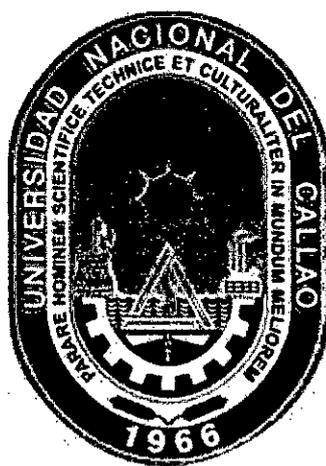




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO SEP 2019

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA**



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**“REDUCCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS
PERSISTENTES MEDIANTE EL USO DE BIOSÓLIDOS EN
LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE CARABAYLLO-LIMA”**

AUTOR: CARMEN GILDA AVELINO CARHUARICRA

Callao, 2019

PERÚ

ÍNDICE

| | Página |
|---|---------------|
| ÍNDICE TABLAS DE CONTENIDO | 1 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 5 |
| RESUMEN | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| | |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática | 9 |
| 1.2 Formulación del problema (problema general y específicos) | 10 |
| 1.3 Objetivos (general y específicos) | 10 |
| 1.4 Limitantes de la investigación(teórico, temporal, especial) | 10 |
| | |
| II. MARCO TEÓRICO | 12 |
| 2.1 Antecedentes | 12 |
| 2.2 Bases teóricas | 16 |
| 2.2.1 Dinámica ambiental y transporte atmosférico de COPs | 16 |
| 2.2.2 Mecanismos de transporte de los COPs en el medio | 17 |
| 2.2.3 Dinámica atmosférica de los COPs | 19 |
| 2.2.4 Índice de concentración de COPs en biosólidos | 20 |
| 2.3 Conceptual | 21 |
| 2.3.1 Compuestos orgánicos persistentes | 22 |
| 2.3.2 Distribución global de Contaminantes orgánicos | 26 |
| 2.3.3 Convenio de Estocolmo | 27 |
| 2.3.4 Establecimiento de la red para eliminar PCB | 29 |
| 2.3.5 Biosólidos | 29 |
| 2.3.6 Suelos | 32 |



| | |
|---|-----------|
| 2.3.7 Factores del suelo que afectan la acumulación de COPs. | 35 |
| 2.4 Definición de términos básicos | 36 |
| III. HIPÓTESIS Y VARIABLES | 38 |
| 3.1 Hipótesis | 38 |
| 3.1.1 Hipótesis General | 38 |
| 3.1.2 Hipótesis específico | 38 |
| 3.2 Definición conceptual de variables | 28 |
| 3.2.1 Variable dependiente | 28 |
| 3.2.2 Variables independientes | 39 |
| 3.2.3 Operacionalización de variable | 39 |
| IV. DISEÑO METODOLÓGICO | 40 |
| 4.1 Tipo y diseño de la investigación | 40 |
| 4.2 Método de investigación | 40 |
| 4.3 Población y muestra | 40 |
| 4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado | 41 |
| 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información | 42 |
| 4.6 Análisis y procedimiento de datos | 57 |
| V. RESULTADOS | 58 |
| 5.1 Análisis fisicoquímicos del suelo | 58 |
| 5.2 Análisis fisicoquímicos del biosólido | 61 |
| 5.3 Técnicas estadísticas para análisis de datos | 66 |
| VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 68 |
| 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados | 68 |
| 6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares | 69 |
| 6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes | 70 |
| CONCLUSIONES | 71 |
| RECOMENDACIONES | 73 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |

| | |
|--|----|
| ANEXOS | 81 |
| Matriz de Consistencia | 82 |
| Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA) | 83 |
| Gráfico de normalidad de COPs y de los parámetros fisicoquímicos | 84 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Lista de los 12 compuestos orgánicos persistentes | 28 |
| Tabla 2 | Operacionalización de variables | 39 |
| Tabla 3 | Contenido de materia orgánica | 44 |
| Tabla 4 | Clasificación de materia orgánica | 45 |
| Tabla 5 | Clasificación de pH | 46 |
| Tabla 6 | Conductividad eléctrica en suelos | 47 |
| Tabla 7 | Clasificación de fósforo extractable Bray-1 | 50 |
| Tabla 8 | Características fisicoquímicas del suelo | 58 |
| Tabla 9 | Concentración de los compuestos orgánicos persistentes | 59 |
| Tabla 10 | Concentración de metales en los biosólidos | 60 |
| Tabla 11 | Características físicas de los biosólidos | 60 |
| Tabla 12 | Análisis fisicoquímicas con aplicación de los biosólidos | 61 |
| Tabla 13 | Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos después de 65 días. | 62 |
| Tabla 14 | Concentración de compuestos orgánicos persistentes | 63 |
| Tabla 15 | Índice de concentración de los biosólidos | 64 |
| Tabla 16 | Estadística descriptivos de los COPs | 65 |
| Tabla 17 | Estadística descriptivos de los parámetros fisicoquímicos | 65 |
| Tabla 18 | Correlación de Pearson análisis estadísticos de FQs | 66 |
| Tabla 19 | Correlación de Pearson análisis estadísticos de COPs. | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Procesos de distribución de COPs | 17 |
| Figura 2 | Mecanismos generales de transporte de contaminantes | 18 |
| Figura 3 | Dinámica atmosférica de los COPs | 19 |
| Figura 4 | Degradación de plaguicidas | 20 |
| Figura 5 | Estructura básica de los PCBs | 23 |
| Figura 6 | Isómeros en las mezclas técnicas de HexaclorocicloH. | 25 |
| Figura 7 | Estructura química de endosulfan | 26 |
| Figura 8 | Tipo de muestreo Zigzag | 41 |
| Figura 9 | Lugar de estudio | 42 |
| Figura 10 | Etapas A : disposición superficial del biosólido mezclado | 55 |
| Figura 11 | Etapas B: mezclado en las proporciones 20,40,60, 80. | 56 |
| Figura 12 | Etapas C: suelos con biosólidos después de 65 días. | 57 |
| Figura 13 | Características fisicoquímicas iniciales del suelo | 58 |
| Figura 14 | Concentración de COPs (mg/kg) | 59 |
| Figura 15 | Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos | 61 |
| Figura 16 | Análisis fisicoquímicos de los biosólidos después de 65 días | 62 |
| Figura 17 | Concentración de COPs en suelos | 63 |
| Figura 18 | Índice de concentración de los biosólidos | 64 |

RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado con el propósito de reducir los compuestos orgánicos persistentes mediante el uso de biosólidos en los suelos agrícolas de Carabaylo - Lima.

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos en el suelo, el pH, conductividad eléctrica (CE), porcentaje de materia orgánica, concentraciones de nitratos, fósforo, potasio y nitrógeno. Así como las concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes, aldrin, dieldrin, endosulfan, mirex y lindano.

En los biosólidos se determinaron los sólidos totales, material volátil, retención de humedad, concentración de cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc y la capacidad de adsorción mediante el índice de concentración.

Se contó con seis estaciones tipo zigzag, para la aplicación de biosólidos, con las siguientes proporciones: E1: 100% suelo, E2: 80% suelo-20% biosólido, E3: 60% suelo-40% biosólido, E4: 40% suelo-60% biosólido, E5: 20% suelo-80% biosólido, E6: 100% biosólido, con la finalidad de observar las variaciones fisicoquímicas. Al cabo de 65 días se realizaron los análisis y se observaron un aumento significativo en las concentraciones de los nutrientes en los suelos y una reducción en las concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes a valores de trazas. En los biosólidos se obtuvo un 35.70% de sólidos totales, 9.25% de material volátil, 80% de retención de humedad, concentración de cadmio (0.01 mg/kg), cobre (104 mg/kg), níquel (44.5 mg/kg), plomo (65 mg/kg), zinc (125 mg/kg) y el índice de concentración mayor al 80%, estando los valores dentro de las normas, permite utilizar sin ninguna restricción los biosólidos en los suelos agrícolas para reducir los compuestos orgánicos persistentes.

Palabras clave: compuestos orgánicos persistentes, biosólidos, suelos agrícolas



ABSTRACT

This study has been carried out with the purpose of reducing persistent organic compounds through the use of biosolids in the agricultural soils of Carabaylo - Lima.

It was determined the physicochemical parameters in the soil, pH, electrical conductivity (EC), percentage of organic matter, concentrations of nitrates, phosphorus, potassium and nitrogen. As well as the concentrations of persistent organic compounds, aldrin, dieldrin, endosulfan, mirex and lindane.

In the biosolids, total solids, volatile material, moisture retention, concentration of cadmium, copper, nickel, lead, zinc and adsorption capacity were determined using the concentration index.

For the application of biosolids, there were six zigzag type stations with the following proportions: E1: 100% soil, E2: 80% soil- 20% biosolid, E3: 60% soil-40% biosolid, E4: 40% soil-60%biosolid, E5: 20% soil-80%biosolid, E6: 100% biosolid. In order to observe the physicochemical variations. After 65 days the analyzes were performed and a significant increase in nutrient concentrations was observed in soils and a reduction in the concentrations of persistent organic compounds at trace values. In the biosolids, 35.70% of total solids, 9. 25% of volatile material, 80% of moisture retention, concentration of cadmium (0.01 mg/kg), copper (104 mg/kg), nickel (44.5 mg/kg) were obtained, lead (65 mg/kg), zinc (125 mg/kg) and the concentration index greater than 80%, being the values within the standards, allows the use of biosolids in agricultural soils without restriction for reducing persistent organic compounds

Keywords: persistent organic compounds, biosolids, agricultural soils

7


INTRODUCCIÓN

Actualmente en las actividades agrícolas se siguen utilizando los compuestos orgánicos persistentes lo que está generando suelos con limitaciones en sus propiedades fisicoquímicas por el uso de plaguicidas, insecticidas, y no solamente afecta a los suelos sino también genera impactos negativos a la salud humana y a los sistemas acuáticos. Burgos et al. (2005).

Esta inevitable contaminación es muy preocupante, ya que estos compuestos orgánicos persisten en el tiempo, ante esta problemática han surgido muchas alternativas para mitigar este impacto, siendo uno de ellos, el uso de los biosólidos provenientes del producto final del tratamiento de aguas residuales domésticas, llamado también lodos según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en su código 40 CFR 503.

El uso de estos biosólidos se considera como una buena alternativa por su viabilidad en su aplicación para la reducción de los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas, ya que no genera riesgos ambientales. Y además según, Miralles et al (2003), señalan que los biosólidos debido a que son ricos en nutrientes, tienen bajo contenido de microorganismos patógenos, la presencia permisible de metales pesados, se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, sobretodo presenta la facilidad con la cual se realiza la disposición y los bajos costos para su aplicación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Los compuestos orgánicos persistentes como insecticidas, fungicidas, herbicidas, los policlorobifenilos (PCBs), furanos, dicloro defenil tricloroetano (DDT) y las dioxinas, son compuestos que contienen enlaces carbono-halógeno son muy estables en el ambiente, resistentes a la degradación fotolítica, química y al ser resistentes pueden ser absorbidas por partículas atmosféricas y transportarse a largas distancias y finalmente ser retenidos en el suelo. Además, a muy bajas concentraciones afectan a la salud de los seres humanos, animales y el ambiente, permanecen mucho tiempo en el ambiente, por miles de años, por eso son altamente persistentes, aumentando su concentración a medida que van ingresando en las cadenas alimenticias. Estos compuestos a pesar de su alta toxicidad se siguen utilizando en el sector agrícola, como es en el distrito de Carabayllo que es uno de los principales proveedores de hortalizas y frutas a los mercados de la ciudad de Lima, como el apio, perejil, brócoli, lechuga, col y frutas como, fresa, uvas, plátanos, manzana. En esta zona agrícola por muchos años vienen utilizando estos compuestos orgánicos para combatir ciertas plagas en sus cultivos con desconocimiento sobre los efectos adversos que producen estos compuestos orgánicos persistentes.

Actualmente, en los suelos agrícolas del Distrito de Carabayllo hay presencia de los compuestos orgánicos persistentes, lo que está ocasionando degradación de los nutrientes esenciales de los suelos, ante esta situación el presente Proyecto de investigación, propone el uso de biosólidos que son productos del tratamiento de las aguas residuales domésticas, cuya función es degradar los plaguicidas adsorbidas en los suelos agrícolas, siendo una alternativa viable, económica y así poder mitigar este impacto.



1.2 Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo reducir los compuestos orgánicos persistentes mediante el uso de biosólidos en los suelos agrícolas de Carabaylo - Lima?

Problema Específico

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los biosólidos para lograr reducir los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas?
- b) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas?
- c) ¿Cuál es la capacidad de adsorción de los biosólidos para los compuestos orgánicos persistentes de los suelos agrícolas?

1.3 Objetivos

Objetivo general

Reducir la concentración de los compuestos orgánicos persistentes mediante el uso de biosólidos en los suelos agrícolas de Carabaylo Lima.

Objetivos específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas de los biosólidos para reducir los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas.
- b) Determinar las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas.
- c) Determinar la capacidad de adsorción de los biosólidos para los compuestos orgánicos persistentes de los suelos agrícolas

1.4 Limitantes

El trabajo de Investigación, es viable porque se contó con los ambientes de laboratorios, equipos y reactivos para la realización de la parte experimental

del proyecto, así como presupuesto para la movilidad, por lo que no existe limitantes económicas para su ejecución.

- a) Teórica: Durante el proceso de la investigación se utilizaron las teorías y enfoques sobre los compuestos orgánicos persistentes en los procesos de adsorción y los biosólidos de artículos científicos, revistas especializadas que han ayudado para la parte de experimental.
- b) Temporal: El presente trabajo de investigación es de tipo longitudinal.
- c) Espacial: La unidad de análisis corresponde a la zona agrícola del distrito de Carabaylo- Lima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Como antecedentes para el presente trabajo de investigación son:

Escobar C. et al, 2015, realizaron la **Determinación de hexaclorociclohexano y endosulfan en suelos agrícolas del estado de Chiapas- México**, donde clasifican a los compuestos orgánico persistentes en 2 compuestos tóxicos altamente dañinos para el ser humano y el medio ambiente, siendo los siguientes plaguicidas: El hexaclorociclohexano, específicamente el lindano, el endosulfan, los cuales son compuestos organoclorados prohibidos en otros países, pero que se siguen utilizando en México. Estos compuestos presentan características físico-químicas que les permiten ser retenidos en la superficie del suelo, lo cual se denomina adsorción, lo que les proporcionan una permanencia en diferentes matrices ambientales. La exposición de las plaguicidas organoclorados podría ocasionar afectaciones a la salud, presencia de cáncer entre otros. Las comunidades rurales son ejemplo de esta situación, ya que en ellas el uso de estas sustancias es cotidiano en el desarrollo agrícola.

Luego dieron a conocer los niveles de lindano y endosulfan presentes en suelos del Distrito de Riego No. 101, Cuxtepeques, Chiapas con la finalidad de evaluar la magnitud de la exposición de las poblaciones que habitan estas zonas. La determinación de HCH y endosulfan se realizó en suelo agrícola, mediante Cromatografía de Gases acoplado a un detector de captura de electrones. Los resultados obtenidos en los suelos mostraron, niveles de estos contaminantes en un rango de 159. 357 ppm para el lindano y 133.79 ppm para endosulfan. Estos resultados son mayores que los reportados para otras regiones agrícolas en la república mexicana, por lo que el conocimiento de esta situación evidencia el riesgo potencial de los pobladores de las zonas de estudio.

García C. et al, 2015, realizaron trabajos orientados a los **Compuestos orgánicos persistentes: cuantificación y diagnóstico para pesticidas organoclorados**, siendo el objetivo de dar cumplimiento de los compromisos con el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, realizaron la identificación y cuantificación de los plaguicidas organoclorados existentes en Colombia, con el fin de actualizar y consolidar la información sobre sitios de almacenamiento y suelos contaminados. Utilizaron la metodología propuesta por el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, que cubrió las siguientes etapas; consulta de información disponible en inventarios, revisión de actividades relacionadas con las etapas del ciclo de vida, ubicación de bodegas y sitios de destrucción o enterramientos, se encontró 159 812Kg de DDT almacenado y se estimó que existen 88 629 m³ de suelo contaminado por plaguicidas. También identificaron un amplio registro de las cantidades de pesticidas utilizadas y de sitios contaminados, no solo en el país, sino en el inventario de otros países de la región, donde la mayor parte de estos residuos y suelos contaminados se ubican en áreas de producción agrícola.

Rojas R. 2013, llevó a cabo una investigación en la Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental sobre el **Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en medio subterránea mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos**, siendo su objetivo, desarrollar métodos para evaluar la capacidad de los residuos orgánicos para adsorber a los plaguicidas que se han venido utilizando en la agricultura; para ello realizaron las siguientes actividades como la toma de muestra, caracterización de suelos, estudios de adsorción y de desorción de plaguicidas.

Los estudios de adsorción se realizaron en sistemas cerrados, colocando en contacto soluciones acuosas de plaguicidas con el suelo, con los residuos y con el suelo enmendado con residuos. A partir de estos estudios, se determinó la cantidad óptima de residuo orgánico que utilizaron para determinar el tiempo de equilibrio, realizaron estudios cinéticos y los resultados se ajustaron a diversos modelos de isotermas de adsorción.

Luego como un segundo objetivo fue determinar que tan eficaz son los residuos orgánicos al adicionar al suelo para reducir los plaguicidas en las aguas subterráneas, para ello se calcularon las constantes de adsorción donde se indica que la adición de residuos orgánicos al suelo aumenta la capacidad de adsorción de los plaguicidas, siendo la cinética de adsorción de los plaguicidas de segundo orden. La composición de los adsorbentes juega un papel importante en los procesos de adsorción – desorción y lixiviación, especialmente en el carbono orgánico y en el potasio, así como en el pH que disminuye debido a la adición de residuos orgánicos.

Los residuos de las desmontadoras del algodón, estiércol de pollo son enmiendas orgánicas con la que se obtiene la retención de todos los tipos de plaguicidas. También las cascarillas de arroz y los restos de las desmontadoras de algodón son buenos adsorbentes para plaguicidas hidrófilos, mientras que el compost de residuos sólidos urbanos y el estiércol de pollo se recomienda para plaguicidas hidrófobos.

Betancur B. et al, 2013, en su investigación sobre **Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT**, realizado en la Universidad Nacional de Colombia, sostiene que el 1,1,1-tricloro-2,2bis(p-clorofenil) etano (DDT), se ha usado desde la segunda guerra mundial para controlar enfermedades transmitidas por insectos en humanos y animales domésticos. Debido a su persistencia y toxicidad se ha prohibido en muchos países. Con el uso de microorganismos para degradar los compuestos orgánicos presentes en el ambiente, transformándolos en compuestos más simples de menor peligrosidad, hasta inclusive inocuos. Esta técnica de presenta económicamente rentable y la ventaja es que se puede llevarse a cabo en situ de esta manera eliminando contaminantes que podrían estar en el agua, en el suelo. En el suelo los compuestos organoclorados, los PCBs y el DDT, pueden ser biodegradados por bacterias aerobias que metabolizan el contaminante. Los contaminantes podrían estar biodisponible en los suelos cuando se agrega agentes movilizadores llamado surfactantes.

La adición de nitrógeno y fósforo al suelo contaminado con compuestos orgánicos, estimula la biodegradación de estos compuestos y se incrementa los microorganismos en el suelo. La cantidad que se necesita de nitrógeno y fósforo para la biodegradación, debe considerarse a medida que los microorganismos utilizan la fuente de carbono contaminante para crecimiento. Existen estudios en donde se señalan que existen bacterias nativas o aisladas de otras fuentes, para degradar el DDT.

En los últimos diez años se ha aumentado el número de investigaciones realizadas sobre biorremediación de suelos y sedimentos contaminados con DDT, todas ellas referidas a la estimulación de microorganismos nativos con sistemas de oxidación, micro extracción en fase sólida para aumentar la biodisponibilidad y aplicación de enzimas ligninolíticas de hongos. Esto orientado a la mineralización de los contaminantes produciendo un compuesto no tóxico como el dióxido de carbono (CO₂).

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, (2003), elaboraron un informe sobre la **Contaminación de suelos por compuestos orgánicos**, con las Universidades de Sevilla, Granada y Huelva, siendo el objetivo principal de comprobar que la fotólisis como un fenómeno de superficie evitará que los compuestos orgánicos se incorporen a la masa del suelo., bajo ciertos factores como la volatilidad de los compuestos orgánicos, solubilidad, estructura orgánica y la capacidad de adsorción, así como la concentración, las propiedades del suelo como la humedad, porosidad, y contenido de materia orgánica y también consideraron las condiciones ambientales como la temperatura, humedad, y velocidad del viento. Concluyendo que la volatilización de los compuestos orgánicos es la evaporación siendo un cambio del estado sólido o líquido a vapor, dispersándose en la atmósfera y así son asimilados por las raíces de la planta. Los compuestos orgánicos que están sometidos a la acción de muchos enzimas interaccionando con los tejidos vivos.

Cuando los compuestos orgánicos son absorbidos por la planta, se producen varias reacciones que provocan su transformación. Así como por ejemplo algunos herbicidas pueden transformarse o metabolizarse mediante reacciones de óxido reducción, hidrólisis, dehalogenación alterando la estructura de los plaguicidas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Dinámica ambiental y transporte atmosférico de COPs

Arellano, D. 2011, señala que el destino final de los contaminantes depende básicamente de las condiciones ambientales y de las propiedades de los compuestos, siendo éstas, que determinan su capacidad de transporte y su acumulación en un compartimento ambiental y los procesos de intercambio de dicho compuesto entre las diferentes fases del medio ambiente (agua, aire, suelo, organismos).

En la figura siguiente, se muestran los principales procesos que puede sufrir un contaminante orgánico en el medio ambiente y que representa un intercambio permanente entre los distintos compartimentos como aguas continentales u oceánicas, nieve y hielo, suelos, vegetación, biota. Una vez en estos compartimentos los contaminantes podrían quedar atrapados en ellos, revolatilizarse, ser degradados o metabolizados, o sufrir distintos intercambios dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y las del medio en el que están.

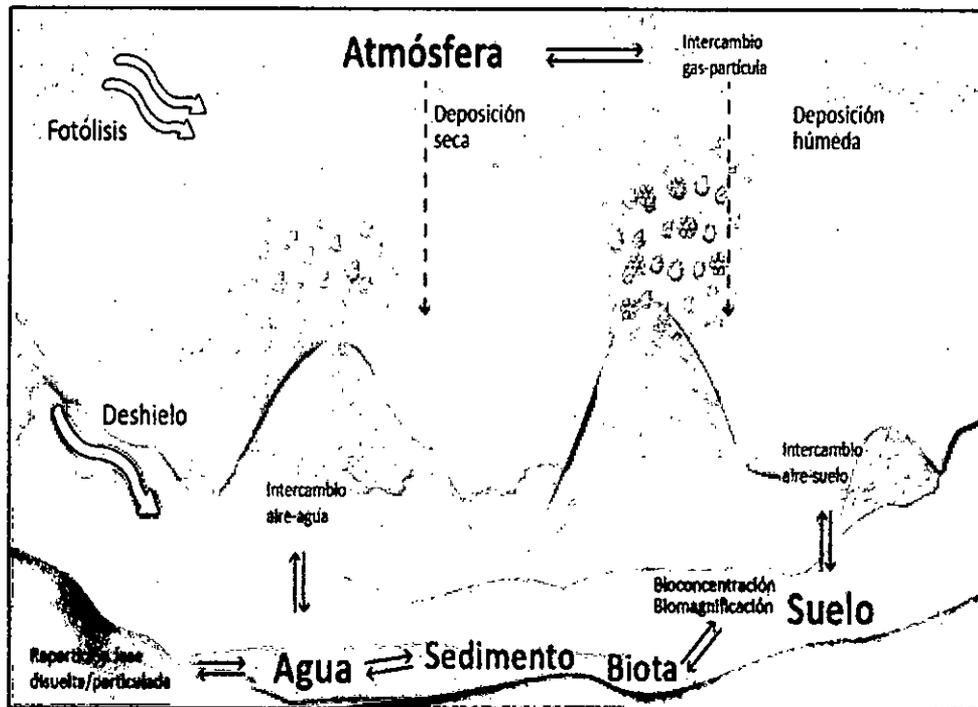


Figura 1: Procesos de distribución de los compuestos orgánicos persistentes. Ilustración realizada por Ed Montells, referenciado por Arellano Da Silva, 2011.

2.2.2 Mecanismos de transporte de los COPs en el medio ambiente.

Macdonal et al, 2003, afirman que las vías de transporte y las distancias recorridas por los distintos compuestos dependen de sus propiedades fisicoquímicas, así como de la localización de los focos de emisión, en el caso de compuestos hidrofóbicos y semivolátiles como los COPs, la atmósfera es el vector principal de su distribución a nivel global, dependiendo de la temperatura del ambiente, estos compuestos se encuentran en la fase gas del aire lo que les permite recorrer largas distancias, mientras que las sustancias con baja volatilidad poseen una capacidad de transporte más limitada al estar adsorbida a las partículas atmosféricas que tienden a depositarse en zonas cercanas a los puntos.

En la figura 2, se indican los principales mecanismos de transporte de contaminantes en el medio ambiente.

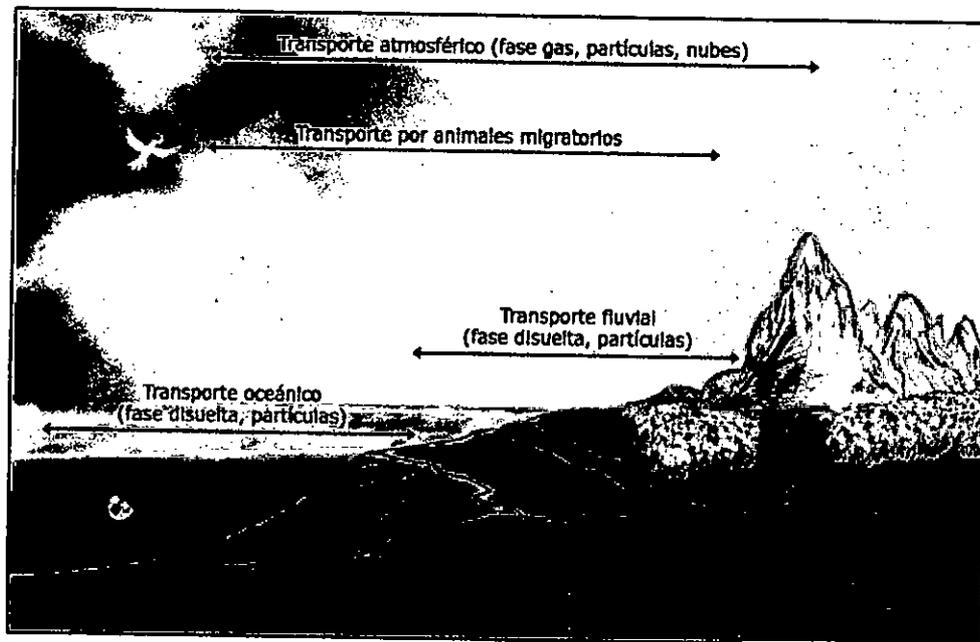


Figura 2: Mecanismos generales de transporte de contaminantes
 Ilustración realizada por Ed Montells, referenciado por Arellano Da
 Silva, 2011.

Wania y Mackay, 1993, señalan que las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes y la temperatura determinan su capacidad de transporte y el destino final en el medio ambiente. Este efecto de temperatura sobre las propiedades fisicoquímicas de los compuestos, es la presión de vapor, conocida como efecto de destilación global, también conocido como fraccionamiento global o latitudinal o condensación fría.

Simonich y Hites, 1995, según esta teoría, en la tierra tienen lugar una transferencia neta de contaminantes desde las zonas templadas y tropicales en las que se encuentran los focos de emisión, hacia las zonas frías de latitudes bajas, las elevadas temperaturas favorecen la volatilización de los COPs.

Esta disminución de la temperatura afecta la presión de vapor y la constante de Henry de los COPs, aumentando su tendencia a condensar y acumularse como partículas atmosféricas, suelos, vegetación y ecosistemas acuáticos. Dependiendo de su volatilidad, los COPs se condensan a diferentes temperaturas lo que indica un fraccionamiento de estos compuestos en la Tierra en función de la latitud. Debido

a los cambios estacionales de temperatura, algunos compuestos podrán sufrir procesos de volatilización, condensación (Fernández y Grimalt, 2003).

2.2.3 Dinámica atmosférica de los contaminantes orgánicos persistentes

Según, Fernández y Carrera et al., 2002, señalan que los compuestos orgánicos persistentes pueden tener como procesos fisicoquímicos la deposición húmeda provocados por la precipitación. Debido a ello, dan lugar a la eliminación de los contaminantes en fase gas de la atmósfera, así como también aquellos que están unidos a las partículas. También señalan los autores que, tanto la presión de vapor, constante de la ley de Henry y la solubilidad del agua son propiedades fisicoquímicas importantes en los procesos de deposición húmeda.

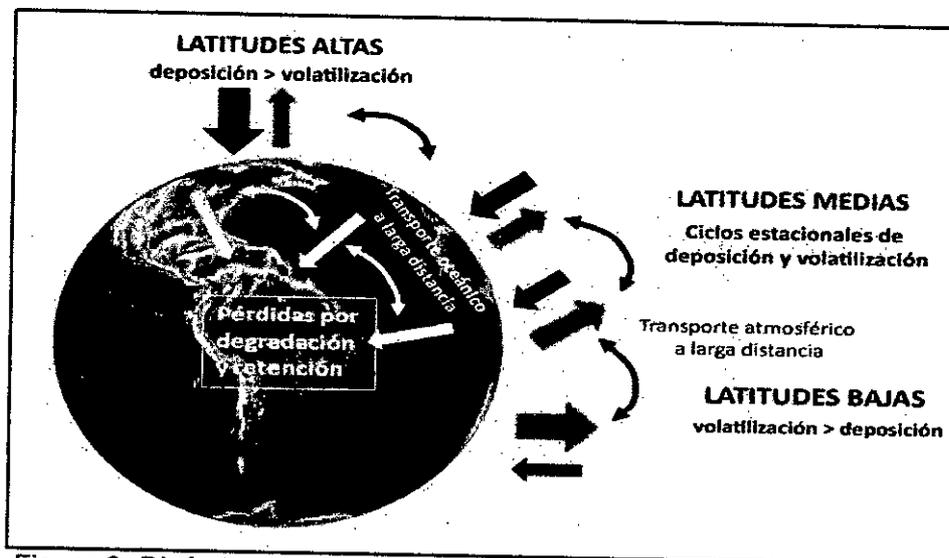


Figura 3: Dinámica atmosférica de los COPs

Fuente: Ilustración realizada por Ed Montells referenciado por Arellano Da Silva, 2011.

2.2.4 Índice de concentración de COPs en los biosólidos

Índice de concentración de biosólidos, se refiere a la acumulación de los compuestos orgánicos persistentes a través del tiempo en los biosólidos. Este índice se obtiene al dividir la concentración del elemento adsorbido por el biosólidos entre la concentración total de los compuestos orgánicos persistentes en el suelo. (Pérez et al., 2008).

El índice de concentración de los biosólidos se sustenta en que la acumulación de los compuestos orgánicos persistentes adsorbidos, es debido a la presencia de grupos químicos que incrementan la afinidad de la molécula por la superficie del biosólido.

Estos biosólidos cuentan con unos mecanismos de tolerancia interna para inmovilizar, compartimentar los compuestos orgánicos persistentes.

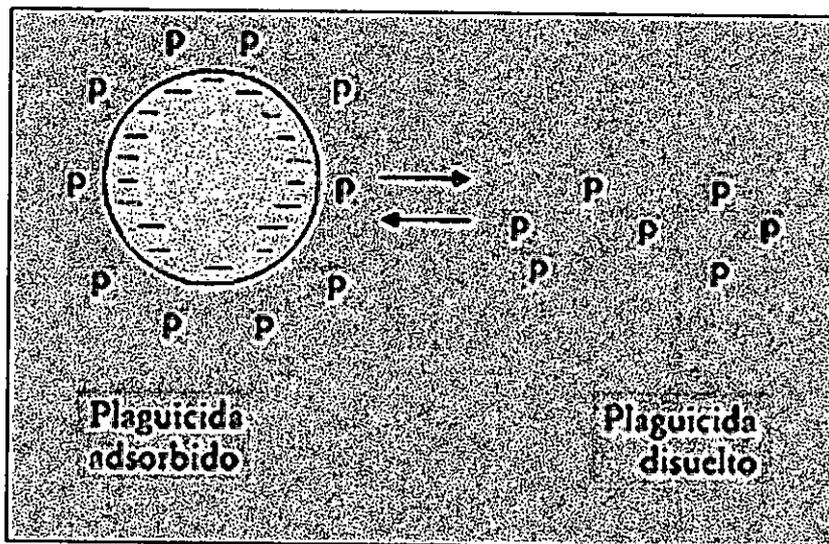


Figura 4: Degradación de plaguicidas
Sánchez Martín y Sánchez Camazano, 1985

2.3 Conceptual

Burgos et al. (2005), señala que a través de la historia se han utilizado una gran cantidad de plaguicidas para el control de plagas que afectan los cultivos y provocan enfermedades.

Cejudo et al. (2012), define los compuestos orgánicos como sustancias que han sido para prevenir, destruir plagas, ya sean insectos, roedores, hongos, macrófitas terrestres o acuáticas, bacterias o virus. Siendo estos compuestos de acuerdo a su composición química: organoclorados, organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos, piretroides, órgano azufrados, dinitrofenoles, compuestos inorgánicos, compuestos de origen botánico, biológicos, organoestánicos.

Castrejón et al. (2014), afirma que los plaguicidas organoclorados (POC) son moléculas cíclicas orgánicas sintéticas derivadas de la sustitución de hidrógenos por átomos de cloro. Según Castilla et al. 2012, Gomes et al. 2013, presentan características lipofílicas con alta persistencia y resistencia a la degradación, con una vida media en humanos cercana a los 10 años. Los POC son considerados precursores de carcinogénesis en roedores, inducen hepatotoxicidad e inmunotoxicidad, además de efectos en el neurocomportamiento. Tienen, la capacidad de acumularse en el tejido adiposo de animales y de biomagnificarse a través de la cadena trófica. En la década de los setenta se estableció a nivel mundial su restricción, principalmente en usos agrícolas y sanitarios, primero en países desarrollados y progresivamente en países en vías de desarrollo.

En el 2001, participaron en el Convenio de Estocolmo aproximadamente 150 países, tratado internacional para el control o eliminación de compuestos orgánicos persistentes (COPs). Se centró la atención en 12 compuestos usados para controlar plagas en semillas, granos, frutas, hortalizas, cultivos de tabaco y algodón.

2.3.1 Compuestos orgánicos persistentes

El interés sobre los posibles efectos de los denominados COPs sobre la salud humana y los ecosistemas ha ido en aumento en las últimas décadas, hasta el punto que se han tomado medidas a nivel internacional con el fin de eliminar o reducir su producción y/o uso a nivel mundial, todo ello ha dado lugar las investigaciones sobre los efectos y destino final de estos contaminantes en el medio ambiente

➤ Policlorobifenilos

Los policlorobifenilos (PCBs) constituyen una familia de 209 congéneres con fórmula empírica $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ donde n varía entre 2 y 10. Estos congéneres difieren significativamente tanto en sus propiedades físicas como ecotoxicológicas en función del grado de cloración y de la posición de los átomos de cloro en la molécula. (Morrison y Boyd, 1998).

Los PCBs fueron sintetizados por primera vez en 1881 por Schmidt y Schultz en Alemania en 1881, su producción a nivel industrial fue por la empresa Monsanto en 1929. Las principales aplicaciones de estos compuestos son, como intercambiadores de calor y fluidos dieléctricos en sistemas eléctricos, como transformadores o estaciones rectificadoras.

Según el Convenio de Estocolmo, señalan que el Policloruro de bifenilo (PCB) está considerado según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como uno de los doce contaminantes más nocivos fabricados por el ser humano. La legislación actual limita el uso de estos compuestos, su fabricación está prohibida desde 1977 en Estados Unidos y desde 1983 en Alemania. Actualmente su uso está prohibido en casi todo el mundo.

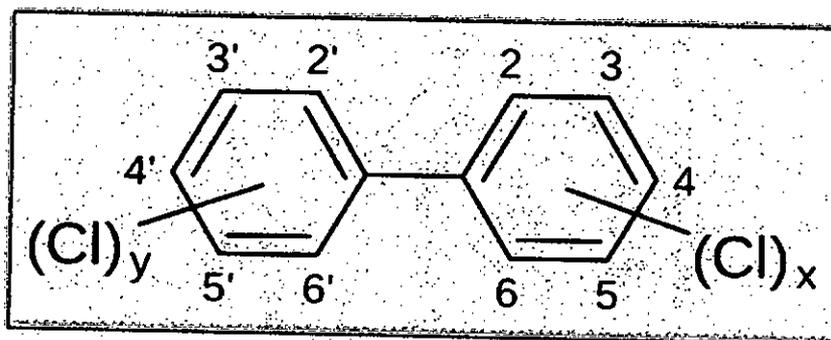


Figura 5: Estructura básica de los PCBs
 Química Orgánica, Morrison y Boyd, 1998.

Jensen et al., 1969, afirman que desde los años 1960 se comenzaron a detectar concentraciones significativas de PCBs en muestras ambientales por lo que fueron prohibidos a finales de los setenta en varios países industrializados como los Estados Unidos, Japón y Reino Unido.

Las propiedades fisicoquímicas de los 209 congéneres posibles de PCBs varían según el grado de cloración y posición de los cloros en el anillo bifenilo. Así, por ejemplo, los compuestos más clorados son también los más persistentes por lo que son los más abundantes en el medio ambiente. La vida media de un monoclorobifenil sometido a fotodegradación es de unos diez días, mientras que en el caso de un heptaclorobifenil se sitúa alrededor de un año y medio.

Una vez en el ambiente, los PCBs pueden permanecer circulando con facilidad entre el aire, el agua y el suelo durante años. Como el resto de propiedades fisicoquímicas, la toxicidad de los PCBs depende de la posición de los átomos de cloro en la molécula que presentan propiedades tóxicas similares a las de las dioxinas y furanos. A pesar de estar prohibidos hace más de 40 años, hoy en día se continúan liberando PCBs al medio ambiente (Torseth et al., 2012).

➤ Hexaclorociclohexanos

Los hexaclorociclohexanos (HCHs) constituyen una familia de estereoisómeros del 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano con fórmula empírica $C_6H_6Cl_6$, ampliamente utilizados en la agricultura por sus propiedades insecticidas. El HCH fue sintetizado por primera vez en 1825 por Michael Faraday. Los 8 estereoisómeros de HCHs se diferencian en la posición axial o ecuatorial de la sustitución del cloro en el anillo de hexano. Una vez prohibida la mezcla técnica, fue reemplazada por lindano, constituido fundamentalmente por el isómero- γ ($\geq 99\%$), que es el único que posee las propiedades insecticidas (Jantunen et al., 2008).

Hasta los años 1980 la mezcla técnica de HCH fue utilizada a nivel mundial para fines sanitarios y en la agricultura. Entre 1948 y 1997, se usaron unos 10 millones de toneladas de la formulación técnica de HCH, principalmente en China, India, Francia, Japón, Estados Unidos, Alemania, España y México (Li y Macdonald, 2005).

La mezcla técnica de HCH fue reemplazada por el lindano en Canadá, USA y Europa durante los últimos años de la década de los 70 y los primeros años de los 80. El lindano se utilizó durante la década de los 90 en todo el mundo. Sin embargo, a partir de 1998 el uso de lindano en Europa comenzó a disminuir como consecuencia de la publicación de diversos estudios en los que se ponía de manifiesto su persistencia y toxicidad crónica, relacionándolo con efectos carcinogénicos y de disrupción endócrina. Los países europeos y Canadá fueron los principales emisores de lindano a nivel mundial. En la actualidad, el uso del lindano es prácticamente nulo en Canadá y la mayoría de los países europeos en Francia fue prohibido en 1998, mientras que en Alemania en el 2004).

Los HCHs fueron incluidos en la lista de COPs del Convenio de Estocolmo en mayo de 2009, prohibiéndose su producción y uso aunque con una excepción específica para el uso farmacéutico del lindano en un tratamiento de segunda línea en humanos.

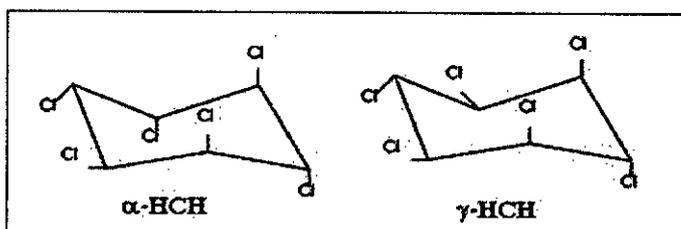


Figura 6: Isómeros en las mezclas técnicas de hexaclorociclohexanos.
Química Orgánica, Morrison y Boyd, 1998

➤ Endosulfanos

Morrison y Boyd, 1998, definen el endosulfan es un insecticida organoclorados de amplio espectro utilizado ampliamente a nivel mundial. Debido a los riesgos que implica para la salud humana y el medio ambiente, en mayo del 2011 fue incluido en la lista de compuestos químicos prohibidos por el Convenio de Estocolmo (con entrada en vigor a mediados del 2012, con algunas excepciones vigentes durante cinco años más (UNEP). Más de 80 países incluyendo la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Brasil y Canadá lo han prohibido o lo comenzaron a eliminar gradualmente cuando el Convenio acordó prohibirlo. En India y China aún se continúa utilizando.

Según, Li y Macdonald, 2005, señalan que el endosulfan se comercializó en los años 1950 por Farbwerke Hoechst como un insecticida de amplio espectro utilizado en granos, té, fruta, verduras, tabaco, algodón y madera. Desde 1950 hasta el año 2000 se utilizaron a nivel mundial unas 308.000 toneladas de endosulfan en la agricultura.

La mezcla técnica contiene dos isómeros principales (>95%), α -endosulfan (o endosulfan I) y β -endosulfan (endosulfan II) en relaciones que varían desde 2 hasta 2.3 dependiendo del producto técnico. Ambos productos se degradan en el medio dando lugar al endosulfan sulfato. El isómero α es menos estable que el β , por lo que la proporción entre ambos isómeros y el metabolito endosulfan sulfato da una idea aproximada del tiempo transcurrido desde la aplicación del plaguicida. Las

presiones de vapor de los dos isómeros son similares, mientras que la del metabolito es unas cuatro veces más pequeña (Weber et al., 2010).

Los endosulfanos pertenecen a la categoría II de la OMS (moderadamente peligroso), pero la EPA lo incluye en la categoría Ib (muy peligroso). Es neurotóxico para insectos y mamíferos, incluidos humanos.

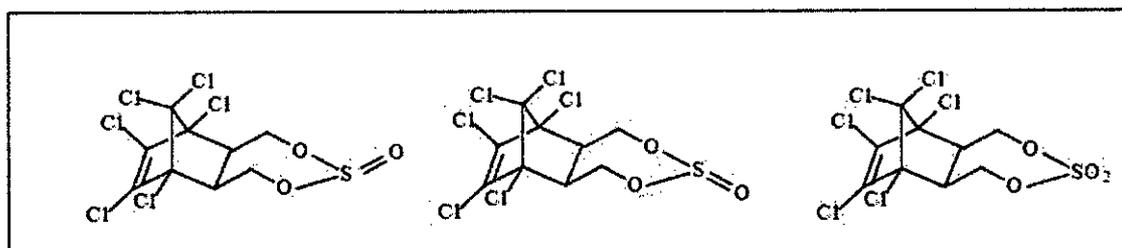


Figura 7: Estructura química del α -endosulfan, β -endosulfan y endosulfan sulfato
Química Orgánica, Morrison y Boyd, 1998.

2.3.2 Distribución global de Contaminantes orgánicos persistentes

Aggelides S. y Londra P. 2000, señalan que las propiedades fisicoquímicas específicas de los COPs han dado lugar a su distribución global en la Tierra, detectándose incluso en áreas muy alejadas de las fuentes de emisión o actividad humana.

Estudios realizados por Iwata et al. (1993) sobre los niveles de estos compuestos en muestras de aire y agua superficial de todos los océanos del mundo, mostraron que las mayores concentraciones de aquellos compuestos menos volátiles, como el DDT o los PCBs de mayor peso molecular, se detectaban en latitudes cercanas a los focos de emisión, mientras que aquellos más volátiles, como el HCB o HCHs, se acumulaban preferentemente en latitudes más altas, ya sea el Ártico o la Antártida.

2.3.3 Convenio de Estocolmo

Según Environmental Protection Agency – EPA, en el 2006, presentó un informe sobre los **Avances en la reducción y eliminación de las descargas intencionales de contaminantes orgánicos persistentes**. En donde el Convenio de Estocolmo considera a 21 COP: cuando recién se aprobó el Convenio en 2001 se incluyó una lista inicial de 12 COP y luego se agregaron 9 más mediante enmienda de los anexos del Convenio en 2009. Como sus efectos tóxicos se hicieron obvios muy tempranamente, ya están prohibidos o severamente restringidos en muchos países desde hace años o inclusive décadas. Debido a ello se han desarrollado sustancias químicas y técnicas de reemplazo.

El acuerdo fue de emprender medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar la producción, uso, importación y exportación de 17 sustancias químicas industriales y pesticidas que actualmente están numerados bajo el Anexo A. Por lo que también deben adoptar medidas para reducir o eliminar las descargas de estas sustancias químicas de los inventarios y desechos. La producción y/o uso de sustancias químicas del Anexo A puede permitirse durante un período de tiempo limitado para permitir a las Partes reemplazar completamente los COP con tecnologías alternativas.

Además, actualmente está permitido el uso de lindano como producto farmacéutico para salud humana para el control de piojos y sarna. Según, la Secretaria del Programa de las Naciones Unidas considera los principales tipos de compuestos orgánicos persistentes a los compuestos orgánicos semivolátiles (se evaporan con dificultad), muy estables (resisten la degradación química biológica y fotolítica), con baja solubilidad en agua y con capacidad de biomagnificarse a lo largo de la cadena alimenticia, siendo ésta la causa fundamental de la ingestión de estos contaminantes por el ser humano.

En la siguiente tabla aparecen ordenados los 12 compuestos o familias de compuestos integrantes de la conocida como “la docena sucia”, en función de las medidas que deben tomarse con cada uno según el Convenio de Estocolmo.

Tabla 1

Lista de los 12 compuestos orgánicos persistentes según el Convenio de Estocolmo

COPs cuyo uso y producción debe ELIMINARSE

| | |
|--------------------------------------|---|
| Bifenilos policlorados (PCBs) | Fluidos dieléctricos en transformadores y condensadores, fluidos intercambiadores de calor, fluidos hidráulicos, aceites lubricantes, aditivos en: pesticidas, pinturas, adhesivos, selladores, plásticos |
| Clordano | Pesticida |
| Dieldrina | Pesticida |
| Endrina | Pesticida |
| Heptacloro | Pesticida |
| Hexaclorobenceno | Pesticida contra hongos, manufactura de: fuegos artificiales y munición |
| Mirex | Pesticida |
| Toxafeno | Pesticida, tratamiento contra la sarna de ganado |

COPs cuyo uso y producción debe RESTRINGIRSE

| | |
|--|--|
| Diclorodifeniltricloroetano (DDT) | Insecticida, tratamiento contra la malaria |
|--|--|

COPs cuya liberación no intencional debe REDUCIRSE

| | |
|--|--|
| Policlorodibenzodioxinas (PCDDs) | Producidas como subproductos en procesos de: combustión (sobre todo en presencia de compuestos clorados), fundido de metales, refinería, manufacturación de productos químicos |
| Policlorodibenzofuranos (PCDFs) | Subproductos de incineración de compuestos clorados bajo los 1200 °C |
| ✓ En el 2009, la Conferencia de las Partes decidió enmendar los Anexos A, B y C del Convenio mediante la adición de 8 COPs | |

COPs cuyo uso y producción debe ELIMINARSE

| | |
|-----------------------------------|---|
| Alfa-hexaclorociclohexano | Insecticida. Producido sobre todo como derivado del lindano |
| Beta-hexaclorociclohexano | Insecticida. Producido sobre todo como derivado del lindano |
| Clordecona | Plaguicida agrícola |
| Éter de tetrabromobifenilo | Aditivos retardantes de llama |
| Éter de pentabromobifenilo | |
| Éter de hexabromobifenilo | |
| Éter de heptabromobifenilo | Aditivos retardantes de llama |
| Lindano | Insecticida de amplio espectro para el tratamiento de semillas, suelos, árboles y maderas; fármaco para el control de la pediculosis de la cabeza |
| Pentaclorobenceno | Portador de tintes, fungicida, aditivo retardante de llama, producto químico intermediario para la producción de quintoceno |

COPs cuyo uso y producción debe RESTRINGIRSE (Anexo B del acuerdo)

| | |
|---|---|
| Sulfonato de perfluorooctano (PFO) | Componentes de determinados aparatos electrónicos, de espuma extintora, de productos químicos, de fotografía, de líquidos hidráulicos, de textiles... |
| Fluoruro de perfluorooctano | |
| sulfonilo (PFOS-F) | |

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Convenio Estocolmo, 2006

2.3.4 Establecimiento de la red para la eliminación de los bifenilos policlorados (PCB)

Según el Protecting human health and the environment, EPA afirman que los polibifenilos policlorados (PCB) son uno de los primeros 12 COP.

El Convenio de Estocolmo requiere la eliminación gradual del uso de PCB para 2025 y la gestión ambientalmente racional de los residuos de PCB para el año 2028. Durante muchos años, la Secretaría ha recibido solicitudes de las Partes que son países en desarrollo y de Partes con economía en transición para que los apoyen a identificar las entidades de destrucción apropiadas, y la asistencia de expertos y donantes que los ayuden en sus esfuerzos para gestionar los bifenilos policlorados. Para atender a dicha solicitudes, la conferencia de las Partes en su cuarta reunión apoyó el establecimiento de un marco cooperativo denominado la "Red para la Eliminación de los PCB".

La red PEN es un arreglo para intercambio de información sobre la realización de la gestión ambientalmente racional y costo efectiva de los PCB.

Las actividades de la red buscan elevar el grado de conciencia, promover la cooperación, establecer vínculos entre las partes interesadas, promover la asistencia técnica y la transferencia de tecnología y alentar el desarrollo y la adopción de técnicas y prácticas ambientalmente racionales para eliminar los PCB.

2.3.5 Biosólidos

Benites et al., 2001, afirman que hasta la década de los 40 muchos países como en la India, China, los Estados Unidos, venían utilizando los "lodos" en los suelos agrícolas, hasta que aparecieron los fertilizantes químicos.

Actualmente surgen nuevas tecnologías orientadas al tratamiento de aguas residuales, dichas plantas no son sólo un sistema de limpieza y depuración de las aguas si no que, además, mejoran los factores que producen seguridad para la reutilización de dichos "lodos", llamados también biosólidos.

La aplicación de los biosólidos está siendo fomentado a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), como también los organismos e instituciones tanto de los EE.UU como de los principales países desarrollados.

Según, Quinchía y Carmona (2004), señalan que los biosólidos son lodos generados en el tratamiento de aguas residuales y sometidos a un proceso de estabilización mediante una degradación biológica de carácter anaerobio. Éstos han sido definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency) en su código 40 CFR 503 como "sólidos provenientes del tratamiento de las aguas residuales y estabilizados biológicamente, con suficiente concentración de nutrientes, bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, que se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo con la composición físicoquímica del biosólido y la vocación de uso del suelo". Además, los biosólidos son ricos en nutrientes, es por ello que la demanda del uso de los biosólidos actualmente es una alternativa sin riesgos ambientales. Además, presenta la facilidad con la cual se realiza la disposición y de los costos asociados a ella.

La variedad de sustancias que contienen las aguas residuales está determinada por la composición de sólidos; dentro de estos se incluyen desperdicios domésticos, agentes químicos en las aguas residuales y aguas de lluvias. En las plantas de tratamiento diversos procesos estabilizan y desinfectan los sólidos, destruyendo así las bacterias nocivas y reduciendo el olor. Dichos procesos originan un gran número de subproductos entre los cuales se distinguen los "biosólidos". Estos pueden adoptar formas orgánicas semejantes al humus, polvo seco, pelets, semisólidos.

➤ **Utilización de los biosólidos**

Los sólidos procesados en las plantas de tratamiento son utilizados de varias formas:

- En los suelos agrícolas los biosólidos se esparcen en la superficie o se introducen directamente en el suelo, el cual es incrementado por la materia orgánica, habilitándolo para almacenar agua y proveer una larga vida a los nutrientes de la cosecha.
- Regenera las tierras que han sido químicamente contaminadas, los abonos naturales provienen de materia orgánica y nutrientes del suelo.
- Los biosólidos producen beneficiosos resultados, por ser capaz de mejorar la capacidad de los estanques de agua y poder retener nutrientes que son necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas.
- Aplicados directamente para recuperar suelos contaminados por la minería
- En la peletización, los sólidos de aguas residuales se secan y depositan dentro de un molde de pellet (biosólidos). Estos pueden usarse como acondicionador de suelo, para incrementar la vegetación. Este pellet es especialmente valioso en cultivos de frutos cítricos y otras cosechas que requieren nutrientes orgánicos.

➤ **Normas para la Utilización de los biosólidos**

La EPA y las agencias Estatales del Medio Ambiente del Gobierno de los Estados Unidos, perceptibles a la necesidad de seguridad de la alta calidad de biosólidos, se esfuerzan por regular sus contenidos y usos. Estas agencias federales y las universidades de mayor importancia han hecho extensas investigaciones para la aplicación de biosólidos.

Los diferentes procesos de tratamiento de sólidos pueden producir distintos olores. Para solucionar este problema se utilizan diversos métodos.

Cuando se introducen en el suelo para usarlos en la tierra, despiden poco o ningún olor. Cuando los biosólidos en climas húmedos son esparcidos en la superficie de las tierras agrícolas, pueden emanar un ligero olor.

El olor no es fuerte ni repulsivo como el estiércol fresco de un animal. Cuando los subproductos de los "lodos biológicos" son utilizados adecuadamente, el riesgo a la salud humana y al medio ambiente es prácticamente nulo. Hay muy pocos informes de que la utilización de los biosólidos haya provocado situaciones de riesgo ya sea a personas, animales o al medio ambiente cuando su utilización se realiza de acuerdo a las normas. Con la publicación de la norma 40 CFR Regulación 503 de la EPA el uso beneficioso de los biosólidos ha llegado a ser una alternativa factible para prácticamente todas las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los abonos naturales provienen de materia orgánica y nutriente del suelo.

Una vez que los sólidos removidos de las aguas residuales (biosólidos) han sido tratados, mejoran la fertilidad de los suelos, contribuyendo tanto a los esfuerzos por reciclar los desechos como a su vez preservar el medio ambiente.

2.3.6 Suelos

De acuerdo a LLanes et al. (2012), el suelo es un medio donde se desarrollan las plantas contienen nutrientes y el agua. Cuando el suelo es usado de forma intensiva se degrada disminuyendo su potencial productivo, es decir se afecta los niveles adecuados de la materia orgánica y sus nutrientes. Por lo que es necesario la realización de las buenas prácticas de manejo y conservación.

Según García y Dorronsoro (2005), los contaminantes incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.

- Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Según, Lindsay (2005), señala que la toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino también de las características del medio donde se encuentre de manera que la sensibilidad de los suelos a la agresión que tiene lugar por parte de los agentes contaminantes va a ser muy distinta dependiendo de una serie de características edáficas. Para determinar el grado de contaminación de un suelo se hace necesario considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia.

- Por biodisponibilidad se entiende la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.
- La movilidad regulará la distribución del contaminante y por tanto su posible transporte a otros sistemas.
- La persistencia regulará el periodo de actividad de la sustancia y por tanto es otra medida de su peligrosidad.

La presencia de los compuestos orgánicos persistentes en el suelo es asociada a las concentraciones de estos en las fases bioasimilables, es decir, en la solución del suelo y las formas adsorbidas.

También el autor sostiene que intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí, como de las características del propio suelo. Por tanto, las formas geoquímicas de los suelos contaminados afectan la solubilidad, lo cual influye directamente en la disponibilidad hacia las plantas. Además, la forma en la que los compuestos orgánicos están en el suelo, así será la disponibilidad por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos vivos.

➤ **Efectos de la adsorción**

Según, Sánchez M. y Sánchez C. (1984), señalan que la adsorción de plaguicidas por el suelo puede modificar su:

- a) Actividad
- b) Persistencia
- c) Degradación

a) Da lugar a una inactivación de los plaguicidas, ya que estas moléculas al quedar bloqueadas no pueden ejercer su efecto tóxico. Para que estos compuestos sean efectivos en el suelo deben aplicarse en dosis determinadas.

b) Origina un aumento de la persistencia de estos compuestos en el suelo con el riesgo de contaminación. Si la adsorción produce una separación irreversible de la molécula de la forma activa, entonces la pérdida de actividad será permanente, pero si se producen cambios en las condiciones ambientales de temperatura o humedad.

c) Influye en su degradación, en unos casos, impidiéndola o retrasándola, ya que mientras que estos compuestos están adsorbidos los mecanismos de descomposición de los mismos o no pueden actuar o actúan más lentamente.

➤ **Persistencia de COPs en suelos**

Andrade et al. (1999), han definido el término "persistencia" al tiempo que permanece un plaguicida en el suelo manteniendo su actividad biológica. Las consecuencias de la persistencia, dependen de la toxicidad del plaguicida y de su biodisponibilidad.

Según, Sánchez M. y Sánchez C. (1984), los plaguicidas más persistentes son los organoclorados (más de 20 años), los herbicidas del grupo de los carbamatos, ácidos alifáticos y triazinas presentan un amplio espectro de persistencia, desde

pocas semanas hasta más de un año, y los insecticidas organofosforados tienen una vida más corta en el suelo desapareciendo en un período de 2 a 12 semanas.

2.3.7 Factores del suelo que afectan la acumulación de compuestos orgánicos.

Pilon, 2005, señala que los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los compuestos orgánicos persistentes son:

- ✓ Estructura química del compuesto
- ✓ Tipo de suelo,
- ✓ Contenido en materia orgánica
- ✓ Naturaleza de los minerales presentes en el suelo
- ✓ pH
- ✓ Humedad
- ✓ Temperatura

La textura juega un papel importante en la adsorción de los compuestos orgánicos en el suelo.

Debido a las características de adsorción de estos compuestos y la reducción de su pérdida por lixiviación, los compuestos orgánicos están disponibles para la vegetación. La materia orgánica tiene una gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo. Actúa como ligandos en los complejos de intercambio, mediante la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos. Por tanto, la complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de los compuestos orgánicos persistentes. El papel de los organismos del suelo es también muy importante en la adsorción o degradación de los compuestos orgánicos.

2.4 Definición de términos básicos

- **Adsorción:** es un proceso por el cuál átomos, iones o moléculas de gases líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie, el proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.
- **Biosólidos:** Los biosólidos son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales procesadas en las Plantas de Alcantarillado Sanitario. Por su alto valor nutricional pueden ser usados para la agricultura y jardinería.
- **COPs: Compuestos orgánicos persistentes,** son un conjunto de compuestos químicos que resisten en grado variable la degradación fotoquímica, química y bioquímica; lo que causa que su vida media sea elevada en el ambiente como insecticidas, fungicidas, nematocidas, herbicidas, los policlorobifenilos (PCBs), dioxinas y furanos.
- **Cromatografía:** es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia; es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.
- **ECA:** Estándar de Calidad Ambiental
- **Edafología:** Estudio de suelo, sus orígenes, formación y sus características fisicoquímicas.
- **Enzimas ligninolíticas:** Los hongos ligninolíticos mineralizan la lignina basados en la producción de radicales libres, por medio de las enzimas extracelulares lignina peroxidasa, para degradar hidrocarburos poliaromáticos fenoles clorados, plaguicidas.
- **HCB:** Es el hexaclorobenceno un compuesto organoclorados formado por 6 átomos de cloro que sustituyen los hidrógenos del benceno.

- **Nematicida:** Es un tipo de plaguicida químico usado para matar nematodos que parasitan a las plantas. Son tóxicos que poseen alta volatilidad y fácilmente migran a través del suelo.
- **Lixiviación:** Es un proceso físico de transferencia de materia que ocurre cuando un solvente líquido atraviesa un sólido.
- **PCB:** Los policlorobifenilos son compuestos organoclorados, que constituyen una familia de 209 congéneres, los cuales se forman mediante la cloración de diferentes posiciones del bifenilo.
- **PEN:** Red para la Eliminación de los PCB
- **Permeabilidad:** Es una propiedad del suelo, asociada a la porosidad. Es la facilidad que tiene el suelo para dejarse penetrar por los fluidos.
- **Pelets:** es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido de diferentes materiales.
- **Porosidad:** Es una propiedad del suelo, determinada como consecuencia de la textura y estructura del suelo, es decir su sistema de espacios vacíos o poros.
- **Sólidos Totales (ST):** Es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar un peso constante. El valor que se ha evaporado en este proceso corresponde a la humedad.
- **Sólidos Volátiles (SV):** Son los sólidos orgánicos presentes en los Sólidos Totales (ST) que se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas.
- **Suelo:** Compuesto por partículas inorgánicas como arcillas, minerales, materia orgánica, agua, microorganismos.
- **Textura:** Es una propiedad del suelo, determinada por la proporción en la que se encuentran las partículas elementales de varias dimensiones que lo conforman.
- **Traza:** Concentraciones menores a 1000 partes por millón.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS

3.1.1 Hipótesis General:

La reducción de los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas se logra mediante la capacidad de adsorción de los biosólidos.

3.1.2 Hipótesis Específicas:

- a) Las características fisicoquímicas de los biosólidos para reducir los compuestos orgánicos persistentes son: sólidos totales, sólidos volátiles, concentración de metales, retención de humedad y capacidad de adsorción
- b) Las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas son: materia orgánica, conductividad eléctrica, pH, porcentaje de carbono orgánico, nitratos, potasio, fósforo, nitrógeno, compuestos orgánicos persistentes.
- c) La capacidad de adsorción de los biosólidos para los compuestos orgánicos persistentes presenta un índice de concentración mayor al 80%.

3.2 Definición conceptual de Variables

3.2.1 Variable independiente

X = Biosólidos es el estimulante a base del producto de tratamiento de las aguas residuales domésticas para adsorber los compuestos orgánicos persistentes de los suelos.

3.2.2 Variable dependiente

Y = Suelos agrícolas, es la unidad de análisis que contienen los compuestos orgánicos persistentes.

$$Y = f(X)$$

Si los biosólidos reducen las concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes entonces los suelos agrícolas están descontaminados.

3.2.3 Operacionalización de variable

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, vamos a operacionalizar las variables que a continuación se indican:

Tabla 2
Operacionalización de variables

| VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | MÉTODO |
|--|---|---|---|
| Variable Dependiente Suelos agrícolas | <ul style="list-style-type: none"> Parámetros fisicoquímicos | <ul style="list-style-type: none"> Materia orgánica (%) Ce (dS/m) pH Nitratos (ppm) Carbono orgánico (%) Potasio (ppm) Fósforo (ppm) Nitrógeno (ppm) COPs (mg kg⁻¹) | <p>Análisis experimental fisicoquímico</p> <p>Análisis cromatográfico (Cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas-CG-MS)</p> |
| Variable Independiente Biosólidos | <ul style="list-style-type: none"> Parámetros fisicoquímicos | <ul style="list-style-type: none"> % de sólidos totales % de sólidos volátiles metales (ppm) %Retención de humedad Capacidad de adsorción (Índice de concentración) | <p>Análisis experimental fisicoquímico</p> |

Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de la investigación.

Tipo de Investigación: Aplicada

Diseño de la Investigación: El diseño de la presente investigación obedecerá a un modelo experimental - longitudinal.

4.2 Método de investigación

Muestreo: Probabilístico, aleatorio

Unidad de análisis: suelos agrícolas

Procedimientos:

- Determinación de población
- Muestreo de suelo
- Muestreo de biosólidos
- Aplicación de biosólidos
- Análisis experimental: suelos, biosólidos, compuestos orgánicos
- Análisis de datos
- Resultados
- Discusión

4.3 Población y muestra

Población: suelos agrícolas del distrito de Carabaylo

Muestra: representado por 6 partes de suelos dispuestos en pilas de 1m² y profundidad de 30cm.

Ormazabal y Larrañaga (1998); indican que el muestreo de suelos está condicionado por tres factores:

1. Los objetivos de la investigación a realizar
2. La información previa que se dispone sobre el sistema a estudiar
3. El tiempo, el dinero y esfuerzos que pueden dedicarse a la investigación.

La distribución espacial de los puntos de muestreo o estaciones de muestreo se realiza según criterio del investigador, pudiendo ser:

Tipo de muestreo: Zigzag.

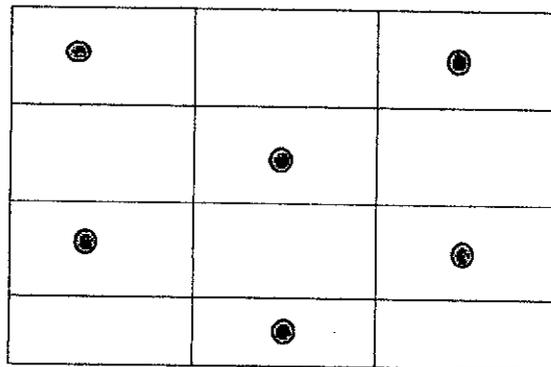


Figura 8: Tipo de muestro Zigzag
Ormazabal y Larrañaga, 1998

4.4 Lugar del estudio y periodo desarrollado

Zona agrícola del distrito de Carabayllo, localizado al norte de la ciudad de Lima, limita por el norte y noreste con el distrito de Santa Rosa de Quives de la provincia de Canta, por el sur limita con el distrito de Comas, por el este con la provincia de Huarochirí y por el oeste con el distrito de Puente Piedra y el distrito de Ancón. Se ubica a ambas márgenes del río Chillón.

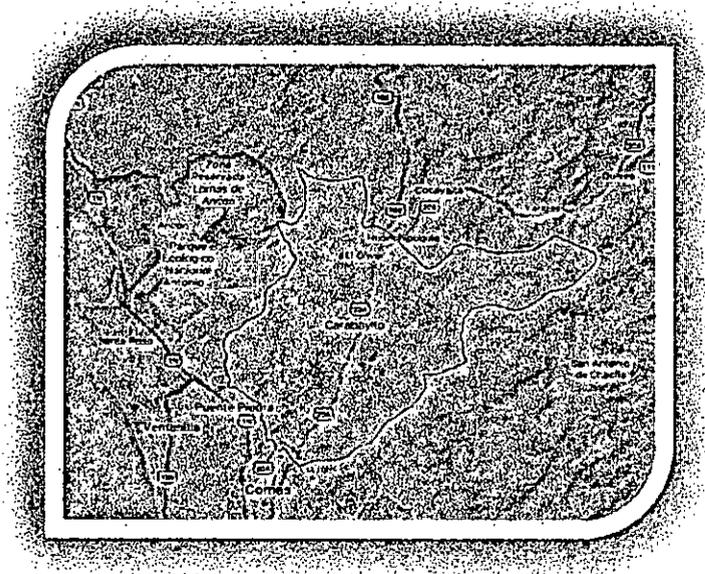


Figura 9: Lugar de estudio
google map,2019.

El periodo realizado en el campo para los obtener los datos experimentales fueron de 7 meses, primero reconocimiento del campo, identificación de las 6 estaciones, toma de muestras, mediciones de parámetros fisicoquímico iniciales en situ, aplicación de los biosólidos en las estaciones, análisis del suelo y biosólidos, mediciones de parámetros fisicoquímicos finales in situ.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

a) Análisis fisicoquímicos de las muestras

Para los análisis fisicoquímicos de las muestras, se utilizó el Manual de Prácticas de la Materia Edafología de Cano, G (2006), Chiapas Gobierno del Estado. México, Guía de Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo de Departamento de Agricultura -Servicio de Investigación Agrícola - USDA 1999 y, además, el Protocolo de Métodos de Análisis para lodos de Zagal y Sadzawka (2007), de la Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía.

✓ **Suelos**

- Materia orgánica
- pH
- Conductividad eléctrica
- Nitratos
- Porcentaje de carbono orgánico
- Concentración de K, P, N
- Compuestos orgánicos persistentes

✓ **Biosólidos**

- Porcentaje de sólidos totales
- Porcentaje de sólidos volátiles
- Concentración de metales
- Porcentaje de Retención de humedad
- Capacidad de adsorción (índice de concentración)

✓ **Suelos:**

➤ **Determinación del porcentaje de materia orgánica total en el suelo.**

La digestión es por vía húmeda se digiere con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 , el calor externo liberado por reacción al diluirse el H_2SO_4 ayuda al proceso de oxidación.

El exceso de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir es determinado por valoración con $FeSO_4$.

Procedimiento

-Se pesó 5g de suelo y se llevó a un erlenmeyer de 250 ml.

-Se agregó 5 ml de dicromato de potasio 1N, 10 ml de H_2SO_4 cc, se dejó reposar por 30 minutos para la oxidación de la materia orgánica.

-Luego se agregó 100ml, de ácido fosfórico, 0.1 g de fluoruro de sodio y 0.5ml de difenilamina como indicador.

-Se tituló con el sulfato ferroso comienza con un color café el cual va cambiando a violeta y vira a azul y después a un verde esmeralda.

-Se anotó los ml del sulfato gastado, luego para determinar la cantidad de materia orgánica se preparó el blanco para el cálculo total de la materia orgánica en el suelo.

$$\% \text{ Materia orgánica} = \text{ml. FeSO}_4 \text{ (blanco - muestra)} \times F$$

$$F = \frac{(1N) \cdot (12) \cdot (1,71) \cdot (100)}{4000 \times 0,77 \times \text{g de suelo}} = 0,67$$

Dónde:

12/4000 = meq de carbón

0.77 = se asumió que el 77% de materia orgánica es oxidada

1.71 = factor de conversión de C a materia orgánica.

Un 58% de la materia orgánica es carbón.

Tabla 3
Contenido de materia orgánica

| Clase | Carbono orgánico % |
|----------|--------------------|
| Muy alta | >20 |
| Alta | 10 - 20 |
| Media | 4 - 10 |
| Baja | 2 - 4 |
| Muy baja | <2 |

Landon, J. R. Manual de suelos tropicales. 1984

Tabla 4
Clasificación de la materia orgánica

| Clase | Materia orgánica (%) |
|----------------------|----------------------|
| Extremadamente pobre | < 0.6 |
| Pobre | 0.60 – 1.20 |
| Medianamente pobre | 1.21 – 1.80 |
| Medio | 1.81 – 2.40 |
| Medianamente rico | 2.41 – 3.00 |
| Rico | 3.10 – 4.20 |
| Extremadamente rico | >4.21 |

Velazco M.H. Guía para interpretar el análisis químico del suelo. 1983.

➤ pH

El pH es una valoración de la cantidad de [H⁺] en la disolución que se forma en una determinada cantidad de agua destilada en contacto con una cantidad de suelo.

Se expresa en moles/L: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

Procedimiento

Se añadió 25 ml de agua destilada en (relación suelo: agua 1:5), se removió durante 5 minutos y se deja reposar por 30 minutos. Se agitó nuevamente durante 1 minuto y luego se introdujo el electrodo para obtener la lectura (norma ISO10390).

Se realizaron dos medidas de cada muestra.

Tabla 5
Clasificación del pH en suelos

| Rango de pH | Clasificación |
|-------------|--------------------------|
| <4.60 | Extremadamente ácido |
| 4.60 – 5.19 | Muy fuertemente ácido |
| 5.20 – 5.59 | Fuertemente ácido |
| 5.60 – 6.19 | Medianamente ácido |
| 6.20 – 6.59 | Ligeramente ácido |
| 6.60 – 6.79 | Muy ligeramente ácido |
| 6.80 – 7.19 | Neutro |
| 7.20 – 7.39 | Muy ligeramente alcalino |
| 7.40 – 7.79 | Ligeramente alcalino |
| 7.80 – 8.39 | Medianamente alcalino |
| 8.40 – 8.79 | Fuertemente alcalino |

Cano G. Manual de prácticas de la materia de edafología.2006

➤ **Conductividad eléctrica (CE)**

Indica la salinidad de los suelos debido muchas veces al empleo de fertilizantes de base sódica que se usa para los cultivos su presencia está en la solución del suelo, se valoró en una relación suelo agua de 1:5.

Procedimiento

Se pesó 20 g de suelo y se introdujo en una botella de agitación, se le agregó 100 ml de agua destilada y se agitó durante 30 minutos, posteriormente se filtró con un

embudo y papel filtro. Luego se extrajo una alícuota y se ha vertido en un vaso para su medición con un conductímetro, el resultado se expresa en (dS/m).

Tabla 6
Conductividad eléctrica en suelos

| Rango de conductividad eléctrica (dS/m) | Efectos de salinidad |
|---|--|
| 0-1.2 | Efectos de salinidad generalmente desapercibidos |
| 1.2-4 | Efecto de salinidad ligeramente medio |
| 4-8 | Efecto de salinidad medio |
| 8-16 | Efectos de salinidad alto |
| >16 | Efectos de salinidad muy alto |

Cano G. Manual de prácticas de la materia de edafología. 2006

- **Nitratos (NO_3^-) del Suelo**

Para medir los nitratos del suelo se utilizó una muestra preparada para los ensayos de CE y pH. Se plegó el papel de filtro por la mitad (haciendo un semicírculo). Luego se abrió el papel de filtro, dándole forma de cono, y se colocó dentro del vaso con la mezcla de suelo-agua hasta que toque el fondo del vaso, se esperó hasta que la solución haya filtrado hacia el interior del papel de filtro.

CÁLCULOS:

$$\text{g N en NO}_3/\text{m} = \frac{(\text{ppm N en NO}_3) \times (\text{profundidad del suelo muestreado, cm}) \times \text{densidad} \times 0.89}{10}$$

➤ **Determinación de potasio por Espectrofotometría de Absorción Atómica**

Para la determinación de K se realizó según, Mackean, S. 1993. Manual de Análisis de Suelos y Plantas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia.

Se pesó 1.11 g de NH₄F en un balón de 1 litro, luego se disolvió con agua bidestilada, se agregó 8.3 ml de HCl concentrado y se completó con agua bidestilada.

La solución estándar de 1000 mg/L y solución de trabajo de 100 mg/L

Se tomó 50 ml de la solución estándar y se disolvió en 100 ml con agua bidestilada y se tomó varias alícuotas en ml y se completó a volumen en balones de 250 ml, con la solución extractora Bray II.

Procedimiento

Se pesó 2.85 g de muestra en vasos plásticos se agregó 20 ml de la solución extractora de Bray II se agitó durante 40 s luego se filtró la suspensión con papel de filtro en vasos plásticos.

Luego las muestras se han leído directamente en el equipo de Absorción Atómica Aanlyst400 a una longitud de onda de 766.5 nm

Cálculos:

$$\text{K suelo (cmol (+) /kg)} = \text{mg/l} * 1\text{L}/1000 \text{ ml} * 20 \text{ ml}/2.85\text{g} * 1 \text{ cmol K}/390 \text{ mg K} * 1000$$
$$\text{g/1 kg} = 0.018$$

➤ **Determinación de fósforo**

(De acuerdo del Manual de prácticas de la materia edafológica de Adan Cano García, Chiapas, México, 2006).

La determinación de fósforo disponible en suelos se realizó en dos etapas, primero consistió en extraer el fósforo por medio de una solución parecidas a la del suelo y luego se cuantificó el fósforo extraído.

Para la extracción del fósforo se aplicó el Método Bray-1, que es una solución de NH_4F 0.03N en HCl 0.025N. El fósforo extraído se determinó colorimétricamente mediante el complejo azul de molibdeno, formando un complejo fosfomolibdico en medio ácido en presencia de ácido ascórbico.

Procedimiento:

Se preparó una solución extractora de NH_4F 0.03N en 200ml de agua destilada, se agregó 2 ml de HCl concentrado y aforado a un litro.

Se pesó 20g de molibdato de amonio y se disolvieron en 300ml de agua destilada. Se adicionó 450ml de H_2SO_4 de 14N y 100ml de una solución de 0.5% peso en volumen de tartrato de antimonio y potasio, se aforó a 1litro.

Se pesó 2.5 g de suelo y se colocó en un erlenmeyer de 50ml., se adicionó 25 ml de la solución extractora. Se agitó por durante 5 minutos.

Se filtró y se tomó una alícuota del extracto del suelo de 5ml, se agregó 30 ml de agua destilada, 5 ml de la solución de desarrollo del color y se aforó a 50 ml de agua destilada.

Después de 30 minutos se agregó reductor, y luego se lee la absorbancia del complejo azul de molibdeno de 882 nm.

Cálculos:

$\text{ppm de P en suelo} = \text{ppm (solución)} \cdot V_f \cdot V_i / A \cdot P$

V_f = Volumen final de la colorimetría

A = Alícuota usada en la colorimetría

V_i = Volumen del extracto

P = peso de la muestra seca al aire

Tabla 7
Clasificación para fósforo extractable bray-1

| Clase | Fósforo (ppm) |
|-------|---------------|
| Bajo | < 15 |
| Medio | 15-30 |
| Alto | >30 |

Cano G. Manual de prácticas de la materia de edafología. 2006

➤ **Determinación de nitrógeno por el método de KJELDAHL**

(De acuerdo del Manual de prácticas de la materia edafológica de Adan Cano García, Chiapas, México, 2006).

Procedimiento

Se pesó 2 gramos de suelo en un matraz Kjeldahl, se agregó una pastilla de catalizador Kjeldahl (Se) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Luego se llevó a la digestión durante una hora a 100 °C y otra digestión durante una hora y treinta minutos a 350 °C. Se enfrió y se añadió 20 ml de agua destilada y unas gotas de fenolftaleina y se colocó en el destilador Kjeldahl. Se añadió al matraz Kjeldahl hidróxido de sodio hasta que vire de color. Se destiló hasta recoger entre 100 y 150 ml de destilado en el vaso de precipitado.

Se valoró con ácido sulfúrico 0,005 N hasta que la muestra vire a rojo.

Para el cálculo del factor de corrección del ácido sulfúrico se valoró entre 0,01 y 0,02 gramos de carbonato sódico anhidro con el ácido sulfúrico 0,005 N.

Cálculo:

$$\%N = (\text{v. de ácido sulfúrico utilizada en la valoración} \times \text{Factor de corrección} \times 14) / 4000$$

➤ **Determinación de Compuestos orgánicos persistentes por Cromatografía de gases (GC-MS)**

Según el Manual de funcionamiento del cromatógrafo GC-MS, Agilent 6890N-5973MSD, es un método de identificación y cuantificación de los compuestos orgánicos en una mezcla compleja, su principio es de separación de compuestos en dos fases, fase estacionaria y fase móvil que pasa a través de la fase estacionaria. La fase móvil constituida por un gas inerte que transporta los compuestos orgánicos de la muestra por el interior de un tubo o columna. Fase estacionaria en la que los compuestos orgánicos son retenidos por un material adsorbente que recubre las paredes interiores del tubo por la que circula la muestra.

El gas portador es un gas inerte helio de gran pureza 99,4% la muestra está exenta de humedad y oxígeno puesto que estos dos compuestos producen ruido de fondo, además el oxígeno puede oxidar la fase estacionaria especialmente a altas temperaturas. Para las condiciones cromatográficas la temperatura para el inyector esta entre 220-270°C, el acoplamiento de cromatografía de gases a espectrofotómetro de masas el inyector de vaporización de temperatura esta, acoplado a espectrometría de masas con selección de ion precursor (GC/PTV/EI/MS2).

La estimación cuantitativa de los compuestos orgánicos de la muestra, exige medir con exactitud, la precisión en la inyección de la muestra. La muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte y la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

✓ **Biosólidos**

➤ **Porcentaje de sólidos totales**

La muestra de lodo tal como se recibió, la muestra de lodo secado a $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ y luego se secan a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante. La fracción remanente corresponde al contenido de sólidos totales y la fracción evaporada, al contenido de agua.

Se pesó en un recipiente con tapa 25 g a 50 g (exactitud 0,01 g) de lodo homogenizado, luego se colocó en la estufa y se secó destapado a $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante. Se retiró de la estufa, se tapó y se dejó enfriar en desecador, se retiró del desecador y se pesó inmediatamente con una exactitud de 0,01 g.

Cálculo:

El contenido de sólidos totales del lodo, expresado en porcentaje:

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{b - c}{a - c} \times 100$$

donde:

a = masa en g del lodo tal como se recibió + recipiente

b = masa en g del lodo seco a $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$

c = recipiente masa en g del recipiente

➤ **Porcentaje de sólidos volátiles**

El residuo de la determinación del contenido de agua en la muestra de lodo tal como se recibió se calcina a 550°C hasta masa constante. Los sólidos remanentes corresponden a los sólidos fijos, mientras que la pérdida de masa a los sólidos volátiles.

Este método es aplicable a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas

Procedimiento

Se introdujo en la mufla el recipiente con el residuo seco a 105°C±5°C del lodo. Lentamente se subió la temperatura a 550°C. Se mantuvo la temperatura durante 2 horas y luego lentamente hasta a menos de 200°C. Se sacó, se colocó en el desecador y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente. Se pesó y se registró la masa con una exactitud de 0,01 g.

Cálculos

Los sólidos volátiles, expresado en porcentaje en base a la muestra es:

$$\text{Sólidos volátiles (\%)} = \frac{a-b}{m} \times 100$$

donde:

- a = masa, en g, del residuo + recipiente, antes de la calcinación
- b = masa, en g, del residuo + recipiente, después de la calcinación
- m = masa, en g, de lodo

➤ **Concentración de metales**

Se realizó la digestión de la muestra seca y molida de biosólido con ácido nítrico y ácido perclórico.

En el digerido se determinó las concentraciones de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn.

Se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica Aanalyt400.

➤ **Determinación de retención de humedad**

(De acuerdo del Manual de Procedimientos Analíticos, (2010). Laboratorio de física de suelos del Instituto de Departamento de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se entiende por retención de humedad a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del biosólido.

Se determina la humedad del biosólido gravimétricamente, en base a la masa, o volumétricamente. La humedad gravimétrica (w) es la forma de expresar la humedad del biosólido. Como unidad es kg-1.

La masa de biosólido es secada en estufa se obtiene colocando una muestra de biosólido en la estufa a 105-110° C hasta obtener el peso constante de la muestra.

Donde:

W es la retención de humedad

Mag es la masa del agua,

Ms es la masa de los sólidos,

Msh es la masa de biosólido húmedo,

Mss es la masa de biosólido secado en estufa.

Cálculo:

$$W = \text{Mag}/\text{Ms} = [(\text{Msh} - \text{Mss}) / \text{Mss}] \times 100$$

➤ **Procedimiento para la aplicación de biosólidos**

A continuación, se muestra las etapas para la aplicación de los biosólidos en la zona de estudio:

Etapa A

Para la preparación de los sustratos se utilizó suelo de capa superficial (0- 30 cm) y se mezcló con la cantidad de biosólidos necesaria para formular las dosis, para una muestra de 5kg.

Consistió en la disposición superficial del biosólido mezclado con suelo en las proporciones de 20, 40, 60 y 80 %, con la finalidad de observar las variaciones fisicoquímicas del suelo y el desarrollo vegetativo ante la aplicación del biosólido.

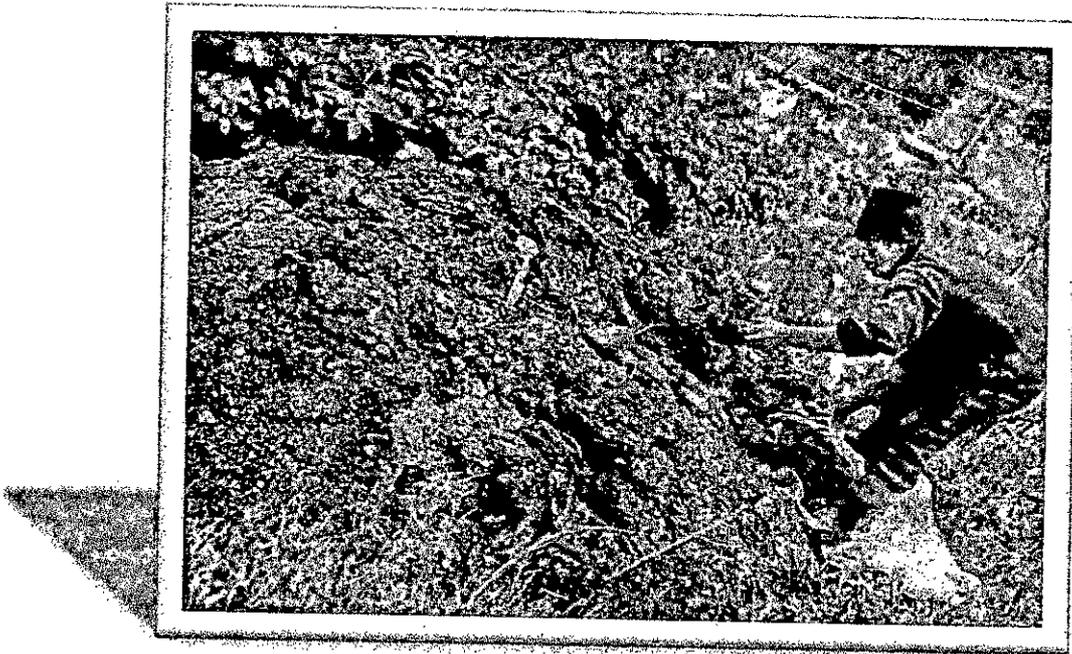


Figura 10: Etapa A, disposición superficial del biosólido mezclado con suelo
Elaboración propia

Etapa B

La prueba contó con seis estaciones conformadas con mezclas en diferentes proporciones:

E1: 100 % suelo

E2: 80% suelo: 20% biosólido

E3: 60% suelo: 40% biosólido

E4: 40% suelo: 60% biosólido

E5: 20% suelo: 80% biosólido

E6: 100% biosólido



Figura 11: Etapa B, mezclado en las proporciones de 20, 40, 60 y 80 % de biosólidos
Elaboración propia

Etapa C

Los suelos con biosólidos después de 65 días en las seis estaciones.

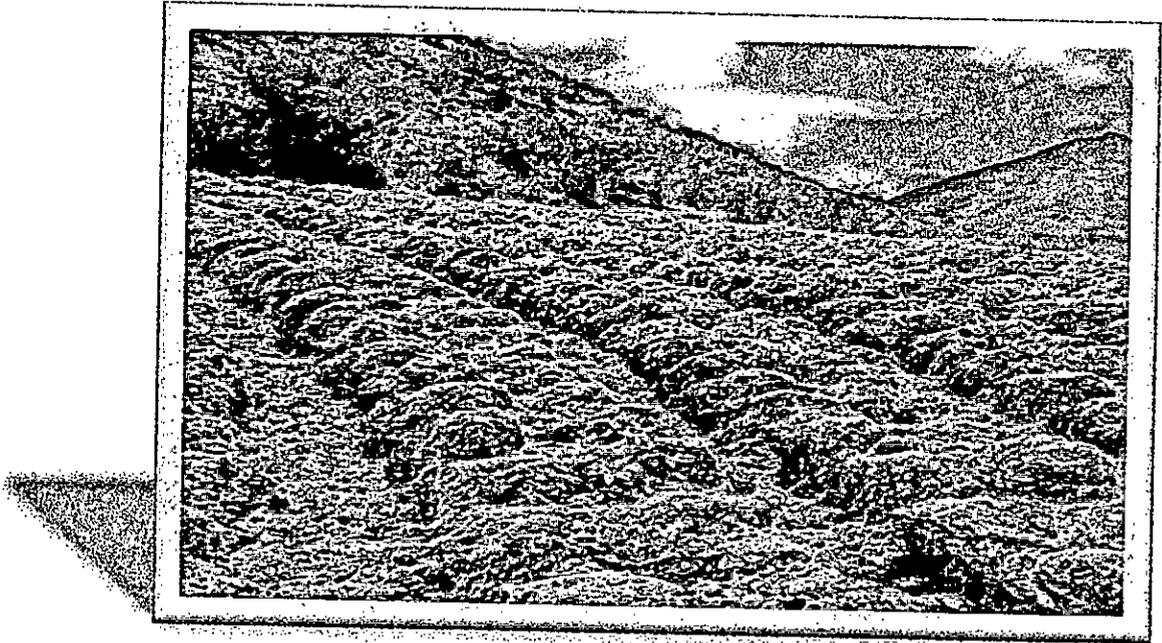


Figura 12: Etapa C, suelos con biosólidos después de 65 días
Elaboración propia

4.6 Análisis y procedimientos de datos

Para el presente trabajo de investigación se aplicó como técnica estadística el paquete estadístico SPSS por Windows Versión 22, para la estadística descriptiva y el coeficiente de Pearson para ver la correlación entre los parámetros medidos.

Los coeficientes de correlación (r) obtenidos tanto del sistema cromatográfico como del método fueron de 0.9905 a 0.9982, a excepción del mirex ($r = 0.9743$) con CV menores al 20%. El análisis de varianza mostró que no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), lo que indica que se mantuvo la linealidad en el sistema cromatográfico.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados de los análisis fisicoquímicos

a) Análisis fisicoquímicos iniciales del suelo

Tabla 8
Características fisicoquímicas iniciales del suelo

| Parámetros | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Materia orgánica (%) | 1.80 | 1.86 | 1.82 | 1.92 | 1.87 | 1.85 |
| pH | 8.02 | 8.05 | 8.08 | 8.03 | 8.03 | 8.00 |
| CE (dSm-1) | 2.54 | 2.52 | 2.48 | 2.46 | 2.45 | 2.49 |
| Nitratos (mgkg-1) | 14.12 | 15.16 | 15.20 | 16.02 | 14.48 | 14.36 |
| Carbono orgánico % | 24.40 | 27.00 | 26.50 | 24.70 | 27.80 | 26.30 |
| Potasio (mgkg-1) | 32.10 | 34.50 | 33.50 | 32.80 | 32.40 | 32.90 |
| Fósforo (mgkg-1) | 40.50 | 40.90 | 41.20 | 42.50 | 42.80 | 41.70 |
| Nitrógeno total (mgkg-1) | 31 | 34 | 32 | 35 | 36 | 38 |

Elaboración propia

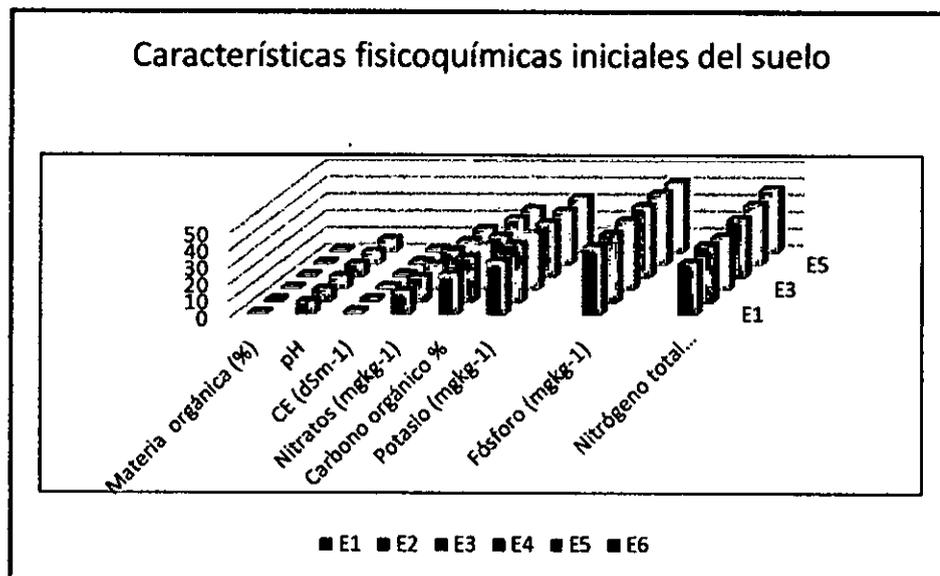


Figura 13: Características fisicoquímicas iniciales del suelo
Elaboración propia

b) Determinación de Compuestos orgánicos persistentes por Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS)

Se llevó a cabo mediante un cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas (mass selective detector MSD)-Agilent 6890N-5973MSD.

Con el método de análisis cromatográfico, se analizó 5 COPs, en una corrida de 22 min, donde el primero en eluir fue el lindano a los 8.40 min y el último fue el mirex a los 13 min. Los límites de detección (LD) y de cuantificación(LC) del sistema estuvieron en el rango de concentración de 0,05 a 46.09 ($\times 10^{-4}$) $\mu\text{g kg}^{-1}$ y de 0.16 a 70.90 ($\times 10^{-4}$) $\mu\text{g kg}^{-1}$ respectivamente.

Tabla 9
Concentración de los compuestos orgánicos persistentes en el suelo

| Compuestos orgánicos persistentes (COPs) | Concentración (mgkg ⁻¹) |
|--|-------------------------------------|
| Aldrin | 10.32 |
| Dieldrin | 11.45 |
| Endosulfan | 11.12 |
| Mirex | 12.05 |
| Lindano | 10.92 |

Elaboración propia

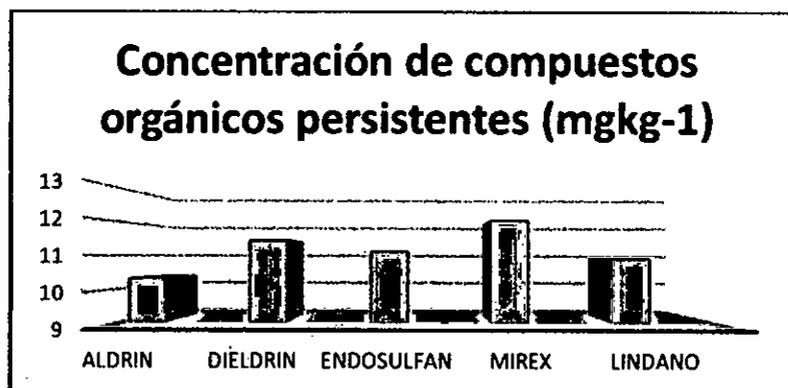


Figura 14: Concentración de compuestos orgánicos persistentes (mgkg⁻¹)
Elaboración propia

c) Resultados de los análisis fisicoquímicos de los biosólidos

Tabla 10
Concentración de metales en los biosólidos

| Concentración de metales (mg/kg) | Biosólidos | EPA (mg/kg) |
|---|-------------------|--------------------|
| Cadmio | 0.01 | 85 |
| Cobre | 104 | 4300 |
| Níquel | 44.5 | 420 |
| Plomo | 65 | 840 |
| Zinc | 125 | 7500 |

Elaboración propia

Los valores de concentración de los metales en los biosólidos están por debajo de la normatividad de Environmental Protection Agency- EPA.

Tabla 11
Características físicas de los biosólidos

| Características físicas | Porcentaje(%) |
|--------------------------------|----------------------|
| Retención de humedad | 80.10 |
| Material volátil | 9.25 |
| Sólidos totales | 35.70 |

Elaboración propia

5.2 Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos

Tabla 12

Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos

| Parámetros | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
|----------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|
| | 100% <i>s</i> | 20% <i>b</i> -80% <i>s</i> | 40% <i>b</i> -60% <i>s</i> | 60% <i>b</i> -40% <i>s</i> | 80% <i>b</i> -20% <i>s</i> | 100% <i>b</i> |
| Materia orgánica (%) | 1.80 | 1.90 | 1.92 | 1.94 | 2.02 | 2.18 |
| pH | 8.02 | 7.95 | 7.94 | 7.93 | 7.92 | 7.91 |
| CE (dSm-1) | 2.54 | 2.58 | 2.58 | 2.58 | 2.60 | 2.65 |
| Nitratos (ppm) | 14.12 | 14.12 | 14.10 | 14.30 | 14.38 | 14.45 |
| Carbono O.% | 24.40 | 24.60 | 24.65 | 24.72 | 24.68 | 24.70 |
| Potasio (ppm) | 32.10 | 30.15 | 30.50 | 30.48 | 30.50 | 30.60 |
| Fósforo (ppm) | 40.50 | 40.58 | 40.60 | 40.64 | 40.68 | 40.70 |
| Nitrógeno (ppm) | 31 | 31.45 | 31.60 | 31.50 | 31.40 | 31.55 |

Elaboración propia

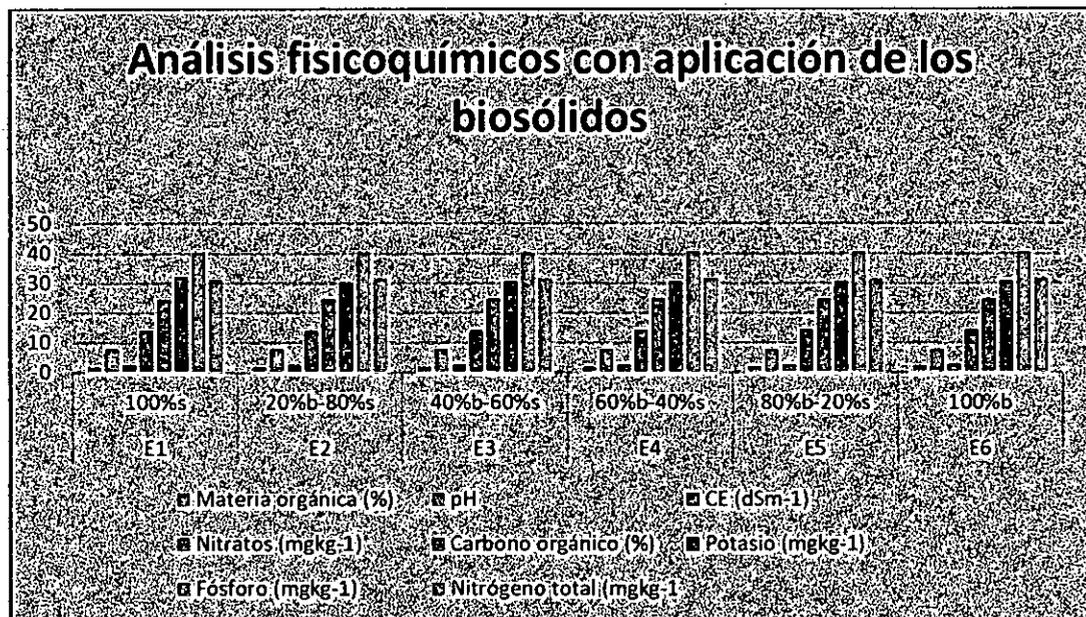


Figura 15: Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos
Elaboración propia

Tabla 13

Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos después de 65 días

| Parámetros | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
|----------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|
| | 100% <i>s</i> | 20% <i>b</i> -80% <i>s</i> | 40% <i>b</i> -60% <i>s</i> | 60% <i>b</i> -40% <i>s</i> | 80% <i>b</i> -20% <i>s</i> | 100% <i>b</i> |
| Materia orgánica (%) | 1.82 | 3.20 | 3.92 | 4.40 | 4.72 | 5.98 |
| pH | 8.00 | 7.45 | 7.24 | 7.03 | 7.02 | 6.80 |
| CE (dSm-1) | 2.56 | 4.58 | 4.65 | 5.28 | 5.30 | 5.60 |
| Nitratos (ppm) | 14.10 | 18.12 | 18.10 | 18.20 | 18.28 | 19.40 |
| Carbono O. % | 24.30 | 27.60 | 29.65 | 31.70 | 34.78 | 37.80 |
| Potasio(ppm) | 32.20 | 34.15 | 35.90 | 36.78 | 37.60 | 38.50 |
| Fósforo (ppm) | 40.58 | 44.50 | 46.80 | 47.84 | 49.68 | 50.70 |
| Nitrógeno(ppm) | 31.25 | 34.45 | 34.60 | 35.50 | 37.40 | 42.50 |

Elaboración propia

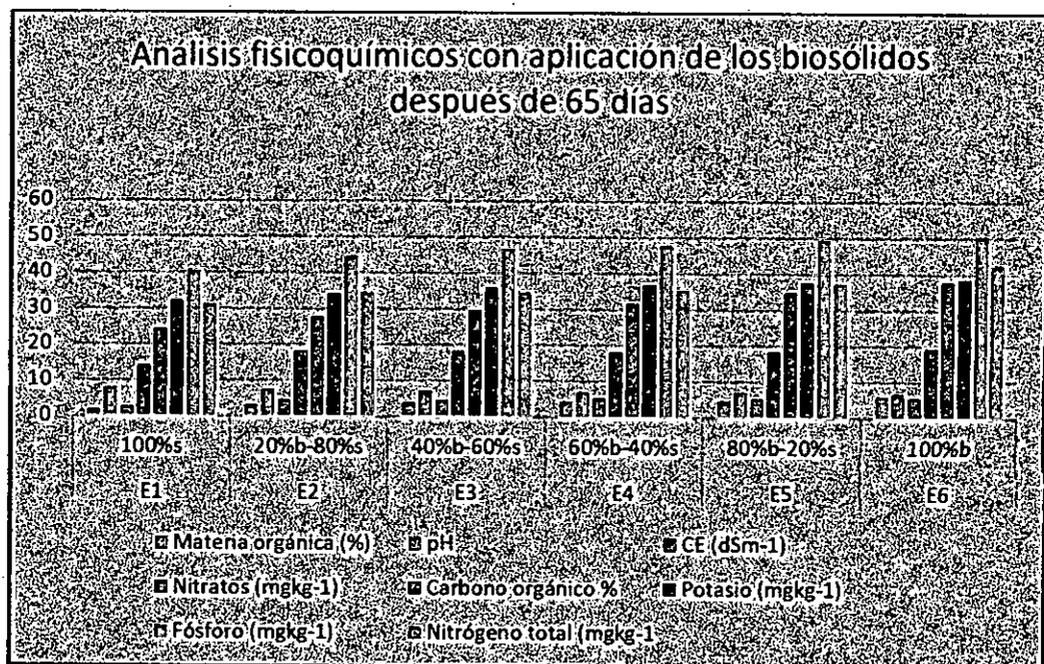


Figura 16: Análisis fisicoquímicos con aplicación de los biosólidos después de 65 días
Elaboración propia

Tabla 14

Concentración de los compuestos orgánicos persistentes en suelos

| Compuestos orgánicos Persistentes (mg·kg ⁻¹) | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
|--|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| | 100% _s | 20% _b -80% _s | 40% _b -60% _s | 60% _b -40% _s | 80% _b -20% _s | 100% _b |
| Aldrin | 10.32 | 8.20 | 5.40 | 3.40 | 2.10 | T |
| Dieldrin | 11.45 | 10.70 | 6.50 | 4.80 | 1.90 | T |
| Endosulfan | 11.12 | 10.10 | 7.20 | 4.45 | 2.05 | T |
| Mirex | 12.05 | 11.18 | 6.32 | 4.32 | 2.08 | T |
| Lindano | 10.92 | 8.15 | 6.50 | 3.25 | 1.65 | T |

s: suelo b: biosólido T: trazas
Elaboración propia

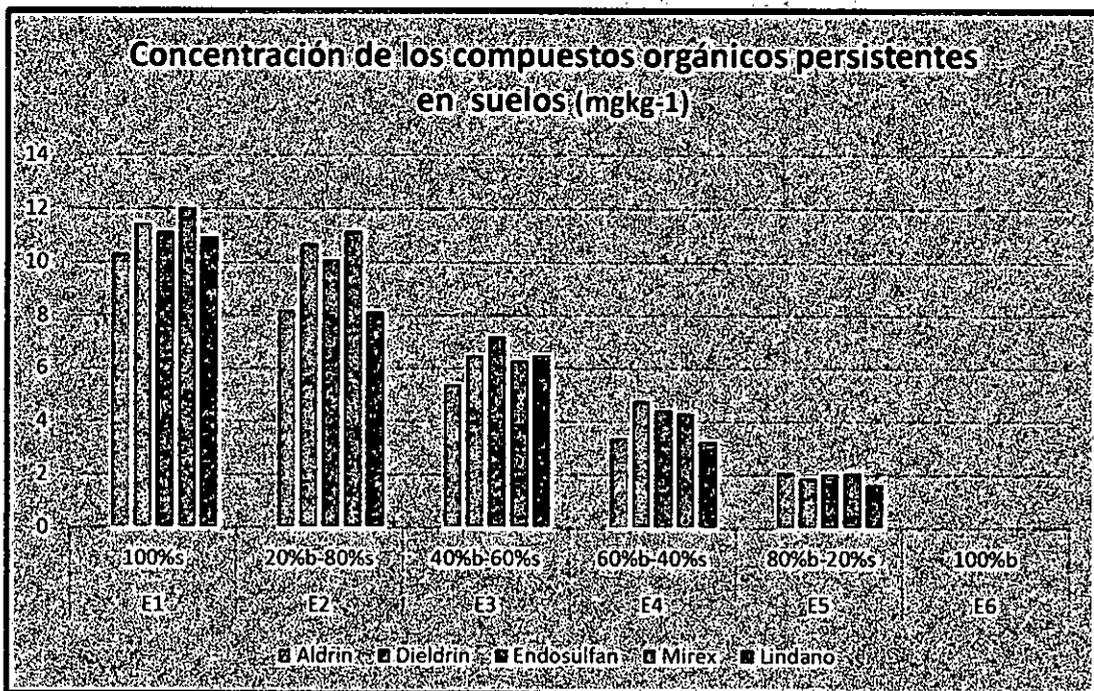


Figura 17: Concentración de compuestos orgánicos persistentes en suelos
Elaboración propia

Tabla 15
Índice de concentración de los biosólidos

| Compuestos orgánicos Persistentes | % de índice de concentración |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Aldrin | 84.83 |
| Dieldrin | 83.41 |
| Endosulfan | 81.46 |
| Mirex | 82.74 |
| Lindano | 84.89 |

Elaboración propia

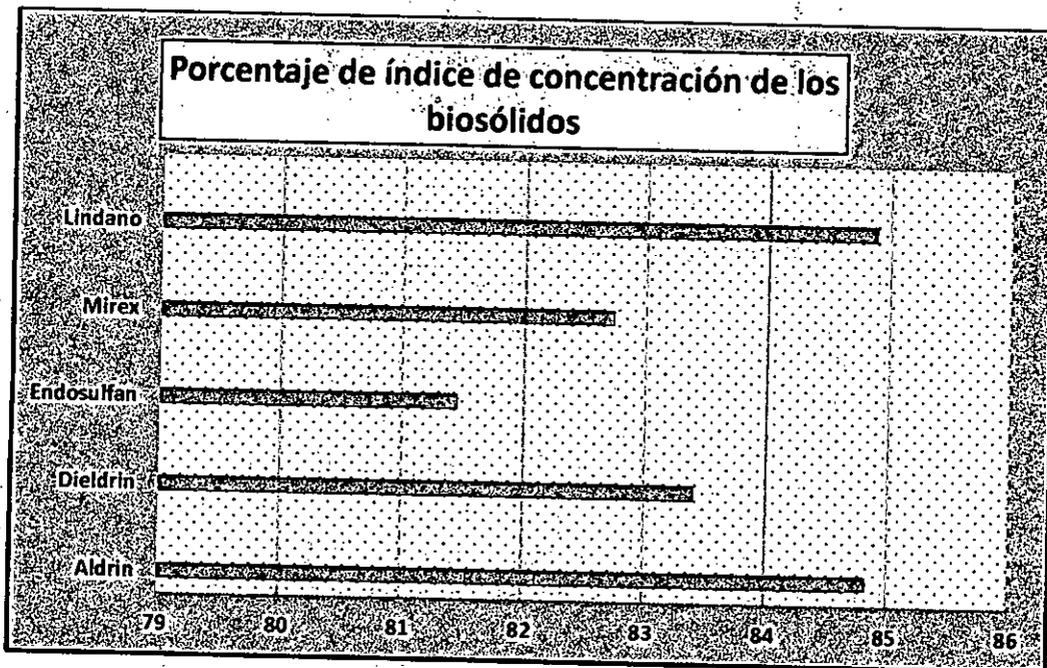


Figura 18: Porcentaje de índice de concentración de los biosólidos
Elaboración propia

5.3 Técnicas estadísticas para análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos se aplicó:

- Análisis estadísticos descriptiva

Tabla 16
Estadística descriptivos de los COPs

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. tip. |
|------------------------|---|--------|--------|--------|------------|
| ALDRIN | 6 | .00 | 10.32 | 4.9033 | 3.86306 |
| DIELDRIN | 6 | .00 | 11.45 | 5.9050 | 4.59541 |
| ENDOSULFAN | 6 | .00 | 11.12 | 5.8200 | 4.43340 |
| MIREX | 6 | .00 | 12.40 | 6.2533 | 4.76701 |
| LINDANO | 6 | .00 | 10.92 | 5.0950 | 4.14596 |
| N válido (según lista) | 6 | | | | |

Software SPSS 22

Tabla 17
Estadística descriptivos de los parámetros fisicoquímicos

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. tip. |
|----------------------------|---|--------|--------|---------|------------|
| MATERIA ORGANICA | 6 | 1.82 | 5.98 | 4.0067 | 1.41402 |
| pH | 6 | 6.80 | 8.00 | 7.2567 | .42571 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA | 6 | 2.56 | 5.60 | 4.6617 | 1.10400 |
| NITRATOS | 6 | 14.10 | 18.40 | 17.5333 | 1.68559 |
| CARBONO ORGÁNICO | 6 | 24.30 | 26.80 | 26.1383 | 1.00956 |
| POTASIO | 6 | 32.20 | 38.50 | 35.8550 | 2.33087 |
| FÓSFORO | 6 | 40.58 | 50.70 | 46.6833 | 3.70088 |
| NITRÓGENO | 6 | 31.25 | 42.50 | 35.9500 | 3.77809 |
| N válido (según lista) | 6 | | | | |

Software SPSS 22

Tabla 18
Correlación de Pearson análisis estadístico de los compuestos

| | | MATERIA ORGANICA | NITRATOS | CARBONO ORGÁNICO | POTASIO | FÓSFORO | NITRÓGENO |
|---------------------|---------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|----------|-----------|
| MATERIA ORGANICA | Correlación de Pearson | 1 | .796 | .896(*) | .983(**) | .979(**) | .950(**) |
| | Sig. (bilateral) | | .058 | .016 | .000 | .001 | .004 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| NITRATOS | Correlación de Pearson | .796 | 1 | .906(*) | .804 | .841(*) | .658 |
| | Sig. (bilateral) | .058 | | .013 | .054 | .036 | .155 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| CARBONO ORGÁNICO | Correlación de Pearson | .896(*) | .906(*) | 1 | .939(**) | .947(**) | .722 |
| | Sig. (bilateral) | .016 | .013 | | .005 | .004 | .105 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| POTASIO | Correlación de Pearson | .983(**) | .804 | .939(**) | 1 | .996(**) | .888(*) |
| | Sig. (bilateral) | .000 | .054 | .005 | | .000 | .018 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| FÓSFORO | Correlación de Pearson | .979(**) | .841(*) | .947(**) | .996(**) | 1 | .886(*) |
| | Sig. (bilateral) | .001 | .036 | .004 | .000 | | .019 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| NITRÓGENO | Correlación de Pearson | .950(**) | .658 | .722 | .888(*) | .886(*) | 1 |
| | Sig. (bilateral) | .004 | .155 | .105 | .018 | .019 | |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Existe una correlación positiva lo que indica que cuando las concentraciones de nitratos, fósforo, potasio y nitrógeno, aumentan entonces el porcentaje de materia orgánica aumenta.
Software SPSS 22.

Tabla 19
Correlación de Pearson análisis estadístico de los COPs.

| | | ALDRIN | DIELDRIN | ENDOSUL FAN | MIREX | LINDANO |
|------------|------------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| ALDRIN | Correlación de Pearson | 1 | .989(**) | .989(**) | .993(**) | .993(**) |
| | Sig. (bilateral) | | .000 | .000 | .000 | .000 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| DIELDRIN | Correlación de Pearson | .989(**) | 1 | .996(**) | .990(**) | .978(**) |
| | Sig. (bilateral) | .000 | | .000 | .000 | .001 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| ENDOSULFAN | Correlación de Pearson | .989(**) | .996(**) | 1 | .984(**) | .988(**) |
| | Sig. (bilateral) | .000 | .000 | | .000 | .000 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| MIREX | Correlación de Pearson | .993(**) | .990(**) | .984(**) | 1 | .975(**) |
| | Sig. (bilateral) | .000 | .000 | .000 | | .001 |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| LINDANO | Correlación de Pearson | .993(**) | .978(**) | .988(**) | .975(**) | 1 |
| | Sig. (bilateral) | .000 | .001 | .000 | .001 | |
| | N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

** La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Existe una correlación positiva lo que indica que los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas se degradan porque existe una influencia directa de los biosólidos.
 Software SPSS 22.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

La reducción de los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas aldrin, dieldrin, endosulfan, mirex, y lindano (γ -HCH), se logró mediante la aplicación de los biosólidos por tener una gran capacidad adsorbente para ello se aplicó en las seis estaciones las siguientes proporciones: E1: 100% suelo, E2: 80% suelo-20% biosólido, E3: 60% suelo-40% biosólido, E4: 40% suelo-60% biosólido, E5: 20% suelo-80% biosólido, E6: 100% biosólido. Al cabo de 65 días se realizaron los análisis en cada una de las estaciones y se observó una reducción en las concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes, llegando a valores de trazas.

Siendo las características fisicoquímicas de los biosólidos para reducir los compuestos orgánicos persistentes presentaron un 35.70% sólidos totales, 9.25% sólidos volátiles, un 80.10% retención de humedad y concentración de metales de cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc, valores muy por debajo de los límites máximos permitidos según norma EPA. Además, presenta un índice de concentración de biosólidos valores mayores al 80%, lo que demuestra que los biosólidos tienen gran capacidad adsorbente

Las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas como el porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbono orgánico, nitratos, potasio, fósforo, nitrógeno, se vieron incrementados en valores muy significativos ya que los biosólidos no solamente redujeron las concentraciones de la reducción de los compuestos orgánicos persistentes, sino también aportaron altas concentraciones de nutrientes en los suelos con un pH neutro.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

De acuerdo a la información obtenida de los últimos años, todos los autores coinciden en que los compuestos orgánicos persistentes como insecticidas, fungicidas, herbicidas, los policlorobifenilos (PCBs), furanos, diclorodifeniltricloroetano (DDT) y las dioxinas, son compuestos altamente tóxicos, debido a que contienen enlaces carbono-halógeno muy estables en el ambiente. La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, (2003), en su informe sobre la contaminación de suelos por compuestos orgánicos, señala que la fotólisis como un fenómeno de superficie evitará que los compuestos orgánicos se incorporen a la masa del suelo, considera ciertos factores como la volatilidad de los compuestos orgánicos, estructura orgánica y la capacidad de adsorción, así como la concentración, las propiedades del suelo como la humedad y contenido de materia orgánica, en el presente trabajo también se ha considerado estos parámetros fisicoquímicos tanto en el suelo como del biosólido.

Escobar C. et al, 2015, determinaron que el hexaclorociclohexano (lindano) y endosulfan existen en suelos agrícolas del estado de Chiapas-México con los niveles de lindano (HCH) y endosulfan presentes en suelos de 159. 357 ppm para lindano y 133.79 ppm para endosulfan. Estos resultados son mayores que los reportados en nuestro estudio, siendo 10.92 mg kg⁻¹ para el lindano (HCH) y 11.12mg kg⁻¹ para endosulfan, también en los suelos de Carabaylo se encontró aldrin 10.32 mg kg⁻¹, dieldrin, 11.45 mg kg⁻¹ y mirex 12.05 mg kg⁻¹.

Rojas R. 2013, llevó a cabo una investigación en la Universidad de Sevilla, sobre el Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en medio subterránea mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos, en la que desarrolló métodos para evaluar la capacidad de los residuos orgánicos para adsorber a los plaguicidas, se determinó la cantidad óptima de residuo orgánico que utilizaron para determinar el tiempo de equilibrio, velocidad cinética y los resultados

se ajustaron a diversos modelos de isotermas de adsorción, mientras que en el presente estudio se aplicó el uso de biosólidos, su capacidad de adsorción se determinó mediante el índice de concentración siendo los resultados valores mayores al 80%.,considerando proporciones de 20,40,60, 80 y 100% de biosólidos en la composición de la mezcla con el suelo, logrando reducir los COPs a los 65 días.

Betancur B. et al, 2013, en su investigación sobre biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: dicloro difenil tricloroetano (DDT), exactamente 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano, realizado en la Universidad Nacional de Colombia, lo lleva a cabo mediante el uso de microorganismos para degradar los compuestos orgánicos presentes en el suelo, transformándolos en compuestos más simples de menor peligrosidad, lo que se logra también con el uso de los biosólidos, la adición de nitrógeno y fósforo que contiene los biosólidos, ya que estos son ricos en nutrientes, estimula la biodegradación de estos compuestos.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

El autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en presente informe final de investigación, de acuerdo al Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la UNAC, Resolución de Consejo Universitario N° 210-2017-CU., donde se señala los principios éticos como norma de comportamiento conductual.

El autor reconoce que la investigación es una función esencial y obligatoria en la UNAC, por ello el investigador es responsable de los procesos y procedimientos de diseño, desarrollo y evaluación de su investigación para lo cual se actualiza permanentemente sus conocimientos y dedica el tiempo suficiente para desarrollar sus proyectos de investigación.

CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye que, mediante la aplicación de los biosólidos en las distintas proporciones, se ha reducido las concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes, aldrin, dieldrin, endosulfan, mirex y lindano (γ -HCH) en los suelos agrícolas de Carabayllo-Lima, logrando a reducir a valores de trazas al 100% de biosólidos.
- ✓ Las características fisicoquímicas de los biosólidos para reducir los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas, presentaron valores de 35.70% de sólidos totales, 9.25% de material volátil y 80% de retención de humedad, concentración de metales de cadmio (0.01 mg/kg), cobre (104 mg/kg), níquel (44.5 mg/kg), plomo (65 mg/kg) y zinc (125 mg/kg), estando los valores muy por debajo de los límites máximos permitidos por la EPA, la cual permitió establecer la no peligrosidad del biosólido y utilizar sin ninguna restricción en los suelos agrícolas.
- ✓ Las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas presentaron diferencias significativas en los valores iniciales y luego después de 65 días de la aplicación de los biosólidos, en el porcentaje de materia orgánica, un aporte de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio en las 6 estaciones. Además, el valor de pH tuvo una influencia directa del porcentaje de materia orgánica y en la conductividad eléctrica, que indican una respuesta efectiva después de las mezclas dado el aporte de materia orgánica rico en nutrientes y minerales por parte de los biosólidos.

- ✓ La adición de nitrógeno y fósforo al suelo contaminado por COPs, lo que hace es que estos aportes estimulan la biodegradación de estos compuestos y se incrementa los microorganismos en el suelo. La cantidad que se necesita de nitrógeno y fósforo para la biodegradación, está en la medida que los microorganismos utilizan la fuente de carbono para su crecimiento. Existen estudios en donde se señalan que existen bacterias nativas o aisladas de otras fuentes, para degradar el DDT.

- ✓ La capacidad de adsorción de los biosólidos para los compuestos orgánicos persistentes en los suelos agrícolas, se determina mediante el índice de concentración de COPs en los biosólidos, de los resultados se obtuvieron valores mayores al 80% de índice de concentración de COPs, que se sustenta en la acumulación de los compuestos orgánicos que son grupos químicos que tienen afinidad por el biosólido. Estos biosólidos cuentan con mecanismos de tolerancia interna para inmovilizar, degradar los compuestos orgánicos persistentes.

- ✓ Según la normatividad peruana Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA en el CAPÍTULO X Manejo de los biosólidos generados en el servicio de tratamiento de aguas residuales Artículo 29, señala que los biosólidos producidos a partir de la estabilización y/o higienización de los lodos provenientes de las PTAR pueden ser comercializados para su reaprovechamiento con fines agrícolas, forestales y otros. Debido a la suficiente concentración de nutrientes, bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, para garantizar y establecer la no peligrosidad del material.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda utilizar los biosólidos para reducir concentraciones de los compuestos orgánicos persistentes debido a que presentan sus características fisicoquímicas de acuerdo a las normas establecidas por la EPA, además el índice de concentración de estos biosólidos son valores mayores al 80%.
- ✓ Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, deben ser sometidos a procesos de estabilización y deshidratación como parte de los procesos de tratamiento de lodos, siendo un requisito para su transporte, disposición final o reaprovechamiento, para así garantizar el uso de los biosólidos.
- ✓ Se debe fomentar una conciencia ambiental para el uso de biosólidos no solamente para degradar los compuestos orgánicos, sino también utilizar como fertilizantes naturales, así sustituir los fertilizantes químicos para contar con alimentos sanos dentro de la sustentabilidad de los suelos agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aggelides, S. M.; Londra, P. A. (2000). *Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil*. *Bioresource Technolog.* 71(3): 250–270

Andrade, M. L.; Quintero, M.; Reyzabal, M. L.; Estévez, J. (1999). *Composición de materia orgánica y determinación de metales en biosólidos para su uso potencial como enmendantes de suelo*. *Revista Información Tecnológica* 10(6): 70–84.

Arellano, D. S. (1999). *Mecanismos de deposición de contaminantes orgánicos persistentes en zonas remotas de Europa*. Universidad de Barcelona.

Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (1999). *Manual práctico para compostaje de biosólidos*. Rio de Janeiro: Universidad Estatal de Londrina, Brasil.

Aurrecochea, J. L. (2004). *Guía Metodológica para Análisis Químico de Suelos*. Universidad de Valencia. España.

Avelino, C. C. (2018). *Aplicación de biofertilizantes para degradar suelos salinos en Huachipa-Lima*. Informe Final de Investigación. Universidad Nacional del Callao.

Barbarick, K. A.; Hipólito, J. A. (2003). *Termination of sewage biosolids application affects wheat yield and other agronomic characteristics*. *Agronomy Journal* 95 (5): 1288–1294.

Benitez, E.; Romero, M.; Gómez, M. (2001). *Biosolid and biosolid ash as sources of heavy metals in plant–soil system*. *Water, Air and Soil Pollution* 132: 72–80.

- Betancur, C.; Pino N.; Peñuela G y Cardona G. (2013), *Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT*. Gestión y Ambiente, vol. 16, núm. 3, pp. 112-120. Universidad Nacional de Colombia.
- Beyer, A., Wania, F., Gouin, T., Mackay, D., Matthies, M. (2002). Selecting internally consistent physicochemical properties of organic compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 21, (5) 938-950.
- Blais, J. M., Schindler, D. W., Muir, D. C. G., Kimpe, L. E., Donald, D. B., Rosenberg, B. (1998) Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada. *Nature*. 395, 565-575.
- Brevik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C. (2002). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 1. Global production and consumption. *Science of the Total Environment*. 290, 185-195.
- Brubaker, W., W., Hites, R. A. (1998). Reaction kinetics of gas-phase and hexachlorocyclohexane and hexachlorobenzene. *Environmental Science and Technology*. 32, 760-765.
- Burgos, J.M. Ellington B.A and Varela M.F (2005). Presence of multidrug resistant bacteria in dairy farm. *Sci* 88:1390-1396.
- Cano, G, A. (2006). *Manual de prácticas de la materia edafología*. Chiapas Gobierno del Estado. México.
- Castilla, P., Waatts and Gray J.T (2012), *Quantitative analysis using soils*. Universidad of Gueph, Canada.
- Castrejon, G., Briggs, G., Seinfeld, J. (2014), *Analysis of soils and farm*. *Sci*.90:108.

- Cejudo, I, Sagendorf, J.F, Pielke, R.A. (2012). *Modeling of soil and pollution. Guide to the Texas model*. John Wiley. New York.
- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (2003). *Contaminación de suelos por compuestos orgánicos*, Junta de Andalucía y las Universidades de Sevilla, Granada y Huelva.
- Convenio de Estocolmo (2011). Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente . *Avances en la reducción y eliminación de las descargas intencionales de contaminantes orgánicos persistentes*. EPA.
- Cogger, C.G.; Bary, A. I.; Fransen, S. C.; Sullivan, D. M. (2001). *Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue*. J. Environ. Qual. 30: 2188–2194.
- Delgado, M.; Miralles, R.; Porcel, M. A.; Beltrán, E. M.; Beringola, L.; Bigeriego, M. (2002). *Ensayo sobre el efecto como fertilizantes del compost de lodo y del RSU, para su empleo en la forestación de tierra agrarias*. Montes 67: 50-60.
- Delgado, M.; Porcel, M. A; Miralles, R.; Bellido, N.; Beringola, L.; Beltrán, E. M.; Calvo R. (1999). *Mineralización de nitrógeno procedente de residuos orgánicos*. Rev. Int. de Contaminación Ambiental. 15(1): 19-25.
- EPA -2006. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos- Convenio de Estocolmo. Lista de COPs.
- Escobar, D. Rendón, J. Guillén, H. Caballero, A. y Figueroa, J. (2015). *Determinación de Hexaclorociclohexano y endosulfán en suelos agrícolas del estado de Chiapas*. AIDIS. 8 (2), 165-173.

- Fernandez, P., Grimalt, J. O., Vilanova, R. M. Atmospheric gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in high mountain regions of Europe. *Environmental Science and Technology*. 2002, 36, (6) 1158-1160.
- Fernandez, P., Grimalt, J. O. (2003). On the global distribution of persistent organic pollutants. *Chimia*. 57, (9) 510-518.
- Fernandez, P., Carrera, G., Grimalt, J. O., Ventura, M., Camarero, L., Catalan, J., Nickus, U., Thies, H., Psenner, (2002) R. Factors governing the atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to remote areas. *Environmental Science and Technology*. 2003, 37, (15) 3258-3264.
- García Ubaque, C. A; García Ubaque, J. C y Vaca Bohórquez, M. L. (2014), *Compuestos orgánicos persistentes: Cuantificación y diagnóstico para pesticidas organoclorados*. Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). *Metales pesados totales y arsenico en el agua para riego*, de Puebla y Veracruz. *SciELO*, 1-3.
- Gomes, J. Amaya, A. Waliszewski, S. Colín, A. y García, M. (2013). *Extraction and clean-up methods for organochlorine pesticide*. *Chemosphere* 92, 233-246.
- Guía de Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (1999). Departamento de Agricultura Servicio de Investigación Agrícola – USDA.
- Gutiérrez, J. y Londoño, A. (2009). *Determinación de plaguicidas organoclorados y organofosforados en tomates de mercados de cadena en las ciudades de Pereira y Armenia, Colombia*. *Bol. Latin. Car. Plan. Medi. Arom.* 8 (3), 155-165.

- Hernández Sampieri, R. (2009), *Metodología de la investigación*. McGrawHill. 3era Edición.
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R. (1993). Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environmental Science and Technology*. 27, (6) 1060-1075.
- Jantunen, L. M., Helm, P. A., Kylin, H., Bidlemant, T. F. (2008) Hexachlorocyclohexanes (HCHs) in the Canadian exchange of alpha- and gamma-HCH. *Environmental Science and Technology*. 42, (2) 460-472.
- Jensen, S., Johnels, A. G., Olsson, M., Otterlind, G. (1969). DDT and PCB in marine animals from Swedish waters. *Nature*. 224, (5216) 247-250.
- Landon, J.R. (1998). Manual de suelos tropicales. Berlin: WCB McGraw-Hill.
- Lindsay, W.L. (2005). Chemical equilibria in soils. New York: John Wiley and sons.
- Llanes H., Cabrera C. Otero M., Dominguez P., (2012). Manejo integrado del suelo para la producción de tabaco en San Luis, Avances V.14(3).
- Macdonald, R. W., Mackay, D., Li, Y.F., Hickie, B. (2003). How Will Global Climate Change Affect Risks from Long-Range Transport of Persistent Organic Pollutants? *Human and Ecological Risk Assessment*. 9, (3) 640-650.
- Mackean, S. 1993. Manual de Análisis de Suelos y Plantas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

Manual de Procedimientos Analíticos, (2010). Laboratorio de física de suelos del Instituto de Departamento de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Manual de funcionamiento de Cromatógrafo de gases CG-MS, Agilent 6890N

Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Valero, J.; Calvo, R.; Delgado, M. (2003). *Disponibilidad de nutrientes por el aporte de lodos de estaciones depuradoras*. Rev. Int. Contaminación Ambiental. 19(3): 120–132.

Morrison Robert Thornton y Boyd Robert Neilson. (1998). Química Orgánica. Copyrighted material. Quinta edición.

Ormazabal, F y Larrañaga, E. (1998). Investigación de la contaminación del suelo, diseño de muestreo. Guía Metodológica de suelos, 74-76. 46

Perez, C. Martínez, M. García, L. (2008). Uptake of Cd and Pb natural vegetación in soils polluted by minning activities. Fresenius environmental Bulletin, 1666-1671. 47.

Pilon, E. (2005). Phytoremediacion. Annu Plant Biology. 12-20.

Quinchía, A. M. y Carmona, D.M. (2004). *Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada*, Grupo de Investigación Ambientales, Universidad Nacional de Colombia.

Rojas, R.R. (2013), *Desarrollo de métodos para la reducción de contaminación por plaguicidas en aguas subterráneas mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos*, Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingenieros Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental.

- Sánchez Martín y Sánchez Camazano (1984). Temas de divulgación sobre los plaguicidas, adsorción y evolución en el suelo. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología.
- Simonich, S. L., Hites, R. A. (1995). Global Distribution of Persistent Organochlorine Compounds. *Science*. 269, 1854-1858.
- Torseth, K., Aas, W., Breivik, K., Fjaeraa, A. M. (2012). Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972-2009. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
- Velazco, J. (1983). Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. México: UACH.
- Wania, F., Mackay, D. (1993). Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar-regions. *Ambio*. 1993, 22, 15-18.
- Weber, J., Halsall, C. J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., (2010). Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. *Science of Total Environment*. 408, (15) 2966-2984.
- Zagal, E. y Sadzawka, A. (2007). Protocolo de Métodos de Análisis para todos la Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chile.

ANEXOS:

- Matriz de Consistencia
- Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA)
- Gráfico de normalidad de COPs y de los parámetros fisicoquímicos

➤ ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO (Perú)

| N° | Parámetros | Usos del Suelo | | | Método de ensayo |
|----|---|----------------|---------------------------|--|------------------------------------|
| | | Suelo Agrícola | Suelo Residencial/Parques | Suelo Comercial/Industrial/Extractivos | |
| I | Orgánicos | | | | |
| | Beceno (mg/kg MS) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | EPA 8260-B |
| | Tolueno (mg/kg MS) | 0,37 | 0,37 | 0,37 | EPA 8260-B |
| | Etilbenceno (mg/kg MS) | 0,082 | 0,082 | 0,082 | EPA 8260-B |
| | Xileno (mg/kg MS) | 11 | 11 | 11 | EPA 8260-B |
| | Naftaleno (mg/kg MS) | 0,1 | 0,6 | 22 | EPA 8260-B |
| | Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS) | 200 | 200 | 500 | EPA 8015-B |
| | Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS) | 1 200 | 1 200 | 5 000 | EPA 8015-M |
| | Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS) | 3 000 | 3 000 | 6 000 | EPA 8015-D |
| | Benzo (a) pireno (mg/kg MS) | 0,1 | 0,7 | 0,7 | EPA 8270-D |
| | Bifenilos policlorados – PCB (mg/kg MS) | 0,5 | 1,3 | 33 | EPA 8270-D |
| | Aldrin (mg/kg MS) | 2 | 4 | 10 | EPA 8270-D |
| | Endrin (mg/kg MS) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | EPA 8270-D |
| | DDT (mg/kg MS) | 0,7 | 0,7 | 12 | EPA 8270-D |
| | Heptacloro (mg/kg MS) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | EPA 8270-D |
| II | Inorgánicos | | | | |
| | Cianuro libre (mg/kg MS) | 0,9 | 0,9 | 8 | EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F |
| | Arsénico total (mg/kg MS) | 50 | 50 | 140 | EPA 3050-B |
| | Bario total (mg/kg MS) | 750 | 500 | 2 000 | EPA 3050-B |
| | Cadmio total (mg/kg MS) | 1,4 | 10 | 22 | EPA 3050-B |
| | Cromo VI (mg/kg MS) | 0,4 | 0,4 | 1,4 | DIN 19734 |
| | Mercurio total (mg/kg MS) | 6,6 | 6,6 | 24 | EPA 7471-B |
| | Plomo total (mg/kg MS) | 70 | 140 | 1 200 | EPA 3050-B |

Fuente: www.minam.gob.pe/eca para suelos.

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

DIN: German Institute for Standardization MS: materia seca a 105°C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40°C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10°C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada < 2mm.

Nota 1: Plaguicidas regulados debido a su persistencia en el ambiente, en la actualidad está prohibido su uso, son Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). Nota 2. Concentración de metales totales.

➤ Gráfico de normalidad de COPs y de los parámetros fisicoquímicos

Gráfico P-P Normal de ALDRIN

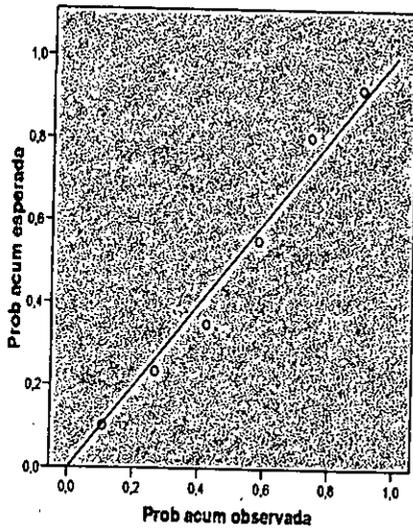


Gráfico P-P Normal de DIELDRIN

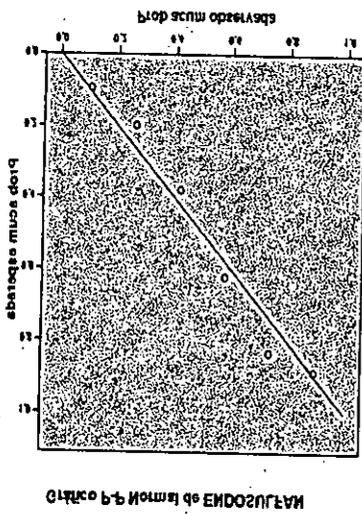
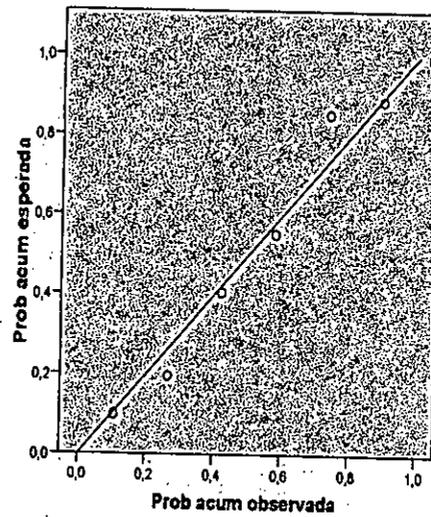
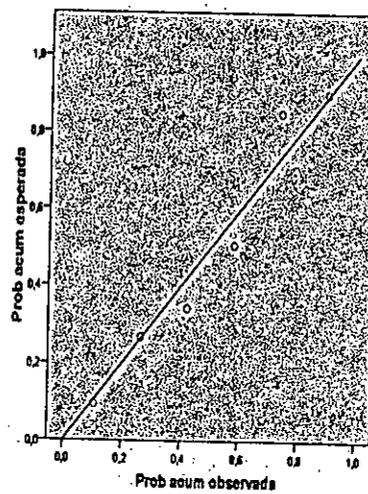


Gráfico P-P Normal de MIREX



Handwritten signature

Gráfico P-P Normal de LINDANO

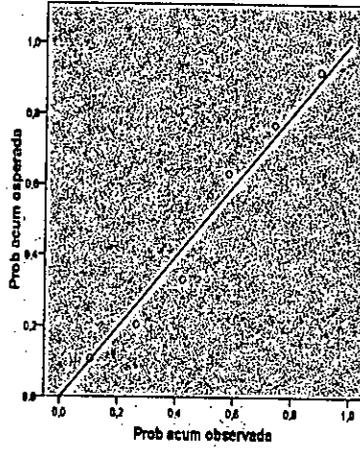


Gráfico P-P Normal de MATERIA ORGANICA

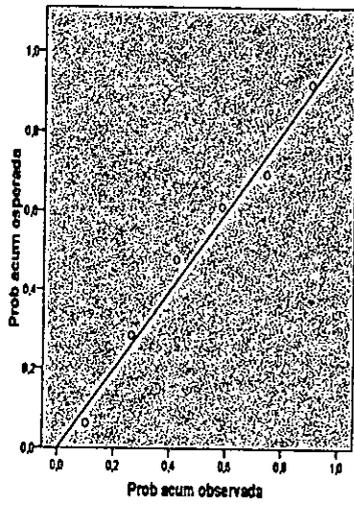
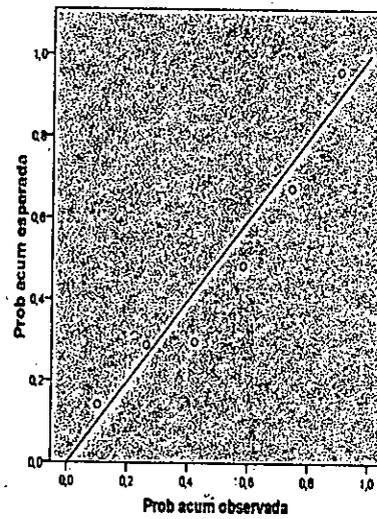


Gráfico P-P Normal de pH



Handwritten signature

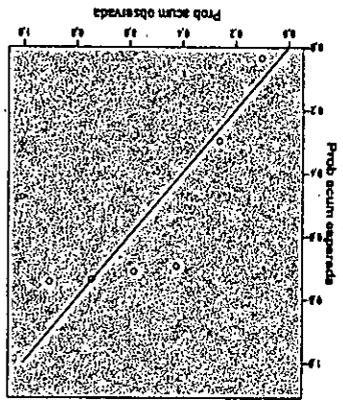


Gráfico P-P Normal de CARBONO ORGANICO

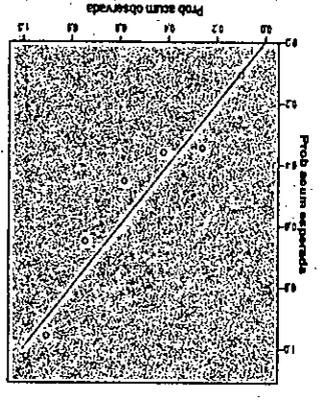


Gráfico P-P Normal de NITROGENO

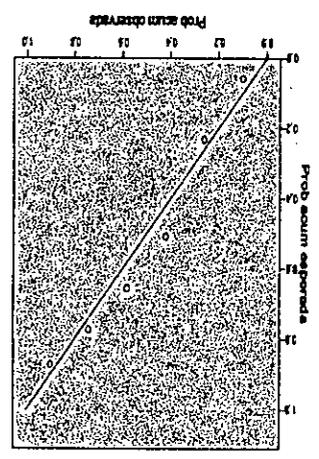


Gráfico P-P Normal de POTASIO

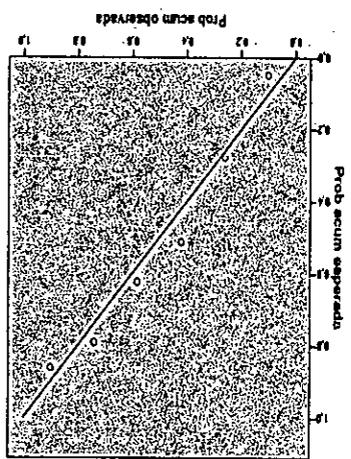


Gráfico P-P Normal de FOSFORO

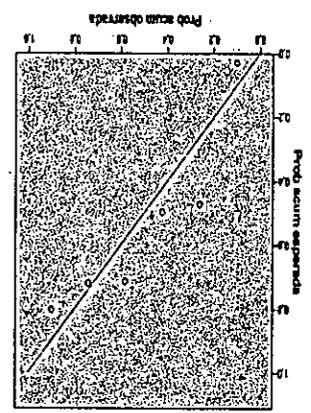


Gráfico P-P Normal de CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

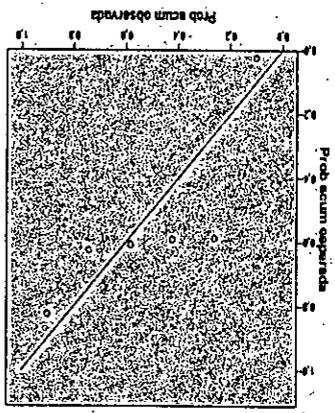


Gráfico P-P Normal de NITRATOS