dichos contaminantes en la estructura vegetal implicando un potencial peligro al realizar la ingesta de la planta llegando a afectar la salud del individuo.

La figura 33 se observa n estudio realizado por Bonilla (2013) donde se exponía la alfalfa a la contaminación de suelos por plomo al 5% y 10%, para luego ser aplicado el método de espectrofotometría el cual debía llevar un estricto procedimiento como el ingreso de muestras, conservación, secado, pesaje, extracción y filtración. Los resultados arrojaron que el contenido de plomo en la planta posee un significativo aumento generando un decrecimiento en la planta. En una investigación realizada a la alfalfa por parte de Gonsales, Aponte, Bustamante y Chomba (2016) se analizó la capacidad de absorción que posee la planta a suelos afectados por cobre por medio de una siembra realizada a suelos contaminados de manera artificial por CuSO₄ esta investigación se dividió en dos partes la primera posee un valor menos del % de CuSO₄ y la segunda el valor es mayor, dando como resultado un aumento significativo en la acumulación del cobre en las raíces y una disminución respectivamente en la planta.

*Figura 33**Fitoacumulación de metales en alfalfa amaranto y acelga**Fuente: Bonilla (2013)*

Heliconia (Psittacorum): La figura 34 se muestra la estructura de la planta la cual posee características muy importantes como por ejemplo la exclusividad para los procesos de fitorremediación, la gran variedad de especies que proveen de oxígeno a las raíces y toleran variables ambientales. Según un estudio realizado por Peña, Madera, Sánchez y Medina (2013) donde analizan los parámetros del suelo así también los minerales y los contaminantes dando como resultado que bajo las condiciones favorables del sustrato y ambiente se logra una asimilación del nitrógeno por medio de las hojas y raíces, con una eliminación de metales pesados aproximadamente del 90%.

*Figura 34**Heliconia florecida**Fuente: Peña, Madera, Sánchez y Medina (2013).*

Se conoce que una correcta y eficaz recuperación de suelos depende de algunos factores como lo son el clima, la altura, la clase de contaminante, la concentración de este en el suelo, la cantidad, el tiempo de exposición, el método de fitorremediación y el tipo de plantas que se utilicen en el proceso y a pesar de la cantidad de ventajas y beneficios que hacen parte de este sistema, existen también algunas limitantes que en su gran mayoría dependen del tiempo que se emplee para implementar y ejecutar la remediación, además de que este tipo de soluciones solo se pueden utilizar de forma eficiente en casos de contaminación superficial y de baja concentración de contaminante.

Capítulo V

5.1 Conclusiones

Con esta monografía se ha permitido dar a conocer la naturaleza de los agroquímicos en función de los recursos naturales, permitiendo evidenciar los beneficios y el rendimiento que obtienen los cultivos mediante la utilización de este tipo de compuestos que buscan principalmente prevenir, mitigar y corregir los daños ocasionados por plagas enfermedades o virus que afectan en este caso un cultivo de tomate y que mediante una correcta implementación en la zona de cultivo permitirá al productor obtener una mayor producción, rendimiento y un eficaz control de los factores que puedan poner en riesgo la producción.

La fitorremediación es la técnica más eficiente a implementar para reducir, mitigar y compensar los efectos causados al recurso suelo por el uso indiscriminado de agroquímicos en el municipio de Gramalote Norte de Santander.

Con esta investigación se han determinado las consecuencias que el uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos tiene para los recursos naturales y la salud humana durante el establecimiento y producción del cultivo de tomate. Se evidencian múltiples problemáticas como alteración en la calidad del aire, contaminación de fuentes hídricas, afectación a la salud humana, causadas por el descontrolado uso de los agroquímicos en los campos, el poder contaminante de este tipo de compuestos químicos causa enfermedades, malformaciones o muerte en los individuos que estén expuestos bien sea por el consumo de alimentos contaminados o en algunos casos por el contacto directo a través de la piel o la respiración con el material contaminante.

Así mismo se hace necesario el establecimiento de un control sobre los agroquímicos que tengan como característica principal una amplia permanencia en el suelo, ya que estos además del suelo, contaminan aguas superficiales y subterráneas causando la extinción de la fauna biótica y abiótica. Pero para lograr eso es necesario que las entidades responsables articulen e implementen los instrumentos necesarios como aranceles, tasas ambientales reglamentos o procedimientos de control técnico y seguimiento a la producción, transporte, almacenamiento, comercialización, uso y manejo de agroquímicos en el territorio nacional; además de un seguimiento eficaz a la disposición final de los desechos tóxicos generados por estas actividades que puedan considerarse un riesgo para la salud de las personas y el bienestar del medio ambiente.

Se concluye que los productores tienen un grado de responsabilidad muy alto ante la utilización de los agroquímicos, donde deben conocer los límites entre lo beneficioso para sus cultivos y lo perjudicial para la naturaleza y la vida humana. Es necesario tomar conciencia frente a los impactos generados por las inadecuadas prácticas agrícolas y adoptar una forma de producción sostenible que contribuya a la minimización de los procesos degradativos causados a la naturaleza. Pero para lograr estas metas es de vital importancia que los productores tengan el conocimiento de las causas y consecuencias que trae consigo las practicas que han llevado a cabo

a través de los años; además de la realización de un seguimiento, control y vigilancia del uso y manejo de los agroquímicos de por parte de las autoridades regionales y municipales.

Según lo evidenciado en la fase práctica del proyecto, el cultivo de tomate requiere de una diversa cantidad de productos agroquímicos para su implementación y producción, lo que significa que es uno de los alimentos con mayores riesgos para la salud humana y animal, además de representar un impacto sobre los ecosistemas influyendo notablemente en la cadena alimentaria de muchas especies, en el flujo de energía, en los ciclos de los nutrientes, en la genética de los organismos y en general en la estabilidad del sistema.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Gramalote Norte de Santander. (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial EOT. Obtenido de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/123456789/22971>
- Badii, M., Garza, V., & Landeros, J. (2006). Efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre. *Culcyt*, 1-23.
- Benítez, R. (2012). Plaguicidas y efectos sobre la salud humana: un estado del aire. 1-97.
- Bernal, A. (1 de 06 de 2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. Obtenido de Revista de Investigación Agraria y Ambiental: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1340>
- Bravo, M. (2002). Uso reducido de insecticidas y control biológico de plagas del Jitomate en Oaxaca. *Agricultura técnica en México*, 1-14.
- CATIE. (1990). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- CCB. (2015). *Manual tomate*. Bogota : Camara de Comercio de Bogota.
- Centro de Información, Vigilancia y Asesoramiento Toxicológico . (2013). Aspectos generales sobre los plaguicidas, su efecto sobre el ambiente y el hombre .
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación del suelo: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 1-68.
- Daza, L. A. (2019). *CULTIVO DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.) Y MAÍZ (Zea mays)* . Obtenido de Universidad de La Salle, Bogotá : https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/133/
- Daza, L. A. (2019). *Universidad de La Salle, Bogotá* . Obtenido de Cultivo de tomate (Solanum lycopersicum L.) y maíz (Zea mays): https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/133/
- Díaz, J., & Gómez, J. (2016). La influencia del ordenamiento jurídico Colombiano en la implementación de planes posconsumo de residuos peligrosos. . *Universidad libre*, 1-161.
- Dorransoro, C. (2007). Edafología y química agrícola . *Universidad de Granada*, 1-5.
- Fabelo, J. (2017). *Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados*. Santa Clara: Scielo.
- FAO. (1990). *¿Qué son los plaguicidas?* Obtenido de <http://www.fao.org/3/W1604S/w1604s04.htm#:~:text=El%20art%C3%ADculo%20%C2%B0%20del,o%20de%20los%20animales%2C%20las>

- FAO. (2002). • *Fao.org. (2002). Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Terrestre de Plaguicidas. Fao.org. Recuperado el 14 de Febrero del 2021, de. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura .*
- FAO. (29 de Noviembre de 2006). *La ganadería amenaza el medio ambiente*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- FAO. (2010). *Buenas prácticas agrícolas -BPA- en la producción de tomate bajo condiciones protegidas .* Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura .
- FAO. (2017). *Presentación y evaluación de los datos sobre residuos de plaguicidas para la estimación de los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos .* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta .* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Garrido, I. (2016). Aplicación de Técnicas de Remediación (Fotocatálisis Heterogénea y Solarización) para Minimizar la Presencia de Residuos de Insecticidas en Agua y Suelo. *Universidad de Murcia*, 1-217.
- Garzón, J., Rodríguez, J., & Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 1-634.
- IGAC. (30 de 04 de 2016). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Obtenido de 6,5% de Norte de Santander cuenta con suelos aptos para cultivar : <https://igac.gov.co/es/noticias/65-de-norte-de-santander-cuenta-con-suelos-aptos-para-cultivar>
- Intagri. (2017). *Los factores de formulación del suelo*. Mexico. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/los-factores-de-formacion-del-suelo#:~:text=Los%20factores%20de%20formaci%C3%B3n%20del%20suelo%3A%20c%20lima%20biota%20relieve,meteorizaci%C3%B3n%20de%20la%20roca%20madre>
- IRET. (2009). *Manual de plaguicidas de centroamérica, Características generales y agronómicas .* Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Izquierdo, J., & Loyola, J. (2017). Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia de San Joaquín. *Universidad Politecnica Salesiana* , 1-67.
- Jiménez, C., Pantoja, A., & Leonel, H. (2016). Riesgo en la salud de agricultores por uso y manejo de plaguicidas, microcuenca "La Pila". *Universidad de Nariño*, 1-15.

- Lopez, L. (2016). Manual técnico del cultivo del tomate (*Solanum Lycopersicum*). *Instituto Nacional de Innovación y transferencia en tecnología agropecuaria*, 1-130.
- Martinez Valenzuela , C., & Gómez Arroyo, S. (2007). *RIESGO GENOTÓXICO POR EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS EN TRABAJADORES AGRÍCOLAS*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000400004
- MinAmbiente. (2000). *Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al mar Caribe* . 1-163: Ministerio del Medio Ambiente.
- Minambiente. (2005). *Política ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos* . Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- MinAmbiente. (2018). *Guía de apoyo docente en biodiversidad* . Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile.
- MinCiencias. (11 de 09 de 2016). *Ministerio de Ciencias, Tecnología e innovación*. Obtenido de Colombia, Segundo país más biodiverso del mundo : https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo
- Morales, O. (2003). Fundamentos de la investigación fundamental y la monografía . *Universidad de los Andes*, 1-14.
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Fito remediación con Maíz (*Zae Mays L*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 1-10.
- Nivia, E. (25 de Junio de 2004). *Los plaguicidas en Colombia*. Obtenido de Grupo semillas Colombia: <https://semillas.org.co/es/los-plaguicidas-en-colombia#:~:text=En%2015%20a%C3%B1os%2C%20entre%201980,a%2019.806%20toneladas%20en%201995>
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados . *Universidad de Alcalá*, 1-109.
- Ortiz, L., Sanchez, E., Folch, J., Olvera, A, & Danta, E. (2014). Los plaguicidas en Mexico: aspectos generales, toxicologicos y ambientales. *Universidad Autonoma del Estado de Morelos*, 1-35.
- PAN UK. (2009). Red de acción en plaguicidas del Reino Unido .
- Puerto, A., Suarez, S., & Palacio, D. (2014). *Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud*. Habana: Scielo.

- Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido. (2009). *Catálogo de listas de plaguicidas que identifican aquellos asociados con impactos particularmente dañinos para la salud o el medio ambiente*. Reino Unido.
- Rueter, G. (07 de 06 de 2016). *El efecto negativo de los pesticidas sobre los animales*. Obtenido de <https://www.dw.com/es/el-efecto-negativo-de-los-pesticidas-sobre-los-animales/g-19311935>
- Ruiz, R., Ruiz, J., Guzmán, S., & Pérez, E. (2011). Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. 1-9.
- Said, A., & Arnaiz, M. (2018). Tecnologías físico – químicas en la recuperación de suelos contaminados. *Universidad de Sevilla*, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71126/fichero/TFM-1126-SAID.pdf>.
- Sánchez, H. (2008). *Código de derecho internacional ambiental*. Bogotá Colombia.
- Sepúlveda, N. (2013). Desarrollo de protocolo para la rizofiltración de efluentes contaminados con mercurio mediante la aplicación de filtros vegetales con la especie *Vetiver*. *Universidad de Manizales*, 1-116.
- Silva, S., & Correa, F. (2009).). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semestre Económico*.
- Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. (2010). *Solanum Lycopersicum*. Buenos Aires: Argentina Unida.
- Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre. *Instituto de desarrollo agropecuario*, 1-94.
- UNODC. (2010). *Problemática ambiental y la utilización de agroquímicos en la producción de coca*. Vienna, Austria: Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito.
- Uquiche, R. (2017). Características de los contaminantes del suelo. *Universidad Nacional Federico Villarreal*, 1-8.
- Uribe, S. (12 de 8 de 2019). *Razón pública*. Obtenido de ¿Qué es más peligroso, el glifosato o los agroquímicos para el cultivo de la coca?: <https://razonpublica.com/que-es-mas-peligroso-el-glifosato-o-los-agroquimicos-para-el-cultivo-de-la-coca/>
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2004). *Producción de hortalizas en clima cálido*. Cali: Universidad Nacional de Colombia .
- Volke, T., & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Wagner, P. (1996). Contraste de los patrones subyacentes de las tendencias activas en la evolución morfológica. *Evolution* , 1-18.