

**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA
RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS.**



**DAYHAN LISBETH NAVARRO PÁEZ
CÓDIGO 1.101.756.717**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL
VELEZ
2018**

**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA
RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS.**



**DAYHAN LISBETH NAVARRO PÁEZ
CÓDIGO 1.101.756.717**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de Ingeniero
Ambiental.**

**DIRECTORA.
YOHANNA CRISTINA CASTRO NIÑO
Ingeniera Ambiental**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL
VELEZ**

2018
Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

Vélez, 25 de Octubre de 2018.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la bendición de vivir, la salud y las ganas de luchar día a día por cumplir este sueño anhelado de ser una profesional.

A mis padres, Julio Cesar y Esperanza por su ejemplo de constancia y dedicación en la formación que me han brindado, también por el apoyo y consejos para no desfallecer ante las adversidades que este camino trae.

A mis hermanas, Maira Paola y Yineth Juliana que han sido mis compañeras de camino en este trasegar de la vida, que me han dado un respaldo incondicional y la motivación para continuar y llevar a feliz término este proceso.

Dayhan Lisbeth Navarro Páez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque aunque no lo veo lo pude sentir siendo mi apoyo y la mano que me guiaba para escalar cada peldaño en el recorrer de la vida universitaria.

A cada uno de los funcionarios y docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por su contribución a nuestra formación y desarrollo profesional.

A mi Directora de proyecto, Ingeniera Yohanna Cristina Castro Niño, por brindarme su amistad, conocimiento y orientación en el desarrollo de este proyecto de grado como modalidad de monografía.

Y por último a cada uno de mis amigos y compañeros, por ofrecerme su amistad sincera y por la colaboración mutua que nos brindamos en los diferentes momentos que el trasegar de la academia lo necesito.

Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	11
1. EL SUELO.	13
1.1. ORDENES TAXONÓMICOS DE SUELOS.	13
1.2. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO.	14
1.3. IMPORTANCIA DEL SUELO.	14
1.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.	15
1.4.1. Textura.	15
1.4.2. Clasificación de las partículas del suelo.	15
1.4.3. Porosidad.	17
1.4.4 Estructura del suelo.	19
1.4.5 Color.	20
1.4.6 Consistencia.	22
1.4.7 Densidad.	23
1.5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.	24
1.5.1 pH.	24
1.5.2 Capacidad de intercambio catiónico.	26
1.5.3 Conductividad eléctrica.	27
1.5.4 Elementos químicos en el suelo.	29
2. TIPOS O FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO SUELO CON PESTICIDAS.	30
2.1 PESTICIDAS.	30
2.2 CLASIFICACIÓN.	30
2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PESTICIDAS.	31
2.4 IMPACTOS DE LOS PESTICIDAS SOBRE EL SUELO.	31
2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS PESTICIDAS.	32
2.6 TOXICIDAD DE LOS PESTICIDAS.	34
2.7 PROCESOS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LOS PESTICIDAS EN EL AMBIENTE.	34
2.8 PROPIEDADES DE LOS PESTICIDAS.	35
2.9 FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO SUELO CON PESTICIDAS.	36
2.10 PROCESOS QUE FACILITAN EL DE TRANSPORTE DE LOS PESTICIDAS EN EL SUELO.	37
2.10.1 Lixiviación.	37
2.10.2 Escorrentía.	38
2.10.3 Infiltración.	38
2.10.4 Adsorción.	39
2.10.5 Descomposición química.	39
2.10.6 Descomposición fotoquímica.	39
2.10.7 Descomposición microbiana.	39

3. IMPACTOS AMBIENTALES QUE GENERAN LOS PESTICIDAS SOBRE EL RECURSO SUELO.	40
3.1 PRINCIPALES IMPACTOS DE LOS PESTICIDAS SOBRE EL RECURSO SUELO.	41
3.2 DESARROLLO MATRIZ LEOPOLD.	43
3.2.1 Antecedentes	43
3.2.2 Procedimiento de síntesis para la elaboración y aplicación de la matriz.	43
4. PRINCIPALES PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PESTICIDAS.	45
4.1 RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS.	45
4.1.1 Hongos	46
4.1.2 Bacterias.	46
4.1.3 Plantas	46
4.1.4 Biodegradación asistida mediante bacterias para la degradación de pesticidas organoclorados aplicados en el suelo.	47
4.1.5 Fitorrecuperación.	48
4.1.6 Bioventing.	50
4.1.7 Lodos biológicos.	51
4.1.8 Compostaje.	52
5. CONCLUSIONES.	53
6. RECOMENDACIONES.	55
7. BIBLIOGRAFIA	56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo.	16
Tabla 2. Clase de estructura en la formación de agregados del suelo.	20
Tabla 3. Grado de consistencia del suelo en seco.	22
Tabla 4. Grado de consistencia del suelo en húmedo.	23
Tabla 5. Consistencia del suelo cuando está muy húmedo.	23
Tabla 6. Cationes y aniones comunes presentes en el suelo.	26
Tabla 7. Grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas.	33
Tabla 8. Clasificación del riesgo toxicológico de los plaguicidas según la Organización Mundial de la Salud.	34
Tabla 9. Impactos Negativos	44
Tabla 10. Impactos Positivos.	45

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Relación en tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.	17
Figura 2. Relación entre textura y porosidad.	18
Figura 3. Tipos de estructuras en la formación de agregados en suelos.	19
Figura 4. Cartas de color estándar de Munsell.	21
Figura 5. Colorímetro para muestras sólidas.	22
Figura 6. Valores generales de pH óptimo para un suelo	26
Figura 7. Factores que aumentan la Salinidad en las capas de suelo.	28
Figura 8. Elementos químicos comunes presentes en los suelos.	29
Figura 9. Desertización de suelos por uso de pesticidas.	32
Figura 10. Utilización de pesticidas en cultivos transgénicos.	36
Figura 11. Aspersión de Glifosato en el Putumayo, Colombia.	37
Figura 12. Esquema de los procesos que facilitan el de transporte de pesticidas en el suelo.	40
Figura 13. Persistencia de distintos grupos de plaguicidas en suelos.	40
Figura 14. Distribución de los plaguicidas en el suelo.	41
Figura 15. Esquema de biodegradación asistida.	48
Figura 16. Procesos de Fitorrecuperación por las plantas en el suelo.	49
Figura 17. Proceso de Bioventing.	50
Figura 18. Esquema del sistema de biorrecuperación mediante lodos biológicos.	51
Figura 19. Temperatura Vs fases de degradación.	52

RESUMEN

Esta propuesta de grado como modalidad de monografía, y en base a una de las líneas de investigación de la Ingeniería Ambiental, posee las razones de realización para el desarrollo de este estudio, acerca de los procesos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados con pesticidas. Por ello se planteó inicialmente la búsqueda de información bibliográfica, para la identificación de la problemática, y que esto conlleve de manera consecutiva a la proposición de posibles medidas de mitigación a este impacto ambiental, y a la recuperación de un ecosistema que debido a la relación entre los recursos naturales se puede ver afectado.

Es importante reconocer que el recurso suelo se ubica como el primer receptor, al desarrollarse la aplicación de un agroquímico en un sistema agrícola. Desencadenándose a raíz de su relación con los demás recursos, una serie de afectaciones ambientales dentro de un ecosistema. Por tal motivo dentro de los hallazgos más importantes, se identifica que el suelo posee una capacidad regenerativa en base a sus características físicas, químicas y biológicas, todo ello adecuado a ciertos parámetros ambientales, climáticos, técnicos y a un periodo de tiempo prudencial, para que este proceso se lleve a cabo, a su vez se destaca hallazgos para la proposición de diferentes procesos de recuperación de este recurso; como el compostaje, el uso de bacterias, hongos, plantas y procesos físicos y biológicos. Los cuales conllevan a la mitigación de los diferentes tensionantes ambientales que se presentan en un ecosistema, debido a la utilización de agroquímicos, todo ello influenciado por la alta conectividad que hay entre todos los factores naturales allí circundantes.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por pesticidas se constituye en uno de los mayores problemas ambientales en la actualidad alterando las condiciones naturales de los ecosistemas. Estas sustancias constituidas en su mayoría por medios naturales, químicos o sintéticos, son utilizadas para la mitigación de plagas vegetales y animales en cultivos y para la protección de la salud pública. **(García & Rodríguez, 2012)**

Por tal razón siendo el suelo el lugar donde se desarrollan diferentes procesos naturales, se constituye en el mayor receptor de estos pesticidas o contaminantes, que en su mayoría poseen compuestos de origen químico, los cuales generan impactos negativos sobre este como alteraciones en sus características fisicoquímicas y muerte de especies necesarias en sus procesos biológicos **(Toro, 2010)**. Debido a la relación tan intrínseca que hay de este recurso con los demás dentro de un ecosistema, genera que la adsorción y evolución de estos contaminantes en valores de magnitud e importancia se incrementen, a medida que se desarrollan los diferentes ciclos de relación biológica dentro del mismo, y sea mayor el impacto. **(Sánchez & Sánchez, 1984)**

De continuar igual esta problemática de contaminación de suelos con pesticidas, generará un pronóstico de diferentes afectaciones ambientales sobre los recursos naturales, como la eliminación de la cobertura vegetal, la muerte de especies faunísticas, la contaminación del aire, la alteración de la calidad del agua, y por otra parte la acción nociva sobre el hombre debido a la manipulación o ingestión de los mismos. **(Suarez, 2014)**

Por tal motivo se justifica la importancia de revisar el material bibliográfico, en base a este estudio de los procesos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados con pesticidas en zonas de producción agropecuarias, lo cual implica la identificación de una metodología consecutiva, donde se busca de manera primordial la mitigación de los impactos que genera dicha actividad sobre este recurso, y a su vez la protección y continuidad de los procesos naturales de un ecosistema en particular.

El alcance de esta monografía contemplo los componentes recursos naturales y sostenibilidad, promoviendo la búsqueda de información en base a la descripción, identificación y definición de los principales impactos ambientales, y los procesos de biorremediación para los suelos que han tenido contacto con pesticidas, y por tal motivo necesitan ser recuperados. Todo ello dignificando la calidad de vida de las comunidades aledañas a estas zonas y mejorando las características fisicoquímicas y biológicas del entorno natural.

A su vez este trabajo de recopilación y análisis de información alimenta una línea de estudio, dentro de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Abierta y a Distancia sede Bucaramanga, con el objetivo de que los futuros profesionales, identifiquen y analicen las problemáticas ambientales que rodean ciertas áreas de influencia o estudio, para la posterior formulación de medidas de restauración, que promuevan la continuidad de los procesos intrínsecos de relación entre los recursos naturales, los cuales permiten el desarrollo de la vida y el normal funcionamiento de un ecosistema.

1. EL SUELO.

El suelo es la capa sólida superficial que recubre la corteza terrestre, está formada por la acción de procesos fisicoquímicos de meteorización sobre la roca madre. (Ortega, 2013)

Según Ortiz et. al. (2014), los órdenes taxonómicos de los suelos para Colombia son los siguientes:

1.1. Ordenes taxonómicos de suelos.

- **Gelisoles:** se caracteriza por estar congelados durante largos periodos de tiempo.
- **Histosoles:** predominan los componentes orgánicos, aunque posee algunos materiales minerales.
- **Espodosoles:** se presentan una capa considerable de aglomeración de materia orgánica, aluminio y a veces hierro
- **Andisoles:** su característica es que son ácidos, poseen una alta fijación de fosfatos y valores bajos de densidad.
- **Oxisoles:** Son los más evolucionados, característicos de ambientes tropicales, y están compuesto principalmente por óxidos de hierro y aluminio.
- **Vertisoles:** son suelos ácidos presenta una textura arcillosa predominante, con característica erosionable al soportar periodos largos de sequía.
- **Aridisoles:** son originarios de climas altamente secos.
- **Ultisoles:** se caracteriza por una gran aglomeración de arcilla, debido al fuerte desarrollo que presentan los horizontes del mismo. Es de pH ácido y con un alto porcentaje de infertilidad.
- **Mollisoles:** sus raíces poseen las más aptas propiedades fisicoquímicas, para un mejor desarrollo de procesos agrologicos.
- **Alfisoles:** se presenta gran cantidad de componentes arcillosos de alta calidad, los cuales se acumulan en los horizontes superiores del mismo.

- **Inceptisoles:** no son muy evolucionados, por lo que presenta un desarrollo primario donde se presentan varias fases estructurales en sus horizontes.
- **Entisoles:** posee poca evolución, si se compara con las otras órdenes debido a la poca actividad biológica que ejerce la materia orgánica en su composición fisicoquímica.

1.2. Factores de formación del suelo.

Según Jaramillo (2002), los factores de formación del suelo son los siguientes:

Dentro de los factores de formación del suelo se encuentra en primer lugar el clima en base a la precipitación, temperatura, velocidad de vientos, radiación solar y humedad, como segundo aspecto el material parental el cual se enfoca en la composición de la roca madre de formación de este. A su vez los organismos procariotas y eucariotas que permiten el desarrollo de procesos metabólicos. También el relieve como factor dependiente de las condiciones climáticas, y condicionado por las características topográficas del terreno, en función de los diferentes tipos de suelo que se pueden formar.

Y por último el tiempo muy necesario para el establecimiento de las reacciones físicas, químicas y biológicas normales en un suelo, estas se encuentran condicionadas a la actividad propia de cada organismo, las condiciones climáticas y el mismo tiempo, por tal razón desde tiempos antiguos se han establecido tiempos geológicos donde se han establecido la formación de los diferentes suelos que se conocen hoy en día.

1.3. Importancia del suelo.

Como lo menciona, (Castellanos, 2014), es un recurso natural importante, puesto que se ejecutan diversas actividades naturales y antrópicas como las siguientes:

- **Producción de biomasa.** El suelo se desarrollan actividades de siembra de cultivos de diferentes especies, esto condicionado a la zona de vida donde este se encuentre el área de terreno.
- **Actividades pecuarias.** Son los procesos de levante de animales para su comercialización, este el medio que provee de comida y sostén a los mismos.
- **Desarrollo de actividades y fuente de materia primas.** permite diferentes actividades comerciales, a su vez siendo la fuente que proporciona la materia prima para la elaboración de diferentes bienes y servicios en relación a las necesidades propias del ser

humano.

- **Continuidad de los ciclos biológicos.** El suelo se constituye en el medio principal de comunicación e interacción entre los diferentes recursos naturales, permitiendo que los ciclos fisicoquímicos y biológicos que tienen lugar en un ecosistema se desarrollen de manera consecutiva.
- **Sumidero de carbono.** Es la capacidad de retener carbono producto de las actividades antrópicas, es una actividad importante que desarrollan los suelos, mediante la absorción de este elemento que realizan algunas plantas y posteriormente es acumulado y transformado en el suelo por diferentes procesos.
- **Purificación y almacenamiento de agua.** El suelo actúa como filtro de agua una vez se presentan precipitaciones, permitiendo la purificación de este líquido y el aumento de las reservas de agua subterránea en la capa freática del suelo.
- **Depósito de material arqueológico.** El suelo esconde en su interior diferentes materiales fósiles, que proporcionan información acerca de la historia de las diferentes culturas y especímenes, que habitaron nuestro planeta hace miles de millones de años.

1.4. Características físicas del suelo.

1.4.1. Textura.

Es la relación de ciertos elementos del suelo que están conformados por diferentes tamaños de partículas representados por las arenas gruesas, medias y finas también por limos y arcillas, despreciando las piedras y gravas. (Rucks et al., 2004)

1.4.2. Clasificación de las partículas del suelo.

La composición de la fracción seca del suelo está determinada por la técnica de granulometría, donde se determina la proporción en peso de materia mineral presente en el mismo. (Ibid., pág.2)

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo.

	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena Media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Fuente. Modificado de Rucks et al, 2004. Citado de: Department of Agriculture. Soil survey, 2007.

- **Características de las principales fracciones granulométricas presentes en el suelo.**

Según Jiménez & Alpañes (2009), las fracciones granulométricas presentes en el suelo son las siguientes:

***Arenas.** Son producto de la descomposición de porciones de roca o minerales de basto tamaño, siendo como principal componente el cuarzo, también se presentan algunas arenas compuestas por hierro, feldespato y hasta yeso. Se caracterizan porque poseen poca fuerza de unión, son homogéneas, permiten la infiltración de líquidos y de aire más fácilmente, suelos no muy aptos para la agricultura. Poseen tamaños de 2.0 hasta 0.05 mm.*

***Limos.** Son partículas proporcionalmente de forma redonda, se originan por la degradación de la roca madre y el grado de meteorización. Son muy permeables. Su tamaño se encuentra entre los 0.05 hasta los 0.002 mm.*

***Arcillas.** comprenden gran cantidad de minerales arcillosos, se encuentran algunos silicatos como la caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofán y no silicatos como el cuarzo, sílice, óxidos e hidróxidos de hierro, óxidos e hidróxidos de aluminio y carbonato de calcio., se caracterizan por ser de forma laminar, poseer poca permeabilidad, no ser colapsables y poco expansivos. Su tamaño de partícula se encuentra entre los < a 0.002 mm. “*

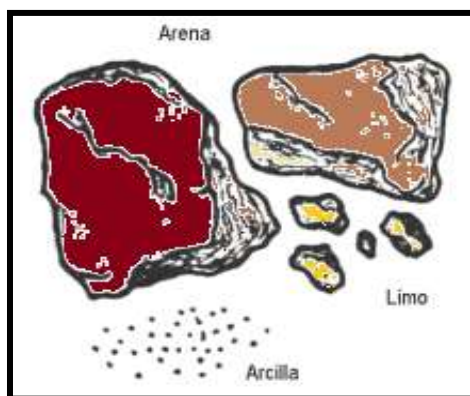


Figura 1. Relación en tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.
Fuente. Hang, 2014.

1.4.3. Porosidad.

Dentro del contexto de **(FAO, 2018)**, Es una característica física del suelo, y es lo que nosotros podemos observar como espacios, donde transitan y se almacenan nutrientes agua, aire y ciertos gases. En el espacio poroso se encuentran los macro (permiten la infiltración rápida del agua, brindándole consigo a un determinado suelo aire, mayor drenaje y el ambiente adecuado para la formación de raíces) y micro poros (se constituyen en acumuladores de agua la cual es aprovechada por la flora allí presente).

De acuerdo a **(Rucks et al., 2004)**, se puede clasificar de la siguiente manera:

❖ Clasificación de los poros.

➤ Según como se comportan frente al agua.

- Capilares y no capilares (termino entre ambos 50 micrómetros).

➤ Según el origen.

- Texturales 50 micrómetros.
- Estructurales mayores a 50 micrómetros.

➤ Según funciones.

- Transmisión con valores mayores a 50 micrómetros.
- Aprovechamiento con valores ente 50-0.5 micrómetros.
- Residuales. con valores entre 0.5-0.005 micrómetros.

❖ Formas de expresión y determinación de la porosidad.

Teniendo en cuenta que hemos estudiado la porosidad, siendo el porcentaje en volumen de la cantidad de poros presentes en el suelo. Para la determinación de la porosidad en una muestra de suelo, es importante que tal y como se tomó en campo cumpliendo con todos los estándares de cadena de custodia, sea presentada al laboratorio, con el objetivo de que los espacios presentes entre las partículas de suelo de dicha muestra no pierdan su ubicación. Como es indicado por (**Ibid., pág.10**), es necesario realizar el siguiente protocolo para su determinación:

- Conocer el volumen total de las muestras. Descrito en
- Colmatar las muestras de agua.
- Identificar el peso de la muestra colmatada con agua.
- Conocer la cantidad de espacio que ocupaba el agua en el espacio poroso de la muestra.
- Una vez conocido el volumen de porosidad total, en base al porcentaje de volumen ocupado por cada muestra tal y como se tomó en campo, se obtiene los valores ocupados por la porosidad.

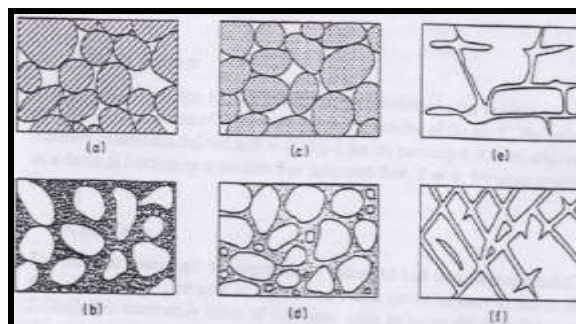


Figura 2. Relación entre textura y porosidad.

(a) uniforme y mucha porosidad; (b) no uniforme y poca porosidad; (c) con piedras permeables y mucha porosidad; (d) similar con porosidad baja por mineral en espacios; (e) roca con porosidad por solución; (f) roca con porosidad por grietas.

Fuente. Marín, 2012.

1.4.4 Estructura del suelo.

Es la unión de partículas dispersas que se observa en una muestra de suelo, debido a la acción de diferentes factores físicos, químicos y biológicos, pueden conformar unidades de gran tamaño las cuales adquieren el nombre de agregados. Este fenómeno de formación se identifica como la estabilidad estructural del suelo, ósea la fuerza que soportan dichos aglomerados a resistir la destrucción de sus enlaces. (FAO, 2018)

Según los contextos de (Moreno et al., 2010) y (Ibid., pág.4 y 7) se atribuyen varios atributos importantes:

❖ Tres atributos importantes que definen la estructura de un agregado:

➤ Tipo de estructura.

- **Laminar.** Los agregados se ubican en forma horizontal o aplanada, el crecimiento y recorrido de las raíces por este sistema es complejo.
- **Subpoliédrica.** Los agregados no tienen dimensión, pero se caracterizan por tener forma de bloque, incrustándose unos en otros de manera uniforme.
- **Prismática.** Los agregados se ubican en forma vertical, conformando una estructura alargada y similar a un prisma. (Ver figura 4)
- **Columnar.** Este tipo de estructura ubica sus partículas de manera vertical, en forma cilíndrica y con un final redondeado, muy similar a la prismática. (Ver figura 4)
- **Granular.** Esta estructura presenta agregados de partículas con forma esférica entre 1 y 10 mm de diámetro. Se presenta en horizontes A, con poca porosidad y donde escasea la materia orgánica.

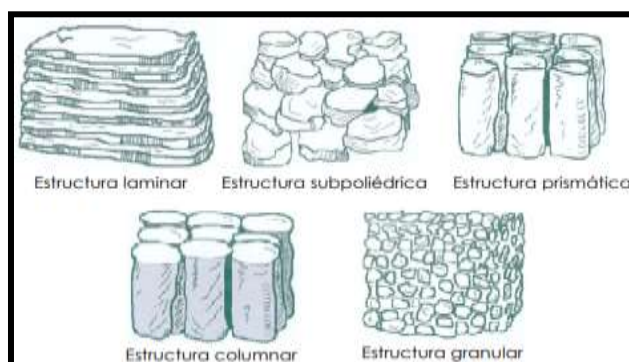


Figura 3. Tipos de estructuras en la formación de agregados en suelos.

Fuente. Modificado de Moreno et al, 2010. Citado de: Departament of Agriculture. Soil survey, 2007.

➤ **Grado de estructura.**

- **Sin estructura.** Debido a la ausencia de aglomeración de sus partículas, no se evidencia buena formación de agregados.
- **Débil.** Hay poca formación de agregados, encontrarlos a simple vista es complejo, a no ser que el suelo este saturado de agua.
- **Moderado.** La unión de partículas para la formación de estos aglomerados hace que se encuentren bien formados y puedan ser diferenciados a simple vista.
- **Fuerte:** se caracteriza por la formación de agregados duraderos, en suelos no intervenidos, pero a su vez se separan cuando el suelo es alterado o se seca.

➤ **Clase de estructura.**

Esta define el tamaño de los agregados individuales y se clasifica en los siguientes: Muy fino o muy delgado, fino o delgado, medio, grueso o espeso, muy grueso o muy espeso. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Clase de estructura en la formación de agregados del suelo.

CLASE	Laminar	Prismático	Columnar	Bloques (angulares)	Bloques (subangulares)	Granular
Muy fino o muy delgado	Laminar muy delgado; T<1 mm	Prismático muy fino; T<10 mm	Columnar muy fino; T<10 mm	Bloques angulares muy finos; T<5mm	Bloques subangulares muy finos; T<5 mm	Granular muy fino; T< 1 mm
Fino o delgado	Laminar delgado; 1 a 2 mm	Prismático fino; 10 a 20 mm	Columnar fino; 10 a 20 mm	Bloques angulares finos; 5 a 10 mm	Bloques subangulares finos; 5 a 10 mm	Granular fino; 1 a 2 mm
Medio	Laminar medio; 2 a 5 mm	Prismático medio; 20 a 50 mm	Columnar medio; 20 a 50 mm	Bloques angulares medios; 10 a 20 mm	Bloques subangulares medios; 10 a 20 mm	Granular medio; 2 a 5 mm
Grueso o espeso	Laminar espeso; 5 a 10 mm	Prismático grueso; 50 a 100 mm	Columnar grueso; 50 a 100 mm	Bloques angulares gruesos; 20 a 50 mm	Subangular grueso; 20 a 50 mm	Granular grueso; 5 a 10 mm
Muy grueso o muy espeso	Laminar muy espeso; T> 10 mm	Prismático muy grueso; T> 100 mm	Columnar muy grueso; T>100 mm	Bloques angulares muy gruesos; T>50 mm	Bloques subangulares muy gruesos;T>50 mm	Granular muy grueso; T> 10 mm

Fuente. Modificado de Moreno et al, 2010.

1.4.5 Color.

Es una característica física vinculada en primer lugar, al desarrollo de diversos procesos de maduración intrínsecos entre sí como la temperatura, la degradación de materia orgánica, la cantidad de agua y aire q discurren por los espacios del suelo, el desarrollo de procesos biofísicos por parte de micro y macro organismos. En segundo lugar, el color de

un suelo se debe porque este guarda una relación de acuerdo a su capacidad de reflexión al percibir los rayos de luz. Una tercera razón es la cantidad de hierro y manganeso que posea el mismo, permitiendo colores más o menos intensos en una muestra de suelo. (Flores & Alcalá, 2010)

➤ **Determinación del color en una muestra de suelo.**

Para determinar el color en una muestra de suelo se pueden utilizar dos métodos.

• **Cartas de color estándar de Munsell, (Ibid., pág.33)**

Para la obtención del color exacto de una muestra de suelo esta debe ser evaporada al ambiente y dispuesta sobre una placa de porcelana. Posteriormente se coteja el color de dicha muestra con el de las tablas Munsell hasta obtener la gama de colores en función de las tres propiedades base de este estudio como lo son el matiz, el brillo y la intensidad cromática. Como siguiente paso, se satura de agua la muestra de suelo en la placa de porcelana y se coteja nuevamente con las tablas Munsell. El realizar este proceso con la muestra seca y húmeda nos asegura la obtención más acertada del color de suelo real.



Figura 4. Cartas de color estándar de Munsell.

Fuente. Flores & Alcalá, 2010.

• **Colorímetro para muestras sólidas, (Flores & Alcalá, 2010)**

Esta metodología para la determinación del color de un suelo se constituye hoy en día en la más precisa y acertada, puesto que el Hardware con el cual desarrolla su procedimiento es uno de los más avanzados, posee una cabeza de medición de 50 mm, e ilumina la muestra de suelo con una lámpara de arco de xenón pulsado para una mayor precisión, guarda toda su información en su memoria la cual puede ser procesada a un pc. Es importante tener en cuenta que la muestra de suelo debe estar bien macerada y secada al horno a una temperatura de 105° - 110° C, durante 24 horas.



Figura 5. Colorímetro para muestras sólidas.
Fuente. Flores & Alcalá, 2010.

1.4.6 Consistencia.

Como es mencionado por (Flores & Alcalá, 2010), es una propiedad física de los suelos que determina la oposición de los enlaces que forman sus partículas a ser rotos debido a la impresión de fuerzas contrarias en grados de cohesión y adhesión. Existen ciertos parámetros físicos como la textura, contenido de saturación de agua, contenido de coloides y materia orgánica, que permiten determinan en cierto grado la consistencia de un suelo.

Tabla 3. Grado de consistencia del suelo en seco.

Consistencia	Descripción
Suelto	No coherente y presente como granos aislados.
Blando	Débilmente coherente y frágil. Se desmorona a polvo o a partículas individuales bajo muy ligera presión.
Ligeramente duro	Débilmente resistente a la presión. Se rompe fácilmente entre el pulgar y el índice.
Duro	Moderadamente resistente a la presión. Puede romperse con las manos sin dificultad, pero difícilmente se rompe entre el pulgar y el índice.
Muy duro	Muy resistente a la presión. Con mucha dificultad puede romperse con las manos. No se rompe entre el pulgar y el índice.

Fuente. Flores & Alcalá, 2010.

Tabla 4. Grado de consistencia del suelo en húmedo.

Consistencia	Descripción
Suelto	No coherente y presente como granos aislados.
Muy friable	El suelo se desmorona bajo muy ligera presión, pero no es coherente cuando se aprieta.
Friable	Se desmenuza bajo una presión de ligera a moderada entre el pulgar y el índice, y es coherente cuando se aprieta.
Firme	Se desmenuza bajo presión moderada entre el pulgar y el índice, pero su resistencia se nota fácilmente.
Muy firme	Se desmenuza bajo fuerte presión, apenas desmoronable entre el pulgar y el índice.
Extremadamente firme	Se desmenuza únicamente bajo fuerte presión, no se puede desmoronar entre el pulgar y el índice, se rompe en pedazos.

Fuente. Flores & Alcalá, 2010.

Tabla 5. Consistencia del suelo cuando está muy húmedo.

Consistencia	Descripción
No adhesivo	Después de disminuir la presión, prácticamente ningún material se adhiere al índice o pulgar.
Ligeramente adhesivo	Después de presionar el suelo, éste se adhiere al pulgar y al índice, pero alguno de ellos queda casi limpio.
Moderadamente adhesivo	El suelo no se estira cuando se separan los dedos. El suelo se retira con facilidad de los dedos.
Adhesivo	El suelo se adhiere a ambos dedos y tiende a estirarse más que a separarse de uno de los dedos.
Muy adhesivo	El suelo se adhiere fuertemente a ambos dedos y, definitivamente, se estira al separar los dedos.

Fuente. Flores & Alcalá, 2010.

1.4.7 Densidad.

Según (Hang, 2014), es una propiedad física que se puede medir, haciendo referencia al valor total de su masa contenida en el determinado volumen que ocupa. Es importante tener en cuenta que conociendo el valor de la densidad podemos obtener una apreciación cualitativa y cuantitativa de la estructura micro y macro porosa del suelo

Para (Rucks et al., 2004), existentes diferentes tipos de densidades:

➤ Tipos de densidad.

Un medio de ayuda para la determinación de la porosidad de una muestra de suelos, es mediante la utilización de la densidad real y aparente:

- **Densidad aparente.** Vínculo entre el peso seco de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo.

$$D.a = \frac{\text{Peso seco de los sólidos de la muestra (a)}}{\text{Volumen de sólidos muestra (b) + Volumen poroso (c) muestra}}$$

Las muestras de suelo que no han sido alteradas, ósea que se analizarán en laboratorio tal y como se tomaron en campo, son las óptimas para realizarse en ellas la determinación de la densidad aparente.

- **Densidad real.** Es la media de las densidades de las partículas sólidas del suelo.

$$D.r. = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}}$$

Realizando la división de la D.a. en la D.r. y multiplicando ese resultado por mil se obtiene el volumen de sólidos por ciento; restándole a este resultado 100 se encuentra el porcentaje en volumen que están ocupando los poros en la muestra de suelo. (**Ibid., pág.11**)

El método más común para la determinación de la densidad total de un suelo es mediante la utilización del picnómetro, el cual fundamenta su procedimiento en la obtención del volumen de una muestra de suelo en forma indirecta, determinando el volumen de agua presente en el recipiente (picnómetro) con y sin muestra de suelo. Ósea determinándose así el volumen de agua que traslada los sólidos al ser sumergidos. (**Hang. Op. cit., p. 15**)

1.5. Características químicas del suelo.

1.5.1 pH.

Como lo indica (**Amaya et al., 2014**), Es una de las características químicas del suelo, mediante la cual se determina el grado de acidez o alcalinidad del mismo, en base a la cantidad de protones que se encuentran en su composición. Los valores de pH fluctúan de 0 a 14, donde 7 es un valor neutro, por debajo a este último son ácidos y por encima alcalinos. Es importante tener en cuenta los valores de pH en un suelo por las siguientes apreciaciones:

- Determinan el buen desarrollo de las reacciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

- Los diferentes intervalos de pH se encuentran muy relacionados a la alta o baja absorción de nutrientes.
- Valores de pH ente 6 y 7 son aptos para que la vegetación absorba diferentes elementos y compuestos benéficos para su desarrollo y metabolismo.
- Permite identificar el tipo de cultivo a establecer en un determinado suelo.
- Porque a partir de su valor permite proponer el tratamiento óptimo de recuperación para un suelo.

Según (**Jaramillo, 2002**), existen diferentes factores que intervienen en el pH del suelo, como se menciona a continuación:

➤ **Factores que inciden en el valor del pH del suelo.**

- **Clases de minerales.** Se encuentran en el mismo por la acción de diferentes factores meteorológicos, ambientales, físicos y químicos.
- **Meteorización.** Descomposición de la roca madre, para la formación de las capas del suelo.
- **Humificación.** Degradación de la fracción de materia orgánica presente en el suelo.
- **Propiedades de los agregados.** Hace referencia a las reacciones de transferencia de cargas o intercambio iónico, necesarias para la formación de agregados sólidos en un determinado suelo.

❖ **Valor óptimo de pH en un suelo.**

Sin embargo, como es conocido por (**FAO, 2018**), el pH es una de las propiedades químicas del suelo de mayor importancia, debido a la relación de este con el ciclo de reacciones plantas-microorganismos-nutrientes, por tal motivo es necesario un valor de pH óptimo para que las mismas se lleven a cabo y pueda presentarse el desarrollo normal de todas las actividades internas del suelo. Todo ello se puede ver evidenciado en las condiciones de productividad de un cultivo, puesto que este factor se encuentra muy ligado al valor de pH que le brinde este sustrato.

En la siguiente figura observamos los valores óptimos de pH en un suelo, para el desarrollo de actividades productivas en campo; es importante aclarar que cada tipo de cultivo requiere un pH específico, pero de manera general se ha concluido la importancia que el suelo no sea demasiado ácido ni tampoco tan básico; por ello el rango para este

parámetro debe estar entre 6.5 a 8.5, puesto que valores de 5.5 son muy ácidos y superiores a 9.5 son muy básicos lo cual afecta de manera negativa las reacciones de maduración, desarrollo y productivas de cualquier tipo de suelo.

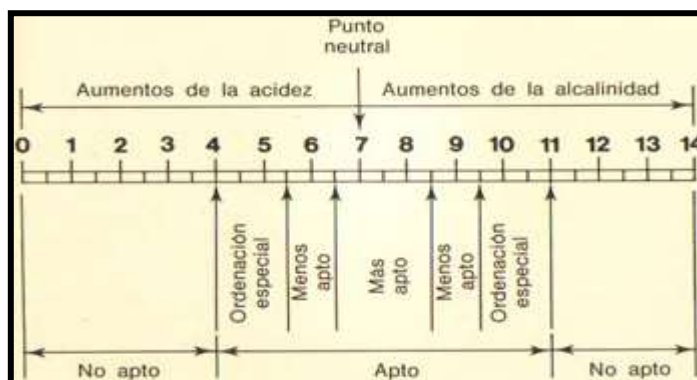


Figura 6. Valores generales de pH óptimo para un suelo
Fuente. FAO, 2018

❖ Determinación del pH en un suelo.

Esta determinación se puede realizar mediante la ayuda de un potenciómetro con electrodo en el laboratorio mediante la utilización de ciertas sustancias químicas. Y por otro lado se encuentra el método colorimétrico el cual no es tan preciso como el anterior, por emplearse de manera rápida en campo, pero se debe tener muy en cuenta la comparación del color obtenido con el de referencia. (Jaramillo. Op. cit., p. 346-348)

1.5.2 Capacidad de intercambio catiónico.

Según (Abrego, 2012), La cantidad de cationes que un suelo puede conservar, haciendo referencia esto a su carga negativa total, es lo que se conoce como capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC). Es importante aclarar que los elementos que poseen una carga eléctrica reciben el nombre de iones. A su vez aquellos cargados positivamente son Cationes y los cargados negativamente son Aniones.

Tabla 6. Cationes y aniones comunes presentes en el suelo.

Cationes	Aniones
Calcio (Ca ⁺⁺)	Cloruro (Cl ⁻)
Magnesio (Mg ⁺⁺)	Nitrato (NO ₃ ⁻)
Potasio (K ⁺)	Sulfato (SO ₄ ⁼)
Amonio (NH ₄ ⁺)	Fosfato (PO ₄ ³⁻)
Hidrógeno (H ⁺)	Carbonatos (CO ₃ ⁼)
Aluminio (Al ⁺³)	Sulfuros (S ⁼)
Sódio (Na ⁺)	

Fuente. Modificado de Abrego, 2012.

Existen varios factores que intervienen, a continuación se mencionan los suscritos en los contextos de (**Ibid., pág.9**):

❖ **Factores que interfieren en la capacidad de intercambio catiónico en el suelo.**

- pH. Los diferentes rangos de este factor, ocasionan distintas capacidades de intercambio iónico.
- Naturaleza de las partículas. La forma como estén compuestas las partículas es un factor que limita o no el intercambio de cationes.
- Tamaño de las partículas. La capacidad de cambio es inversamente proporcional al tamaño de las partículas.
- Contenido de materia orgánica.
- La cantidad porcentual de arcilla.

❖ **Principios importantes relacionados a la capacidad de intercambio catiónico en un suelo.**

- La capacidad de intercambio iónico es inversamente proporcional a la cantidad de arcilla y materia orgánica.
- La fertilidad de los suelos está muy relacionada a la capacidad de intercambio catiónico.
- Suelos arenosos se caracterizan por un bajo intercambio catiónico.
- El intercambio catiónico determina la cantidad de nutrientes para las plantas.
- Esta propiedad permite la retención de elementos contaminantes y que los mismos puedan ser eliminados del suelo. (**Abrego, 2012**)

1.5.3 Conductividad eléctrica.

Según (**Andrades et al., 2015**), esta propiedad química de los suelos permite conocer la capacidad de estos para transferir corriente eléctrica. La cual está determinada por el grado de voltaje aplicado, la clase, el valor de carga y el movimiento de los iones existentes de acuerdo a la densidad del medio en el que se encuentra. Se utiliza regularmente para conocer la cantidad total de compuestos ionizados y es proporcional a la cantidad de sales disueltas presentes en una muestra de suelo. Es importante nombrar que altos valores de temperatura permiten que la viscosidad del medio disminuya y por tanto la conductividad eléctrica (C.e) aumente. La C.e se da en valores de dS/m (anteriormente denominada mmho/cm).

Hay varios factores que intervienen en el aumento de la cantidad de sales, en este caso (**García, 2015**), hace la referencia en lo siguiente:

❖ Factores que aumentan la cantidad de sales en el suelo.

- Composición y manejo de aguas residuales y de riego.
- Bombeo excesivo en fuentes adyacentes al mar.
- Baja precipitación y elevada evaporación.
- Estiércol animal y residuos orgánicos.
- Alta capilaridad en la estructura y textura del suelo.
- Fertilizantes y nutrientes.
- Tipo de suelo, (suelos arcillosos se salinizan más rápido). (García, 2015)

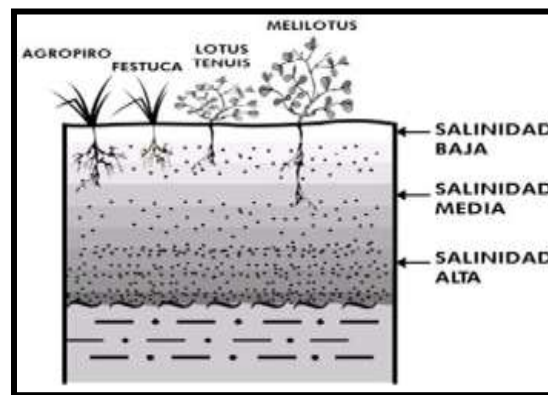


Figura 7. Factores que aumentan la Salinidad en las capas de suelo.

Fuente. Luaces, 2008.

❖ Procedimiento para la medición de conductividad eléctrica.

La medición de la conductividad eléctrica se puede realizar en campo mediante la utilización de un aparato conocido con conductivímetro, el cual posee una sonda de acero inoxidable con una punta cónica que debe ser introducida en el suelo, a una distancia cercana a la mitad de la misma dejándose allí en un tiempo prudencial hasta que el equipo se estabilice y arroje el valor de salinidad del suelo.

La otra forma para medir la conductividad eléctrica de un suelo. Es llevando la muestra al laboratorio, y desarrollando el siguiente procedimiento: Introducir 10 gramos de suelo seco en un vaso de precipitado de 100 ml. Añadir 50 ml de agua destilada. Agitar esta mezcla durante 30 minutos para homogenizarla. Dejar reposar y filtrar la muestra. Agregar hexametáfosfato sódico para evitar la evaporación del carbonato de calcio. Y por último introducir el electrodo en el vaso de precipitado y realizar la medición. (Andrades. Op. cit., p. 44)

1.5.4 Elementos químicos en el suelo.

Como lo encontramos en (Amaya et al., 2014), son los constituyentes químicos que se encuentran en un determinado tipo de suelo, generalmente difieren en presencia y cantidad uno de otro, debido a las características de la roca madre que origina su formación. Estos elementos químicos también se encuentran distribuidos en las capas de horizontes del suelo, por la acción de diversas propiedades físicas, químicas, biológicas y naturales, las cuales permiten la generación de diversas reacciones todas ellas con miras al desarrollo o maduración de este recurso con el objetivo de interactuar con todo un ecosistema y brindar una sostenibilidad ambiental.

En el contexto de (Rubio, 2012), existen diferentes formas de encontrarse estos elementos en el suelo:

❖ Formas de encontrar los elementos químicos en el suelo.

- **Fase sólida.** En esta fase se encuentran aquellas que permiten la formación de la estructura de los minerales y agregados de la materia orgánica en el suelo, dándole rigidez y consistencia al mismo.
- **Fase líquida.** Se encuentran en las partículas de agua presentes en el suelo, aportada por diferentes mecanismos de ingreso como escorrentía e infiltración, los elementos químicos presentes en las moléculas de agua se encuentran distribuidos en iones y en ocasiones formando soluciones en el suelo.

❖ Principales elementos químicos presentes en el suelo.

Estudios realizados han determinado los principales elementos químicos que están presentes en la gran mayoría de suelos, todos ellos necesarios para el desarrollo y ejecución de diversas actividades metabólicas internas, los cuales son: Azufre, Boro, Calcio, Carbono, Cloro, Cobre, Hierro, Fosforo, Hidrogeno, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Nitrogeno, Oxigeno, Potasio Y Zinc. (Ibid., pág.5)

En cantidades relativamente grandes	En cantidades relativamente pequeñas	En cantidades relativamente pequeñas
Extraídos del aire, en forma de CO ₂ o del agua del suelo	Extraídos de los sólidos del suelo	Extraídos de los sólidos del suelo
1. Carbono 2. Hidrógeno 3. Oxígeno	4. Nitrógeno 5. Fósforo 6. Potasio 7. Calcio 8. Magnesio 9. Azufre	10. Hierro 11. Manganeso 12. Boro 13. Molibdeno 14. Cobre 15. Zinc 16. Cloro
		17. Sodio 18. Silicio 19. Cobalto 20. Vanadio

Figura 8. Elementos químicos comunes presentes en los suelos.

Fuente. Modificado de Navarro & Navarro, 2003.

2. TIPOS O FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO SUELO CON PESTICIDAS.

Con base en los resultados obtenidos de **(Bedmar, 2013)**, podemos afirmar que los pesticidas son una aglomeración de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas o microbiológicas en estado líquido o sólido, que se utilizan con fines agropecuarios, industriales y fitosanitarios principalmente, los cuales pueden ocasionar un daño eminente sobre un bien o recurso natural, y también promover la generación de alguna enfermedad. Estas sustancias suelen ser utilizadas en las siguientes situaciones:

- Ataca o previene la propagación de vectores perjudiciales en cultivos.
- Protege productos maderables de la degradación por acción del ambiente o de plagas.
- Fumigaciones en el control de plagas.
- Fertilizantes en los procesos de producción agrícola.
- Controlan y protegen el ciclo de producción vegetal.
- Control de la propagación de vectores fitosanitarios en las ciudades.
- Erradicación de especies faunísticas o florísticas indeseables.

2.1 Pesticidas.

Son sustancias de origen natural o químico, pertenecientes a un grupo diverso al que continuamente se le incorporan nuevos compuestos, utilizadas ampliamente para el control o erradicación de plagas de tipo animal o vegetal, que ocasionan un daño eminente sobre un bien o recurso, o la transmisión de alguna enfermedad. **(Ramírez & Lacasaña, 2001)**

2.2 Clasificación.

La clasificación más general para los pesticidas, según lo obtenido de **(Guardino, 2008)**

- Insecticidas.
- Fungicidas.
- Desinfectantes, nematocidas.
- Herbicidas.
- Fitorreguladores.
- Protectores de maderas y fibras.
- Molusquicidas, roenticidas.
- Acaricidas.
- Plaguicidas.

2.3 Ventajas y desventajas del uso de pesticidas.

- **Ventajas**, como es mencionado en (Sánchez & Sánchez, 2012) Los pesticidas son utilizados de manera principal en el control y erradicación de plagas, tanto en el sector agrícola como en el sanitario por las empresas que ofrecen un bien o servicio a la comunidad. Esta acción nociva y efectiva propia de esta clase de sustancias que pueden ser químicas o naturales, le confieren a los pesticidas un reconocimiento importante, puesto que erradica la presencia de maleza en los cultivos, disminuye el costo económico en contratación de mano de obra, mejora la calidad y presencia de un cultivo, erradica los vectores presentes en una empresa, previene enfermedades de carácter sanitario en los seres humanos, detiene la propagación de parásitos y garrapatas en el ganado y protege la madera con fines comerciales de sus depredadores.
- **Desventajas**. Como es indicado en (Ibid., pág.30), La presentación más utilizada de los pesticidas en la actualidad es de origen químico, debido a la gran efectividad que estos han demostrado en el control o erradicación de una plaga. El hecho de aplicar estas sustancias tiene repercusiones más allá de ser un control biológico, pues ingresan a todo un complejo ecológico, alterando las características y procesos naturales que se llevan a cabo en los mismos. La rapidez con que están sustancias contaminan y ocasionan un sin número de impactos sobre el medio ambiente, se debe a que se pueden movilizar rápidamente por acción del viento, una cadena trófica o biológica, una corriente hídrica, infiltración y la escorrentía. Por tal motivo es importante reconocer que los plaguicidas deben ser aplicados por personas idóneas, donde se promuevan procesos de seguimiento y control que busquen la protección y cuidado de los diferentes ecosistemas que proporcionan los elementos vitales para la continuidad de la vida en el planeta.

2.4 Impactos de los pesticidas sobre el suelo.

Los impactos más relevantes que generan los pesticidas sobre el recurso suelo, están mencionados en (Arroyave & Restrepo, 2009) y (Ibid., pág. 39), donde están relacionados a la cantidad de sustancia que se aplica al suelo, a la ausencia de una prueba de textura para identificar la facilidad de liberación de este de la corteza terrestre, el no conocimiento de la concentración y los impactos que esto produce sobre los recursos naturales. Algunos de los impactos desencadenados por el uso inadecuado de los plaguicidas sobre el suelo y el medio ambiente son los siguientes:

- Disminución en la fertilidad del suelo.
- Alteración en las características fisicoquímicas del suelo.
- Disminución de elementos mayores del suelo.
- desaparición de los organismos presentes en las capas del suelo.
- Alteración en las condiciones climáticas de la zona.

- Cambio del relieve y topografía de la zona.
- Contaminación de aguas subterráneas.
- Muerte de especies de fauna y flora por la absorción de las raíces de las plantas e ingreso a las cadenas alimenticias.
- Eliminación de la cobertura vegetal.



Figura 9. Desertización de suelos por uso de pesticidas.
Fuente. La Patria Periódico de Circulación Nacional, 2010.

Toda esta problemática se evidencia debido a los canales de comunicación, que existen entre las estructuras composicionales de los recursos naturales, debido a su relación tan intrínseca. En el momento en que es utilizado un determinado pesticida para un fin u objetivo específico, bien sea aplicado en fase sólida o líquida, ingresa a los ciclos biogeoquímicos y físicos que tienen lugar en un ecosistema, y genera ciertas alteraciones negativas, que, por el desconocimiento de las propiedades del mismo, llegan a ser irreversibles en ciertas situaciones. **(Arroyave & Restrepo, 2009)**

2.5 Clasificación de los pesticidas.

La generación de pesticidas se presenta en base a procesos de naturaleza química y biológica. Los primeros existen en una cantidad aproximada de 1000 siendo la base para la producción de 30.000 de ellos y los segundos tienen un valor aproximado de 195 y con ellos se elaboran alrededor de 780 sustancias. De esto es donde surgen diferentes clasificaciones que permiten tener en cuenta su impacto y los posibles medios de control al medio ambiente y la salud. **(Prieto, 2011)**

En los diferentes convenios o tratados mundiales realizados a lo largo de estos últimos cuarenta años se han establecido algunos pesticidas en el rango de alta peligrosidad como los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), dentro de los cuales se encuentran 12 compuestos químicos, y ocho plaguicidas y la dioxina. **(Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido, 2009)**

Los COP son contaminantes que no desaparecen con facilidad y persisten por largos tiempos en el medio natural, los principales representantes de esta familia son los siguientes: el Aldrín, Clordano, DDT, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Mirex y Toxafeno, clordecona, lindano, alfa hexaclorociclohexano y beta hexaclorociclohexano. Otra característica importante de estos compuestos es que tienen a acumularse en los tejidos de los animales vivos. (FAO, 2013). Las clasificaciones realizadas para identificar los diferentes tipos de pesticidas se realizaron en función a sus características más relevantes como su toxicidad, su persistencia, su composición química y su uso. El análisis de la toxicidad se realizó por ingesta en ratas y ratones, en base a la Dosis letal 50, cantidad necesaria para eliminar el 50% de la población de animales en prueba; este factor está condicionado por diferentes aspectos, como la presentación del producto, la vía de ingesta o ingreso, la temperatura, la comida, la edad, el género. (Internacional Programme of Chemical Safety, 2008)

❖ Principales grupos químicos de pesticidas agrupados por su modo de acción.

Tabla 7. Grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas.

Tipo de producto	Modo o sitio de acción	Grupo químico
Insecticidas	Interferencia del sistema nervioso	Organoclorados, organofosforados, carbamatos
		Piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles
		Avermectinas, nicotinoídeos-nitrometilenos
		Nicotina
	Reguladores del crecimiento	Benzoil-fenilureas, benzamidas, benzoil-hidrazinas
Toxinas alimentarias	<i>Bacillus thuringiensis</i>	
Sistema respiratorio	Fosfuros, bromuros, etcétera	
Tóxicos físicos	Aceites minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice	
Fungicidas	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidias
		Derivados del benzimidazol
	Mitosis y división celular	Ditiocarbamatos, benzimidazoles
	Respiración: inhibición de la producción de ATP en los procesos enzimáticos del metabolismo energético	Fenilureas, benzamidas
		Carboximidias, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditiocarbamatos, estrobirulinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino-pirimidinas
	Transducción de señales	Quinolinas, fenilpirroles, dicarboximidias
	Síntesis de lípidos y membrana	Dicarboximidias, hidrocarburos aromáticos
	Biosíntesis de esteroles en las membranas	Clorofenoles, nitroanilinas, ditiocarbamatos, amidas
	Alteración de la estructura celular	Morfolinas, triazoles
Acción múltiple	Dodecylguanidina	
Inhibición de la acetil coenzima A carboxilasa	Cúpricos, sulfúricos, ditiocarbamatos, ftalamidas, cloronitrilos, sulfamidas, guanidinas, triazinas, quinonas	
Herbicidas	Inhibición de la acetil lactato sintetasa	Arioxi-fenoxi, ciclohexanodionas
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Imidazolinonas, sulfonilureas, sulfonamidas
	Auxinas sintéticas	Dinitroanilinas
		Clorofenóidos, derivados del ácido benzoico
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Ácidos piridín carboxílicos, ácidos quinolín carboxílicos
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazonas, carbamatos, amidas
		Benzonitrilos
	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa	Di-feniléteres, N-fenilftalamidas, oxadiazoles
	Inhibición de la síntesis de lípidos	Triazolimonas
		Tiocarbamatos
	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridílos
	Inhibición de la síntesis de carotenoides	Isoxasoles, nicotinamidas, otros
	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas
		Carboxílicos aromáticos
Interferencia en la actividad enzimática y precipitación de proteínas	Arsenicales	
Interferencia en el metabolismo del fósforo	Glicinas	
Inhibición de la enzima shikimato-fosfato sintetasa		

Fuente. Modificado de documento de la cátedra de terapéutica vegetal, 2016.

2.6 Toxicidad de los pesticidas.

La gran mayoría de los pesticidas son tóxicos para los seres vivos, dentro del contexto de **(Bedmar, 2013)**, se menciona que cada uno en diferente nivel de umbral. La toxicidad es la disposición que tiene una sustancia de acuerdo a su dosis y tiempo de exposición de generar deterioro o incluso la muerte, sobre los componentes presentes en el ambiente.

La Organización Mundial de la Salud ha establecido en base a la Dosis letal 50 de contacto interno o externo, una clasificación de la toxicidad de los pesticidas, las cuales están distribuidas en cinco categorías toxicológicas, lo cual permite especificar en el etiquetado de los envases el grado de riesgo que poseen estas sustancias químicas. Plaguicidas como los rodenticidas son clasificados en las categorías Ia y Ib. Los insecticidas en las clases Ib y II, los fungicidas, herbicidas y acaricidas ocupan las clases II, III y IV. **(Ibid., pág.13)**

Tabla 8. Clasificación del riesgo toxicológico de los plaguicidas según la Organización Mundial de la Salud.

Clasificación de los riesgos de los plaguicidas	Dosis letal media del ingrediente activo (mg/kg vivo) que causa la muerte del 50% de los animales experimentales (DL 50)			
	Forma líquida		Forma sólida	
	Oral	Dermal	Oral	Dermal
Clase Ia. Producto sumamente peligroso	20 o menos	40 o menos	5 o menos	10 o menos
Clase Ib. Producto muy peligroso	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100
Clase II. Producto moderadamente peligroso	200 a 2000	400 a 4000	50 a 500	100 a 1000
Clase III. Producto poco peligroso	2000 a 3000	mayor de 4000	500 a 2000	mayor de 1000
Clase IV. Producto que normalmente no ofrece peligro	mayor de 3000		mayor de 2000	

Fuente. Modificado de Bedmar, 2013

2.7 Procesos fisicoquímicos y biológicos de los pesticidas en el ambiente.

El recorrido de un pesticida por el suelo está definido por diferentes mecanismos como la retención, el medio de transporte y la degradación. Estos procesos son los implicados en el cambio de la concentración original aplicada de pesticida. El tiempo de permanencia de estas sustancias químicas en este recurso natural va a relacionado a las propiedades fisicoquímicas y a las características del suelo. **(Aparicio et al., 2015)**

El pesticida al ingresar al suelo tiene tres vías de comunicación expresadas en (**Ibid., pág.17**), y son como se menciona a continuación, en los estados de la materia que este presenta para poder llegar a los demás recursos, los cuales son:

- **Fase líquida.** Está predispuesto a la transformación o degradación por agentes químicos, físicos o microbiológicos en otros compuestos; o para ser recirculado a capas freáticas del suelo hasta alcanzar las aguas subterráneas.
- **Fase sólida.** Los compuestos que forman los pesticidas son atrapados por la materia orgánica e inorgánica, y pueden transportarse de manera más fácil y rápida hasta en las moléculas de agua o en procesos de erosión eólica.
- **Fase gaseosa.** Llega a la atmosfera mediante volatilización desde el agua que se mezcla con los compuestos de los pesticidas presentes en el suelo.

2.8 Propiedades de los pesticidas.

Las principales propiedades de un pesticida según (**Aparicio et al., 2015**) son las siguientes:

- **Estructura química.** Hace referencia a la configuración o composición química interna en base a la clasificación de los diferentes grupos de pesticidas existentes.
- **Solubilidad en agua.** Expresa el grado de disolución del pesticida en agua.
- **Lipofilicidad.** Representa la relación de concentración del pesticida en octanol y del mismo en agua, para determinar el poder de adsorción de este a un recurso natural o un organismo vivo.
- **Volatilización.** Es la predisposición de un pesticida de cambiar su estado inicial al gaseoso.
- **Presión de vapor.** Hace referencia a la volatilidad de los compuestos presentes en los pesticidas, es decir al potencial de disipación hacia la atmósfera.
- **Persistencia.** Expresa la capacidad de permanencia de un pesticida desde su aplicación inicial hasta su eliminación total, en base a la acción de diferentes procesos intrínsecos que debe soportar.
- **Capacidad de adsorción a partículas del suelo.** hace referencia a la facilidad de adsorción de compuestos y elementos presentes en los pesticidas por parte del sustrato terrestre.

2.9 Formas de contaminación del recurso suelo con pesticidas.

Las principales actividades en las cuales se utilizan pesticidas, buscan objetivos específicos como base para el control de vectores agrícolas o fitosanitarios, y con los cuales se puede contaminar el recurso suelo.

Los pesticidas definen su uso de acuerdo a la actividad en la cual sean utilizados, en primer lugar encontramos la agricultura, esta técnica emplea el 85% de estos compuestos a nivel mundial (**López, 1993**), en el control de plagas que disminuyen en cantidad y calidad los cultivos, la fertilización de suelos, la inhibición degradativa de productos maderables por acción del ambiente o de plagas, por ello permitir la continuidad de la actividad agrícola es muy importante pues provee el sustrato de alimentación a la población mundial. (**OMS, 1993**)



Figura 10. Utilización de pesticidas en cultivos transgénicos.
Fuente. (Bellet, 2016)

La salud pública es otra actividad implicada en el uso de pesticidas, cerca de un 10% es la cantidad utilizada a nivel mundial, en el control de enfermedades transmitidas por vectores como malaria, el chagas y el dengue. (**Ibid., pág.8**)

Por otra parte, los pesticidas tienen su uso clasificado al control de gran variedad de vectores, entre estos zancudos, cucarachas, insectos y roedores, presentes en la mayoría de estructuras de obras civiles, y otros medios de transporte tales como aviones, trenes, buses y barcos. (**Moses, 1993**)

Otro uso de un pesticida muy importante como el glifosato en el control de cultivos ilícitos como amapola y coca. También se usa como producto desecante en el aumento de la concentración de sacarosa en el cultivo de caña de azúcar. A su vez en las ciudades tiene varias aplicaciones como el mantenimiento de jardines en parques, la eliminación de maleza en autopistas, vías de trenes y líneas de electricidad de alta tensión y para el control de insectos y hongos. (**Ramírez & Lacasaña, 2001**)



Figura 11. Aspersión de Glifosato en el Putumayo, Colombia.
Fuente. Revista semana, 2015.

Los procesos industriales son actividades que a nivel mundial utilizan dentro de sus procesos diversos pesticidas en la fabricación de refrigeradores, pinturas, tapices, papel, cartón y materiales para empaquetado de alimentos conservados e inhibir la propagación de microorganismos patógenos. **(Moses. Op. cit., p. 298)**

En la mayoría de hogares a nivel mundial utilizamos pesticidas sin saberlo, ellos se encuentran presentes en los compuestos de diversas sustancias utilizadas en la desinfección y limpieza de las áreas de este lugar. También en productos como cosméticos y shampoo, aunque en ocasiones su etiquetado omite nombrarlo. Y por último en el cuidado de animales domésticos en la prevención de propagación de insectos. **(Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas en América latina, 2007)**

2.10 Procesos que facilitan el de transporte de los pesticidas en el suelo.

Los recursos naturales son contaminados por plaguicidas generalmente en el desarrollo de las actividades agropecuarias que implican la utilización de estos como medio de control de un vector o mejoramiento de la calidad de un cultivo, cerca del 47% de estos productos aplicados llegan a tener contacto con el agua y suelo ocasionando una gran alteración y por ende un impacto ambiental negativo, que aumenta con la fuerza de las condiciones climáticas, las características de edáficas del lugar, y la fórmula y presentación del producto, y el modo de aplicación. **(OMS, 1993)**

❖ Procesos más habituales de transporte de pesticidas en el suelo.

Hay diferentes procesos de transporte, bajo el contexto de los diferentes autores:

2.10.1 Lixiviación.

En primer lugar, se define el término lixiviado como el líquido generado mediante la percolación de un fluido por medio de un sólido. Este líquido adsorbe y transporta numerosas sustancias difíciles de identificar a simple vista.

El desplazamiento de líquidos a través de las capas freáticas, define el nivel de lixiviación de un suelo, este ligado fuertemente a diversas condiciones meteorológicas como la precipitación pluvial y temperatura. También las características fisicoquímicas del sustrato como su porcentaje textural, su estructura, el grado de aglomeración, el pH, la conductividad eléctrica y la solubilidad del producto en agua. Por tal razón un suelo con gran capacidad de absorción retendrá mayor cantidad de lixiviados emanados en el proceso posterior a la aplicación de plaguicidas, inhibiendo el fin para el cual fue utilizado, lo cual ocasionará alteraciones negativas sobre los diferentes procesos microbianos que se llevan a cabo en las capas del suelo, viéndose esto representado en la fertilidad y el rendimiento en el desarrollo de un cultivo. **(Cremllyn, 1990)**

La capacidad de lixiviación de los pesticidas en los suelos está muy ligada a ciertos parámetros de este, como el nivel de atracción con la materia orgánica, las clases de arcillas presentes y las propiedades hidráulicas en el mismo. **(Capri, 2001)**

2.10.2 Escorrentía.

La escorrentía es el proceso natural que se observa sobre un suelo, mediante la formación de cauces de agua, debido a la inhibición del proceso de infiltración, pues las capas de sustrato no pueden retener más agua. Esta circulación de agua permite que en ella se transporten diversas sustancias contaminantes presentes en el ambiente, a otras áreas de terreno. **(González, 2009)**

El fácil movimiento de los plaguicidas en los suelos, mediante el proceso de escorrentía genera problemas de contaminación en los diferentes recursos naturales, siendo el suelo el primer afectado y el medio por el cual estas sustancias tóxicas en su mayoría, destruyen todo un ecosistema. **(Cox et al., 1997)**

Un suelo que debido a su característica textural no tolera más agua en un periodo fuerte de lluvia, se ve obligado a inhibir el paso del líquido dando formación al fenómeno de escorrentía, por ende, si se le ha aplicado pesticidas con un objetivo agrícola, estos serán arrastrados contaminando cuerpos hídricos, eliminando la flora y la fauna, teniendo como consecuencia el deterioro del paisaje. **(Gutiérrez et al., 2015)**

2.10.3 Infiltración.

El proceso de infiltración se define como la penetración de las moléculas de agua a través de los diferentes perfiles del suelo en forma vertical. Esta puede ser retenida por las

partículas del sustrato o dirigirse hacia capas más profundas alcanzando las reservas de agua subterránea. **(Delgadillo et al., 2015)**

Por tal razón se hace énfasis en la facilidad que tienen algunos compuestos de los pesticidas, de transportarse mediante las moléculas de agua e ingresar por los intersticios del suelo y contaminar de manera grave, si no se conoce la cantidad que debe ser aplicada y la toxicidad del pesticida.

2.10.4 Adsorción.

Proceso de atracción entre una sustancia sólida un líquido o un gas, que permite a los compuestos presentes en los pesticidas ser adsorbidas por las emulsiones presentes en el suelo, arcilla y materia orgánica, durante la fase de lixiviación.

2.10.5 Descomposición química.

En el proceso de descomposición química se presentan diferentes fases como la oxidación, reducción, hidroxilación, rompimiento de anillos y la hidrólisis, las cuales permiten que los diferentes compuestos que forman el pesticida se transformen en otros y persistan en el suelo, causando en algunas concentraciones daños perjudiciales y por ende la inhibición de los diferentes procesos metabólicos allí realizados. **(Sánchez & Sánchez, 1984)**

2.10.6 Descomposición fotoquímica.

Este proceso se genera a causa del espectro de luz ultravioleta solar. Es importante aclarar que las fuentes de luz y su potencia controlan el nivel de descomposición de un compuesto, lo cual determina la rapidez en la vía de transporte y comunicación de un pesticida con el suelo. **(Ibid., pág.27)**

2.10.7 Descomposición microbiana.

La ausencia de otras fuentes de energía y alimento para los microorganismos presentes en el suelo, hace que estos recurran a los compuestos orgánicos presentes en los pesticidas, siendo esto un medio de eliminación de estas sustancias y por otro lado un mecanismo de transporte de estos contaminantes mediante dichos individuos a otras capas del suelo. **(Sánchez & Sánchez, 1984)**

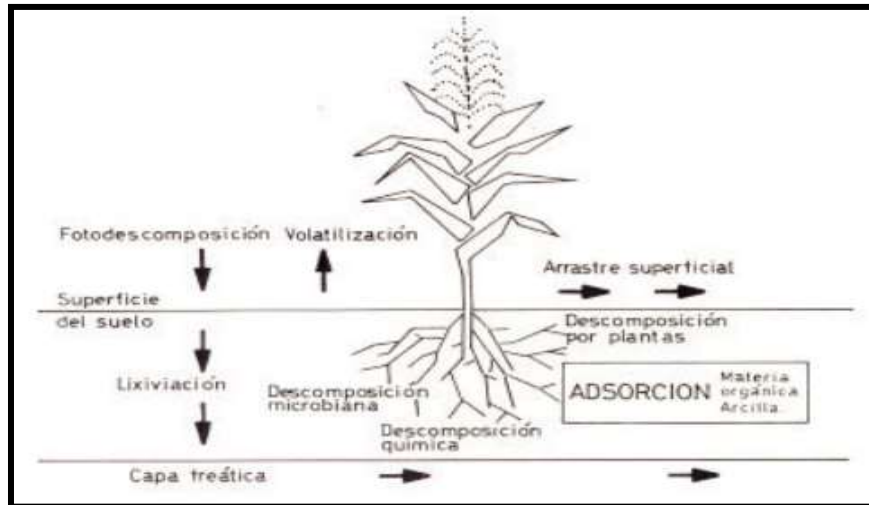


Figura 12. Esquema de los procesos que facilitan el de transporte de pesticidas en el suelo.
Fuente. Sánchez & Sánchez, 1984.

3. IMPACTOS AMBIENTALES QUE GENERAN LOS PESTICIDAS SOBRE EL RECURSO SUELO.

El impacto que pueda provocar un determinado pesticida sobre el recurso suelo, depende del tiempo de permanencia o persistencia en el mismo, todo en base a la vida útil (descomposición o desaparición) del compuesto presente en los ingredientes del contaminante.

En la siguiente figura se presentan los tiempos de permanencia en el suelo de algunos pesticidas, cada barra representa una o más clases de los mismos, y los espacios simbolizan la persistencia dentro de cada fila. (Ibid., pág.36)

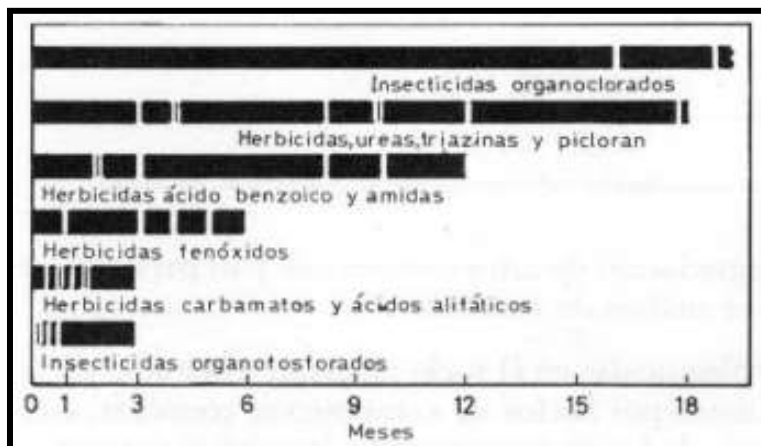


Figura 13. Persistencia de distintos grupos de plaguicidas en suelos.
Fuente. Sánchez & Sánchez, 1984.

3.1 Principales impactos de los pesticidas sobre el recurso suelo.

La persistencia de los plaguicidas en el suelo, ocasiona diferentes alteraciones en el equilibrio natural de los procesos biológicos que en este recurso se desarrollan. Las diferentes especies de micro y microrganismos responsables de diversos procesos microbianos, que aportan las características propias de cada suelo en específico, pueden verse afectadas, disminuyendo su cantidad o hasta desaparecer, todo ello inhibiendo el balance progresivo de determinado sistema ecológico. **(Sánchez & Sánchez, 1984)**. La aplicación directa de pesticidas en el suelo, al momento de iniciarse el proceso de cosecha en un cultivo, implica que este actúe como un receptor a gran escala de todas las sustancias que ingresen por sus intersticios, este realiza tal actividad con el objetivo de proporcionar nutrientes y demás compuestos que las plantas necesiten en ese momento, pero esto también ocasiona desequilibrios en la biota y alteraciones en sus ciclos internos que no favorecen el desarrollo de los procesos agrícolas. **(Forero, 2009)**

Las afectaciones provocadas en el suelo por el uso de plaguicidas en el desarrollo de técnicas agrícolas, se ven representadas en mayor proporción al incrementar las concentraciones de los mismos para obtener mejores resultados. Todo este proceso se revierte contra las especies faunísticas y florísticas acarreado con el tiempo la desertización o baja fertilidad del suelo y el desequilibrio de las condiciones ecológicas predominantes de un determinado lugar. **(Silva & Correa, 2009)**. El ingreso de los pesticidas por cualquier proceso que facilite su transporte en el suelo, implica una gran cantidad de alteraciones sobre los microrganismos y los diferentes procesos o actividades metabólicas que ellos realizan, lo anterior enmarca la relación de estos con el grado de fertilidad de un suelo y su representatividad en la producción de un cultivo. **(Alvear, 2006)**



Figura 14. Distribución de los plaguicidas en el suelo.
Fuente. Torri, 2015.

El uso en cantidades inadecuadas de pesticidas en los cultivos, los vertimientos accidentales en el suelo, el lavado de los envases que los contienen y los equipos que se usan para su aplicación, la falta de educación y conciencia ambiental que promueva el cuidado del medio ambiente, son algunos de los factores que inciden en la generación y persistencia de un sin número de afectaciones sobre los sistemas bióticos y abióticos presentes en un ecosistema. **(Suarez, 2014)**

La contaminación del suelo por agroquímicos se presenta debido a la permanencia de las siguientes sustancias: en representación de los pesticidas encontramos los hidrocarburos clorados que persisten gracias a la presencia en altas cantidades de materia degradable. Dentro de los plaguicidas que más afectan las características naturales del sustrato encontramos el Doser y el Acetato. Los herbicidas como el paraquat y el glifosato no solo atacan las malas hierbas y las eliminan, pues también tienen la facilidad de ingresar al suelo ocasionando inhibición en el crecimiento de las semillas de un cultivo antes de que broten de la tierra. **(Maders & Da silva, 2010)**

La aplicación de agroquímicos en el desarrollo de cultivos intensivos, tiene una fuerte implicación negativa sobre la microbiota del suelo, alterando las diferentes comunidades de microorganismos de gran importancia biológica, en el establecimiento de reacciones benéficas para el crecimiento de las plantas. **(Paoletti, 1999)**

La utilización constante de pesticidas en suelos netamente agrícolas, ocasiona alteraciones en las propiedades físicas, químicas o biológicas del mismo, también perjudica la organización trófica de las comunidades de organismos que allí habitan. Todo esto perjudicando el rendimiento de los cultivos **(Muñoz, Leoz et al., 2013)**. Estas consecuencias negativas tienen sus raíces en la modificación de las actividades naturales de la microbiota, como por ejemplo la descomposición de la materia orgánica, el progreso en el crecimiento de la planta, la reutilización de los nutrientes del suelo y la particular degradación de los agroquímicos. **(Jacobsen & Hjelmso, 2014)**

Los efectos de la aplicación de pesticidas sobre los microorganismos presentes en el suelo, se ven representados de la siguiente manera: alteración y muerte de especies no tolerantes a la toxicidad de los agroquímicos utilizados, y por otro lado crecimiento y desarrollo de especies tolerantes mediante el uso del carbono presente en estos compuestos para sus procesos metabólicos. Por su parte la presencia del pesticida perjudica el metabolismo de los microorganismos que estimularán las vías de degradación del mismo, posibilitando la utilización de indicadores biológicos. **(Howell et al., 2014)**

La alteración de las propiedades biológicas del suelo, ocasionada por el pesticida 1,1,1- TRICLORO-2,2'BIS(P-CLOROFENIL) ETANO (DDT), se ve representada en la

atenuación o eliminación de las especies de microflora, su biomasa y sus procesos enzimáticos, todo ello puede ocasionar la infertilidad del suelo. (Megharaj et al., 2000)

Una vez identificados los principales impactos ambientales generados por los pesticidas sobre el recurso suelo, se presenta una síntesis de la metodología Leopold para comprender su desarrollo e implementar la evaluación de los tensionantes ya nombrados.

3.2 Desarrollo matriz Leopold.

La matriz Leopold es una metodología cualitativa para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en un determinado proyecto, representada mediante un cuadro de doble entrada en el cual hay ejes dispuestos como filas donde se ubican los factores ambientales y en otros ejes ubicados como columnas se encuentran las acciones o actividades generadoras o causantes de los posibles impactos. Estas filas y columnas se interceptan en una celda que se divide en diagonal, donde a su vez se va a evaluar la magnitud Vs la importancia de cada actividad sobre los diferentes factores ambientales. (Dellavedova, 2010)

3.2.1 Antecedentes. El Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, fue el primer ente en implementar la utilización de la metodología Leopold para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en sus informes de proyectos mineros, luego fue implementándose en proyectos de construcción de obras. (Pinto, 2007)

3.2.2 Procedimiento de síntesis para la elaboración y aplicación de la matriz.

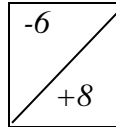
Según Conesa (1993), para elaborar y aplicar la Matriz Leopold, se deben efectuar los siguientes pasos, con el objetivo de identificar y evaluar los impactos ambientales de un proyecto.

“1) Ubicar en las filas de la matriz los factores ambientales, y en las columnas las acciones del proyecto.

2) Cada fila y columna se intercepta en una cuadrícula específica la cual está dividida mediante una diagonal, esta admite dos valores en la parte superior la magnitud y en la parte inferior la importancia, todo ello relacionando la incidencia de la acción sobre el factor ambiental.

3) La magnitud ubicada en la parte superior de cada celda puede tomar valores de calificación negativos para unos impactos negativos y positivos para un impacto positivo (rango posible: -10 hasta +10).

4) La importancia ubicada en la parte inferior de cada celda puede tomar únicamente valores de calificación positivos (rango posible: +1 hasta +10)



5) Para obtener el valor de cada celda se multiplican las dos calificaciones (rango posible: -100 hasta +100)

$$\begin{array}{|c|} \hline -6 \\ \hline +8 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -48 \\ \hline \end{array}$$

6) Determinados los valores para cada celda se realiza una sumatoria por cada fila y cada columna, con el objetivo de obtener un solo valor al final de las mismas ya sea positivo o negativo, identificando con esto cuales acciones del proyecto afectan de manera beneficiosa o detrimental.

7) Es importante tener en cuenta que al final se debe realizar una sumatoria por separado de los valores obtenidos en las filas y columnas y este debe ser el mismo, lo cual indica que la matriz está bien elaborada.”

❖ **Tablas de calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental para su uso con la matriz Leopold.**

Tabla 9. Impactos Negativos

Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	+4
Media	Media	-5	Media	Local	+5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	-8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	+9

Muy alta	Alta	-10		Permanente	Nacional	+10
----------	------	-----	--	------------	----------	-----

Fuente. Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción, (2011). Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 10. Impactos Positivos.

Magnitud				Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación		Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1		Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2		Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3		Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4		Temporal	Local	+4
Media	Media	+5		Media	Local	+5
Media	Alta	+6		Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7		Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8		Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9		Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10		Permanente	Nacional	+10

Fuente. Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción, (2011). Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil.

4. PRINCIPALES PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PESTICIDAS.

4.1 Recuperación de suelos contaminados con pesticidas.

La biorremediación. Es uno de los procesos más utilizados desde hace varias décadas para la recuperación de suelos contaminados con pesticidas, esta metodología permite mediante la introducción de microorganismos, hongos, plantas y enzimas, el desarrollo de diferentes procesos metabólicos, con el fin de erradicar o disminuir las concentraciones de pesticidas presentes en un suelo, y así promover el estado natural inicial del mismo. (Martínez, 2009)

Técnicas de biorremediación más utilizadas para la recuperación de suelos contaminados con pesticidas:

4.1.1 Hongos. Estos organismos poseen mecanismos enzimáticos como las ligninolíticas peroxidasas capaces de degradar ciertos elementos y compuestos presentes en las cadenas cíclicas de los pesticidas, interrumpiendo el desarrollo de sus procesos oxidativos y reductivos. Es importante nombrar que las mismas degradan estos contaminantes, pero no los utilizan como sustrato para su desarrollo y crecimiento. **(Quintero, 2005).**

4.1.2 Bacterias. Este grupo de organismos y microorganismos, cumplen un papel importante en la recuperación de suelos contaminados con pesticidas, debido a que poseen una fácil manipulación para ser cultivables en un laboratorio de acuerdo a las características necesarias en un tratamiento de biorremediación específico. Se resalta que las bacterias una vez se han adaptado al medio contaminante que van a degradar, suelen utilizar los compuestos que le dan vida a los plaguicidas como fuente de energía para su desarrollo, así disminuyen la vitalidad de estos y promoviendo la eliminación de estas sustancias de la corteza terrestre. **(Ibid., pág. 5868).**

4.1.3 Plantas. La efectividad que tienen las plantas en el proceso de recuperación de suelos contaminados por diferentes fuentes es reconocida ampliamente. Esto no escapa al valor agregado que tienen estas en la biorremediación de suelos que han sido alterados física, química y biológicamente por la acción de sustancias como los plaguicidas, los cuales al tener contacto con un recurso natural alteran todo un ambiente natural de manera negativa. Por tal razón las plantas como elemento fundamental de cualquier medio natural, y de acuerdo a las características que adquieren algunas de hiperacumuladoras, lo que hace referencia a que tienen la capacidad de almacenar en sus raíces, tallos y hojas, sustancias que en altas concentraciones suelen ser nocivas y contaminantes para el suelo y los demás recursos naturales, esto corrobora su utilización hoy en día en la recuperación de áreas de terreno que se han visto afectadas por la aplicación de pesticidas, y donde se han reportado resultados eficientes de las mismas en estos procesos de restauración ambiental. **(Albarracín, 2007)**

Teniendo en cuenta que las plantas debido al desarrollo de sus diversas funciones metabólicas, poseen diferentes partes estructurales lo cual permite que cada especie sea única y cumpla un papel específico en un ambiente natural. Por ello los procesos de recuperación de los suelos donde se utilizan plantas están enfocados en las diferentes técnicas de fitorremediación y cada una cumple con una función en particular.

- **La fitoextracción.** Se refiere a la capacidad de las plantas para absorber el contaminante del suelo, especialmente metales, y almacenarlos en sus tallos y hojas. **(Becerril et al., 2007)**

- **La fitoestabilización.** Esta técnica mediante la utilización de planta permite inmovilizar y disminuir la cantidad de contaminantes en el suelo, induciendo su recorrido a aguas subterráneas o a las cadenas tróficas.
- **La fitodegradación.** Es la descomposición de contaminantes orgánicos del suelo por las plantas mediante enzimas como la deshalogenasa y la oxigenasa.
- **La rizodegradación.** Esta técnica permite la degradación de contaminantes orgánicos en el suelo por microorganismos presentes en la rizosfera.
- **La rizofiltración.** Se enfoca en la acción metabólica de algunas plantas acuáticas, como algas, bacterias y hongos, las cuales suelen ser excelentes biosorbentes de metales y otras sustancias presentes en las aguas contaminadas a través de las raíces.
- **La fitovolatilización.** Es la absorción de contaminantes del suelo por plantas, su conversión a formas volátiles y su posterior liberación a la atmósfera. **(Diez, 2008)**

4.1.4 Biodegradación asistida mediante bacterias para la degradación de pesticidas organoclorados aplicados en el suelo.

Este proceso consiste en la utilización de bacterias y hongos, capaces de metabolizar los contaminantes orgánicos presentes en el suelo, ya sea como alimento para su desarrollo o seguirlos transformarlos hasta su más mínima expresión, aquí se presentan reacciones de óxido reducción necesarias para concluir todo este proceso. Por otra parte cuando la biodegradación asistida no se efectúa de forma autónoma, debido a que los contaminantes no le proporcionan los elementos esenciales a los microorganismos, es necesario implementar procesos donde se fomente la actividad microbiana mediante la adición de sustratos. **(Alexander, 1994)**

La contaminación de suelos por compuestos bifenilos clorados está muy relacionada con los procesos agrícolas, estos compuestos como el 1,1,1- TRICLORO-2,2'BIS (P-CLOROFENIL) ETANO (DDT), se pueden biodegradar gracias a la acción cometabolizadora de las bacterias aerobias, si a ello se le adiciona cierta cantidad de surfactantes estos disminuirán la cantidad de contaminante presente. **(Di toro et al., 2006).**

Los pesticidas organoclorados pueden ser reducidos o eliminados del suelo en medio aerobio o anaerobio por la acción de ciertas bacterias tales como la Alcaligenes eutrophus A5, Serratia 13 Marcescens DT-1P, Micrococcus varians, Lactobacillus plantarum, y Pseudomonas sp. A su vez bajo condiciones anóxicas el DDT se transforma en

diclorodifenildicloroetano, mediante la acción del hongo *Phanerochaete chrysosporium* el cual es capaz de mineralizar este compuesto. (Fernando et al., 1989)

Estudios realizados en Colombia han determinado que el uso de surfactantes ha disminuido la concentración de DDT en el suelo, en un 79% con respecto a su valor inicial, todo esto acompañado de la bioestimulación con nitrógeno y fósforo, donde a su vez la presencia de metabolitos como el DDE y el DDD fueron disminuidas considerablemente. (Betancur, 2013)

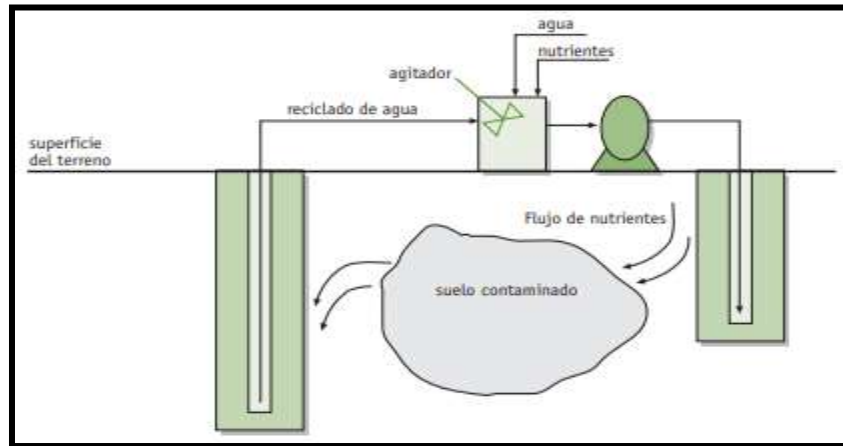


Figura 15. Esquema de biodegradación asistida.
Fuente. Alexander, 1994.

4.1.5 Fitorrecuperación.

Es un método biológico mediante el cual se utilizan diferentes especies vegetales, las cuales soportan ciertos umbrales de contaminación en referencia a diversas sustancias químicas, por tal motivo son llamadas plantas bioacumuladoras, pues captan, retienen y transforman en sus tallos y hojas la mayor cantidad de contaminantes. Se han utilizado ciertas especies de macrófitas como el buchón de agua u otras terrestres, o también las gramíneas como el junco y pasto vetiver, las algas, algunas plantas aromáticas y el girasol. El éxito de este método radica en elegir la especie adecuada para el tipo de suelo a tratar. Este método ha sido ampliamente utilizado en la recuperación de suelos contaminados con metales, herbicidas y pesticidas e hidrocarburos aromáticos Policíclicos. (Clemente et al., 2005)

Según Wenzel et al (1999), existen cinco procedimientos de contención o eliminación por lo cual las plantas pueden ser utilizadas en el proceso de recuperación de suelos:

- **Fitoestabilización.** Aplica el método de repoblar un sector determinado con especies vegetales nativas y tolerantes a la acción tóxica de los contaminantes que se desean degradar o eliminar, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- **Fitoimmobilización.** Mediante los procesos de absorción-adsorción, que se llevan a cabo en la interfase suelo- raíz, disminuye y bloquea la biodisponibilidad de contaminantes químicos en el suelo.
- **Fitoextracción.** Se refiere a la capacidad de bioacumulación de contaminantes tóxicos por parte de las plantas en sus raíces, tallos y hojas. Una vez las plantas cumplen su función acumuladora, deben ser cortadas o eliminadas por medio de un proceso de incineración.
- **Fitodegradación.** Este método se refiere a la degradación de contaminantes debido a la interacción de las plantas y la microfauna del suelo, mediante la generación de enzimas y demás agentes microbianos que permiten este proceso biológico.
- **Fitovolatilización.** Proceso mediante el cual la planta volatiliza los contaminantes que ha podido acumular del suelo en su estructura interna.
- **Rizofiltración.** Se refiere a la absorción de agentes contaminantes presentes en el suelo, mediante la acción de la rizosfera de la planta, esta técnica muy utilizada en la degradación de herbicidas y pesticidas.

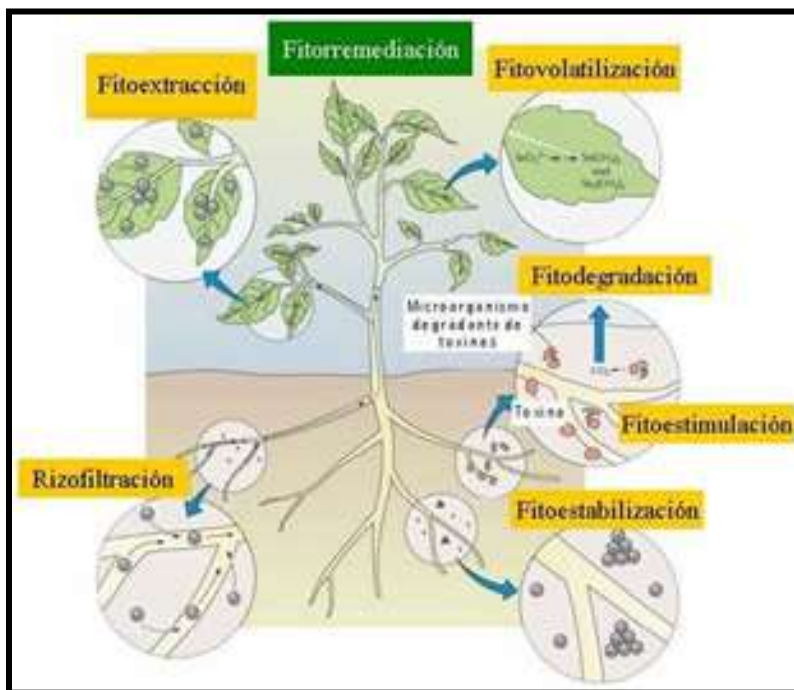


Figura 16. Procesos de Fitorrecuperación por las plantas en el suelo.
Fuente. Lumelli, 2009

4.1.6 Bioventing.

Es una técnica in situ para la recuperación de suelos con resultados a mediano y largo plazo, en la cual se hace circular aire por los intersticios del sustrato mediante una acción inyectora, el objetivo de este proceso es hacer llegar oxígeno o nutrientes a las áreas colmatadas o contaminadas, para estimular la acción aerobia degradadora de los microorganismos presentes en el suelo. **(Mihopoulos et al., 2001)**

Esta técnica utiliza microfauna nativa, para el proceso de biodegradación de compuestos absorbidos en los suelos de la zona insaturada. Es importante en el momento que se degradan las sustancias contaminantes inhibir el proceso de volatilización, pues esto agudiza la contaminación en otra fase o estado de la materia. Cualquier compuesto biodegradable en medio aeróbico es apto para ser tratado con esta técnica. **(Österreicher-Cunha et al., 2004)**

Los factores que condicionan el normal ejercicio de esta técnica son: la capacidad de absorción del suelo, lo cual favorece movimiento de oxígeno, y la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos, lo que establece la velocidad y magnitud de degradación. Por tal razón esta técnica es aplicable para el tratamiento de suelos contaminados con compuestos biodegradables de las siguientes sustancias: hidrocarburos, aceites minerales, algunos fúngicas, herbicidas y pesticidas, queroseno. **(Ibid., pág.37)**

La mayor ventaja de este procedimiento radica en su gran compatibilidad con el uso del suelo, al no necesitar realizar excavaciones. Y su desventaja esta direccionada a su aplicación en suelos impermeables.

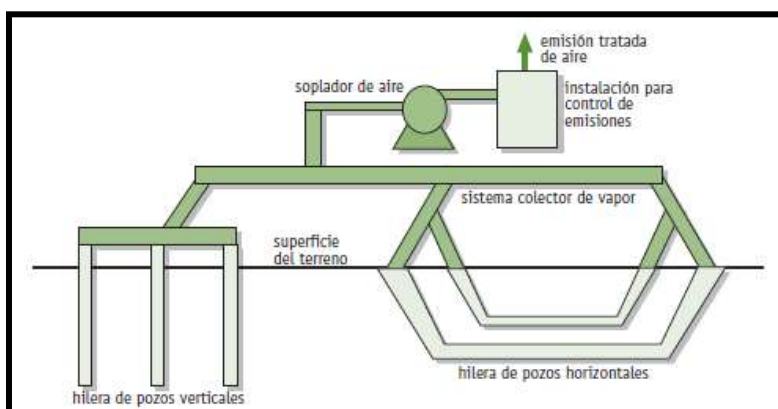


Figura 17. Proceso de Bioventing.
Fuente. Modificado de Khan et al., 2004.

4.1.7 Lodos biológicos.

Es una técnica para la biodegradación de compuestos que contaminan el suelo, este es excavado y cernido para eliminar partículas de gran tamaño y posteriormente es homogenizado con agua y otros aditivos en un biorreactor. Esta solución de lodo resultante permite que los contaminantes se relacionen con los sólidos suspendidos y la microfauna degradadora. **(Christodoulatos & Koutsospyros, 1998).**

En estos biorreactores se deben controlar diversos factores que pueden restringir la evolución microbiana en el medio, como la cantidad de nutrientes y oxígeno, el valor de la temperatura, el potencia de Hidrogeno y la humedad. A su vez el proceso de mezclado homogeniza el material contaminado para evitar el aumento en concentración de los compuestos contaminantes aglomerados Por último esta técnica permite el desarrollo de otras reacciones como la adsorción/desorción, disolución/volatilización, intercambio de cargas, traspaso de oxígeno, y disminución de la granulometría. **(Christodoulatos & Koutsospyros, 1998).**

El procedimiento de esta técnica se basa en la toma de una cantidad de suelo, el cual es dispuesto en un agitador o reactor biológico, donde se le aplica oxígeno, ciertos nutrientes, organismos microbianos nativos y soluciones acidas o básicas para mantener el rango de pH, este proceso aerobio es altamente efectivo puede realizarse en menos de un mes **(RAAG, 2000)**. Luego esta mezcla homogenizada es dispuesta en un aclarador, donde el lodo es deshidrato y separado del suelo limpio para devolverlo nuevamente al lugar de donde se extrajo. **(Bernad et al., 2007)**

Esta técnica se utiliza ampliamente en la recuperación de suelos con altas concentraciones de hidrocarburos, solventes orgánicos volátiles y semivolátiles, fungicidas, herbicidas y pesticidas. **(Ibid., pág.52)**

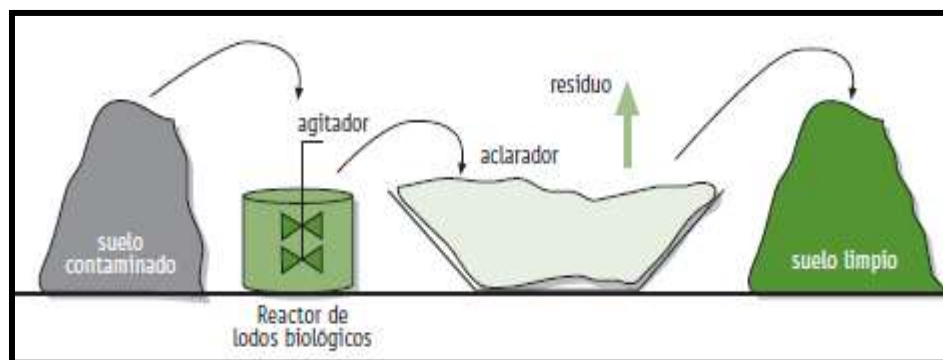


Figura 18. Esquema del sistema de biorrecuperación mediante lodos biológicos.

Fuente. Bernad et al., 2007

4.1.8 Compostaje.

El compostaje es una técnica biológica para la transformación de la materia orgánica en abono, la cual permite activar los procesos de biodegradación en medios aerobios y anaerobios, y donde se necesita de manera primaria la presencia y desarrollo de microorganismos formadores del suelo en condiciones termofílicas, ósea a temperaturas mayores a los 45 °C, todo ello posibilitando la transformación de compuestos orgánicos contaminantes en sustancias inofensivas. (USEPA, 1996)

El procedimiento que generalmente se utiliza para llevar a feliz término esta técnica, es homogenizar una cantidad de suelo con residuos animales o vegetales los cuales pueden ser, pedazos de madera, aserrín, cascaras de frutas y verduras, cascaras de huevo, estiércol de ganado, gallinaza y lombrinaza, estos componentes brindan una textura permeable para un balance óptimo de carbono y nitrógeno. Es necesario mantener una temperatura termofílica con el objetivo de proporcionar constancia y rapidez al proceso de degradación de la materia orgánica. (Williams et al., 1992). Finalizado el proceso de descomposición por parte de los microorganismos, la materia orgánica soporta un descenso de temperatura, lo cual indica la disminución de la actividad microbiana, a causa de la ausencia de carbono orgánico. (Fogarty & Tuovinen, 1991)

La eficiencia de esta técnica de biodegradación radica en la vigilancia de parámetros como la disponibilidad de oxígeno, la cantidad de agua y la temperatura. El proceso de compostaje aerobio es capaz de eliminar grandes cantidades de hidrocarburos aromáticos policíclicos y pesticidas en el suelo. (Román, 2013)

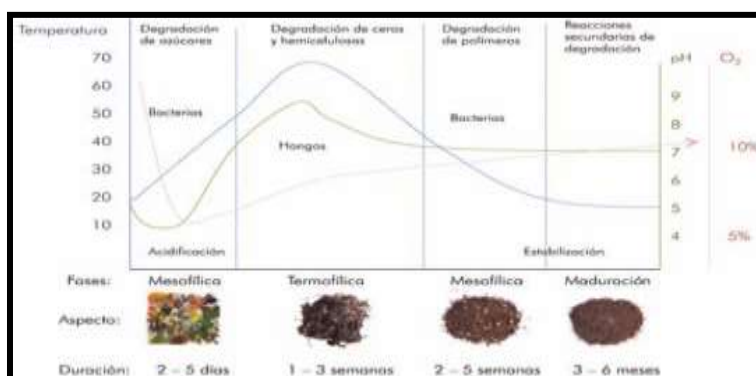


Figura 19. Temperatura Vs fases de degradación.

Fuente. Román, 2013

5. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados de las referencias bibliográficas, el contacto de los pesticidas con el suelo, debido a la realización de diferentes actividades para el control de algún vector generalmente en procesos agrícolas, permitió determinar que estos químicos producidos en su mayoría, alteran de manera negativa las características físicas y químicas originales de un suelo, evidenciándose esto en el aumento del pH y la salinidad, pérdida de elementos mayores y menores, cambio en la textura, todo ello conllevando a la contaminación y deterioro del recurso suelo en un determinado lugar.

De acuerdo a la revisión documental, se identificó que las diferentes actividades antrópicas que se realizan hoy en día, para la producción de bienes, alimentos o prestación de un servicio, implican para una mejor productividad la utilización de pesticidas, cuando estos tienen contacto con el suelo influye de manera importante las formas como estos contaminantes se puedan transportar (lixiviación, escorrentía, infiltración) y alcanzar los horizontes del mismo, llegando a afectar otros recursos naturales.

La identificación realizada en esta monografía de los diferentes impactos ambientales generados por los pesticidas sobre el recurso suelo, da a conocer claramente la necesidad de utilizar de manera racional estos agroquímicos, acciones que deben implementar los entes ofertantes y demandantes de estas sustancias, con el objetivo de mitigar las afectaciones que por la conectividad entre el recurso suelo con los demás alteran todo un sistema ecológico.

Mediante la búsqueda de información se concluye que los plaguicidas organoclorados pueden persistir en el suelo por más de 20 años, los herbicidas de la agrupación carbamatos, ácidos alifáticos y triazinas persisten en un tiempo de cortas semanas hasta un poco más del año, y los insecticidas organofosforados tienen se degradan en un período de 2 a 12 semanas.

Los Principales impactos de los pesticidas sobre el recurso suelo, enunciados por diferentes autores utilizados en esta monografía de recopilación documental se resumen en los siguientes impactos: alteraciones en el equilibrio natural de los procesos biológicos, desertización y baja fertilidad del suelo, baja productividad de cultivos, inhibición de la actividad enzimática, disminución y muerte de gran cantidad de micro y microrganismos, alteración de reacciones bioquímicas, perturbación del metabolismo de los microrganismos que intervienen en la producción de nutrientes y demás para el rendimiento de la vegetación.

De acuerdo a los resultados, los principales procesos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por pesticidas, se constituye en la ruta más importante para la mitigación de las diferentes alteraciones, que se han identificado sobre este recurso y que pueden aumentar si no se implementa un debido proceso, por otro lado se destaca la efectividad, fácil manejo y bajo costo de las técnicas de fitorecuperación con especies vegetales, compostaje con el uso de residuos vegetales y animales, estos procedimientos buscan en común la recuperación de suelos contaminados con pesticidas.

6. RECOMENDACIONES.

Se recomienda conocer la composición química del pesticida que se quiere aplicar, para la minimización o erradicación de los vectores ya sean agrícolas o sanitarios. Con el objetivo de identificar los impactos que este puede ocasionar sobre el suelo y el medio ambiente y así poder evitarlos.

Una vez se presenten afectaciones sobre el suelo por el uso de pesticidas, debido al desarrollo de cualquier actividad o proceso, se recomienda realizar un análisis fisicoquímico en el mismo, para identificar cuales propiedades del suelo han sido alteradas e implementar algún proceso de biorremediación.

Se recomienda interrumpir la aplicación de un pesticida sobre el suelo, una vez se observen cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de mismo, pues debido a su interrelación con los demás recursos naturales, alterará el sistema ecológico de un lugar determinado.

Es importante identificar el mejor proceso de biorremediación que se implemente sobre un suelo contaminado con pesticidas, para evitar una mayor afectación ambiental sobre el mismo.

7. BIBLIOGRAFIA

Abrego, F. (2012). Calidad ambiental de suelos. Determinación de la capacidad de intercambio Catiónico. Cátedra de Agroecológica. Ciencia y educación para el desarrollo regional. Universidad Nacional - Noroeste Buenos Aires. p. 1-25.

Albarracín, L. (2007). Hiperacumulación de metales en diferentes especies de plantas. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado. Ingeniera química. p. 29-58.

Alexander, M. (1994). Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, San Diego.

Alvear R. L. (2006). Actividad agraria y sistema nacional de áreas naturales protegidas. Revista de Derecho Agrario, 9:45-50.

Andrades, M; Moliner, A; Masaguer A. (2015). Prácticas de edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de la Rioja. Servicio de publicaciones. p.43-46.

Amaya, F; Larrota, L; Marín, J. (2014). Biología del suelo. Propiedades del Suelo: Físicas, Químicas y Biológicas. Recuperado de [<http://biologiadelsuelo.blogspot.com.co/2014/08/caracteristicas-biologicas-del-suelo.html>]

Aparício, V; De Gerônimo, E; Hernandez, K; Perez, D; Portocarrero, R; Vidal, C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Balcarce, Buenos Aires; Santa Fe. Ediciones INTA. Primera edición.

Arroyave, S & Restrepo, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo con pesticidas: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. - Universidad de Medellín. p.39.

Becerril, J; Barrutia Sarasua, O; García, J; Hernández, A; Olano, J; Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas. 16. Segunda edición. p. 50–55.

Bedmar, F. (2013). ¿Qué son los plaguicidas?. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. Recuperado de [<https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>]

Bedoya, C. (2010). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz

sobre los microorganismos del suelo.

Bellet, A. (2013). ¿Aumentan el uso de pesticidas los cultivos transgénicos?. Recuperado de [<http://www.chilebio.cl/2016/03/11/aumentan-el-uso-de-pesticidas-los-cultivos-transgenicos/>]

Bernad, I; García, J; Dorado; M Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía, comunidad de Madrid. p. 39-42, p.25-31; 47-49; 51-52.

Betancur, B. (2013). Biorremediación de suelo contaminado con el pesticida 1,1,1-TRICLORO-2,2'BIS(P-CLOROFENIL)ETANO (DDT) mediante protocolos de bioestimulación y adición de surfactante. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias.

Cámara de sanidad agropecuaria y fertilizantes. (2009). Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina, Buenos Aires.

Castellanos, J. (2014). Suelos y medio ambiente. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. p.13.

Capri, E. (2001). Imidacloprid and pyrimethanil soil sorption. *Agronomie* 21. p. 57-64.

Christodoulatos, C., and Koutsospyros, A. (1998). Bioslurry reactors. In: Lewandowski, G. A., and DeFilippi, L. J., (Eds.), *Biological Treatment of Hazardous Wastes*. John Wiley and Sons, Inc. New York. p.. 69-101.

Clemente, R; Walker, D. J; Bernal, M. P. (2005). Uptake of heavy metals and As by *Brassica juncea* grown in a contaminated soil in Aznalcóllar (Spain): the effect of soil amendments. *Environmental Pollution*, 138. p. 46-58.

Conesa, V. (1993). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Segunda edición, 1993. Editorial MUNDI-PRENSA. Madrid, España. p. 39.

Cremlyn, R. (1990). Plaguicidas Modernos y su Acción Bioquímica. México Df: Limusa.

Delgadilo, O; Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo. Cochabamba, Bolivia. Recuperado de [<http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp>]

content/uploads/2017/05/2016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf]

Dellavedova, M.G. (2010). Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Arquitectura y Turismo.p. 13-17

Diez L. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Tesis doctoral, p. 6-19.

Di toro, S; Zanaroli, G; FAVA, F. (2006). Intensification of the aerobic bioremediation of an actual site soil historically contaminated by polychlorinated biphenyls (PCBs) through bioaugmentation with a non acclimated, complex source of microorganisms. Microbial cell factories. p. 5,11.

Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción, (2011). Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil.

Fernando, T; Aust, S. D; Bumpus, J. A. (1989). Effects of culture parameters on DDT biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. Chemosphere. 19(8/9):1387–1398.

Fogarty, A. M. & Tuovinen, O. H. (1991). Microbial degradation of pesticides in yard waste composting. Microbiological Reviews, 55: p 225-233.

Flores, L; Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 32-35.

Forero, J.R. (2009). Extracción de plaguicidas en el suelo empleando dióxido de carbono supercrítico. Rev. Colomb. química., volumen 38, número 3, p. 425-434, 2009. ISSN electrónico 2357-3791. ISSN impreso 0120-2804.

García, A. (2015). Manejo de suelos con acumulación de sales. Universidad Nacional, Sede Palmira – Colombia. p. 5-8.

García, C & Rodríguez, G.D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Ra Ximhai, vol. 8, núm. 3b. Universidad Autónoma Indígena de México. P.1, 7.

Guardino, X. (2005). Pesticidas. Definición, clasificación uso y toxicidad. p.78. Recuperado de [https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/en/catalogo_imagenes/grupo.c md?path=1010123]

Gutiérrez, H. M; Barba, L; Materón, H. (2007). Movilidad de los plaguicidas carbofuran e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept. Estudio Docentes Universidad del Valle. p.161-166.

González, C. (2009). Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua. Servicio de extensión agrícola. Recinto Universitario de Mayagüez. Universidad de Puerto Rico. p.1.

Howell, C.C; Hilton, S; Semple, K.T; Bending, G.D. (2014). Resistance and resilience responses of a range of soil eukaryote and bacterial taxa to fungicide application. Chemosphere. p. 112, 194-202.

Internacional Programme of Chemical Safety. (2008). The WHO recommended classification of pesticidas by hazard and guidelines to classification. Geneva: IPCS. WHO/IPCS/90. Recuperado de [http://www.rap-al.org/index.php?seccion=4&f=clasificacion_plaguicidas.php]

Jacobsen, C.S; Hjelmso, M.H. (2014). Agricultural soils, pesticides and microbial diversity. Curr. Opin. Biotechnol. 27, 15-20.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Medellín. p. 11, 19, 45, 65,71.

Jiménez, J. A; de Justo Alpañes, J. L. (2009). Geotecnia y Cimientos I. Segunda edición. Madrid, España. p. 28-31.

Khan, F. I, Husain, T., and Hejazi, R. (2004). An overview and analysis of site remediation technologies. Journal of Environmental Management, 71: p. 95–122.

La Patria Periódico de Circulación Nacional. (2010). Ecológico, Kiswara. Recuperado de: [http://lapatriaenlinea.com/?nota=51256]

López, C. (1993). Exposición a plaguicidas organofosforados. Perspectivas en Salud Pública No 18. México: Instituto Nacional de Salud Pública.

Lumelli, M. (2009). La UAM y el agua. Fitorremediación. Recuperado de [http://comunicacion-aguas-residuales.blogspot.com/2010/04/fitoremediacion.html]

Maders, G; Da silva, W. (2010). La Contaminación del suelo por Agro Tóxicos. Recuperado de [https://bibliotecabop40misiones.files.wordpress.com/2011/11/contaminacion-del-suelo-por-agro-toxico.pdf]

Marín, J. (2012). Aguas Subsuperficiales y Subterráneas, unidad 4. p.5.

Martínez, K. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por pesticidas. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas Ingeniería Química. Medellín. p .29.

Megharaj, M; Kantachote, D; Singleton, I; Naidu, R. (2000). Effects of long-term contamination of DDT on soil microflora with special reference to soil algae and algal transformation of DDT. Environmental Pollution. p. 35–42.

Mihopoulos, P. G., Cuidan, M. T., and Sayles, G. D. (2001). Complete remediation of PCE contaminated unsaturated soil by sequential anaerobic-aerobic bioventing. Water Science and Technology, 43 (5):p. 365-372.

Moreno, H.R; Gisbert, J.M; Ibáñez, S. (2010). La estructura de un suelo. Departamento de producción vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. p.2-9.

Moses, M. (1993). Pesticides. En: Paul M, editor. Occupational and environmental reproductive hazards: a guide for clinicians. Baltimore: Williams & Wilkins. p. 296-305

Muñoz, Leoz. B; Garbisu, C; Charcosset, J.Y; Sánchez, Pérez. J; Atigüedad, I; Ruiz, Romera. E. (2013). Non-target effects of three formulated pesticides on microbially mediated processes in a clay-loam soil. Sci. Total Environ. p.449, 345-354.

Navarro, S; Navarro, G. (2003). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Editorial: Mundi-Prensa. p.488.

Ortega, L. (2013). El suelo, edafología. CTMA. T11-El suelo. Curso 2012-13. IES Santiago Grisolia. p. 1.

Ortiz, C; Gutiérrez, C; Gutiérrez, E. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima segunda Edición. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 56230. p 47-339.

Organización Mundial de la Salud (OMS); Organización Panamericana de la Salud (OPS). (1993). División Salud y Ambiente. Plaguicidas y salud en las Américas, Washington: OMS/OPS.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Prevención y eliminación de Plaguicidas Obsoletos. (2013). Roma, Italia: FAO. Recuperado de [<http://www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/why-problem/pesticide-bans/es>]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2018). Recuperado de [<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>]

Österreicher-Cunha, P., do Amaral Vargas, Jr, E., Davée, J. R., Pereira de Campos, T. M., Ferreira Nunes, C.M., Costa, A., dos Santos Antunes, F., Pais da Silva, M. I., and Mano, D. M. (2004). Evaluation of bioventing on a gasolina-ethanol contaminated undisturbed residual soil. *Journal of Hazardous Materials*, 110 (1-3): p. 63-76.

Paoletti, M. G. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1-3): 137-155.

Pinto, S. (2007). Metodologías para la valoración de impactos ambientales. División del medio ambiente, INERCO.p.3.

Prieto, V. (2011). Los plaguicidas. Su comportamiento en el ambiente. Material docente sobre contaminantes químicos ambientales. En: Diplomado de Toxicología ambiental, Microbiología y Química Sanitaria. La Habana: INHEM.

Quintero, J. (2005). Degradación de Plaguicidas Mediante Hongos de la Pudrición Blanca de la Madera. P. 5868. Recuperado de [<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a12v64n01.pdf>]

RAAG. (2000). Evaluation of Risk Based Corrective Action Model. Remediation Alternative Assessment Group. Memorial University of Newfoundland, St John's, NF, Canada.

Ramírez, J. A. & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. p.68.

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. Documento informativo. La Lista de Listas tercera edición,

Uruguay: RAPAL. Recuperado de [http://www.rapaluruguay.org/agrotoxicos/Prensa/La_lista_de_listas.pdf]

Red de acción en plaguicidas y sus alternativas en América latina. (2007). Cuba reduce el uso de plaguicidas químicos en 50 %. Santiago de Chile: RAPAL. Recuperado de [http://www.rap-al.org/index.php?seccion=8&f=news_view.php&id=207]

Rubio, J. (2012). Propiedades químicas del suelo. Elementos químicos del suelo. p.9.

Román, P; Martínez, M; Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. p. 23-43.

Rucks, L; García, F; A, Kaplán; Ponce de León, J; Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, departamento de suelos y aguas. Montevideo –Uruguay. P.1.

Sánchez, M. & Sánchez, C. (2012). Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Quinta edición. p. 23-36. Recuperado de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf]

Sánchez, M. & Sánchez, C. (1984). Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Instituto de recursos naturales y agro-biología. Primera edición. p. 27-29.

Silva, S. & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. Semestre económico, volumen 12, N° 23. p.13-34 – ISSN 0120-6346- Enero- junio de 2009. Medellín, Colombia.

Suarez, S. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el medio ambiente y la salud. Revista cubana de higiene y epidemiología. Vol. 52 n° 3, Ciudad de la Habana sept – Dic. 2014.p 7-11.

Toro, F.A (2010). Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos. Inventum N° 9. Facultad de Ingeniería UNIMINUTO- Diciembre de 2010 – ISSN 1909 -2520. p 12.

USEPA. (1996). Composting. Engineering Bulletin, EPA/540/5-96/502.

US. Department of Agriculture. Soil survey manual. (2007). Washington, D.C. p 593. (USDA. Agricultural Handbook N° 18).

Wenzel, W. W., and Jockwer, F. (1999). Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. *Environmental Pollution*, 104 (1): p.145-155.

Williams, R. T., Ziegenfuss, P. S., and Sisk, W. E. (1992). Composting of explosives and propellant contaminated soils under thermophilic and mesophilic conditions. *Journal of Industrial Microbiology*, 9: p 137-144.