



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

UNIDAD ZACATENCO

**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADOS E
INVESTIGACIÓN**

**Movilidad de un plaguicida organoclorado en
un tiradero de Residuos Sólidos Municipales
en Los Altos Ayahualulco, Veracruz.**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
PRESENTA**

JESSICA MIRELES MORALES

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE MELENDEZ ESTRADA.

MÉXICO, D.F. DICIEMBRE DEL 2010.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 16:00 horas del día 08 del mes de diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. – U. Z. para examinar la tesis titulada:
Movilidad de un plaguicida organoclorado en un tiradero de Residuos Sólidos Municipales en Los Altos Ayahualulco, Veracruz.

Presentada por el alumno:

Mireles
Apellido paterno

Morales
Apellido materno

Jessica
Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	0	9	3
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dr. Jorge Meléndez Estrada

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

M. en I. Felipe López Sánchez

M. en C. Javier Avila Moreno

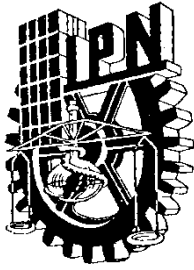
M. en C. Lucio Fragozo Sandoval

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D.F. el día 10 del mes Diciembre del año 2010, la que suscribe Jessica Mireles Morales alumna del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B081093, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura UZ, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Jorge Meléndez Estrada y cede los derechos del trabajo intitulado **“Movilidad de un plaguicida organoclorado en un tiradero de Residuos Sólidos Municipales en los Altos Ayahualulco, Veracruz.”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jesse_mireles@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Jessica Mireles Morales

Dedico este trabajo a Dios por permitirme disfrutar de este hermoso mundo, por darme las fuerzas para salir adelante en momentos difíciles. Gracias señor por que nos amas tanto y llenas esta vida con personas bellas.

Dedico este trabajo a mi ángel de la guarda que siempre está mirando desde el cielo, ya no tocas nuestras manos, pero siempre te llevaremos en el corazón. Negrito eres mi persona favorita.

Agradecimientos

A mi pequeña familia, porque nunca me dejan sola, en verdad gracias por todo.

Papá, gracias por cultivar en mí la fuerza y el valor. Gracias a eso podré superar cualquier cosa y también sé que siempre estarás ahí impulsándome.

Madre, siempre estaremos unidas, te agradezco infinitamente todo el amor que envías a través de los kilómetros.

Estefanía gracias por dejarme cuidarte y porque ahora tu también me cuidas.

Eleazar y Fedra, por compartirnos sus risas y por sus ganas de salir adelante.

Arlen, tía gracias por los peinados para las ocasiones especiales, porque me hacías sentir como princesita. Y por quererme como madrina de tu hijo.

Abuelitas, por consentirnos tanto y por ser las guías de nuestra familia.

Al amor de mi vida, bebé gracias porque de a poco vamos formando nuestra nueva familia, deseo que Dios te bendiga siempre. Bebé te Amo como jamás imagine.

A Don Ramón y la señora Paulita, por quererme como a una hija.

A los que son como propios hermanos. Aline, Ramón, Oliver, Lili y Gaby, gracias por ser esas personas espectaculares.

A mis amigos, los que han pasado y se han quedado, porque todos ustedes han marcado mi vida.

A todos mis profesores de la maestría, por su vocación y esfuerzo que nos van formando como profesionistas. Este reconocimiento es especialmente al Doctor Meléndez, por su labor como guía y por todo el apoyo.

A mi equipo de trabajo conformado por Janeth, Saúl, Heriberto, Mauricio, Ivonne, Toaki, Arturo, Víctor, Itzel. Gracias por su colaboración y entrega.

Índice

Índice de Tablas.....	9
Índice de Figuras.....	10
Resumen.....	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1. Justificación.....	15
1.2. Objetivo General	16
1.3. Objetivos Específicos	16
1.4. Hipótesis	16
2. Generalidades.....	17
2.1. Antecedentes históricos: uso y manejo de agroquímicos y su peligrosidad	17
2.2. Consideraciones generales suelo-plaguicida	20
a. Dinámica general de los plaguicidas en suelo.....	20
b. Acción, absorción y reciclado en el suelo.....	21
2.3. Plaguicidas.....	23
a. Plaguicidas Organoclorados	24
b. Endosulfán y sus metabolitos.....	26
2.4. Aspectos jurídicos y normatividad aplicable.....	30
2.5. Estado del Arte.....	33
3. Características del municipio de Ayahualulco	35
3.1. Ubicación geográfica y aspectos ambientales	35
Hidrografía	36
Clima.....	36
Principales Ecosistemas	36
Características de Uso del Suelo.....	36
3.2. Perfil socio demográfico	36
Grupos Étnicos	36
Evolución Demográfica	36

3.3.	Infraestructura Social y de Comunicaciones	37
3.4.	Actividad económica	38
3.5.	Problemática de Ayahualulco: cultivos, plagas, manejo de agroquímicos y su disposición final.....	38
4.	Materiales y métodos	42
4.1.	Revisión bibliográfica y documental	43
4.2.	Selección y reconocimiento de la zona de estudio.....	43
4.3.	Evaluación de prácticas agrícolas con el de uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco	43
4.4.	Levantamiento topográfico	45
4.5.	Muestreo de suelo.....	46
4.6.	Determinación del plaguicida: Curvas de calibración Extracción, purificación y cuantificación.	47
4.7.	Caracterización del suelo	52
4.8.	Interpretación de los análisis realizados.....	54
4.9.	Discusión de resultados	54
5.	Resultados	55
5.1.	Prácticas agrícolas para el de uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco	55
5.2.	Topografía del tiradero a cielo abierto y ubicación de los puntos de muestreo	57
5.3.	Determinación de propiedades de los suelos.....	58
5.3.1	Textura	58
5.3.2	Densidad real, aparente y porosidad.....	60
5.3.3	Humedad a capacidad de campo.....	65
5.3.4	Materia orgánica.....	66
5.3.5	Nitrógeno orgánico	69
5.3.6	Fósforo disponible en suelos (P)	71
5.3.7	Capacidad de Intercambio Catiónico.....	73
5.3.8	pH, técnica de Bates	75
5.4.	Determinación de plaguicidas en suelo.....	76
6.	Discusión	78

7. Conclusiones y recomendaciones.....	81
Anexos	84
Procedimientos de laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos en las muestras de suelo	84
a.1 Determinación del pH del suelo	84
a.2 Determinación de MO del suelo método de Walkley & Black	85
a.3 Textura.....	86
a.4 Capacidad de campo	89
a.5 Humedad	90
a.6 Densidad real.....	90
a.7 Densidad aparente.....	91
a.8 Capacidad de Intercambio Catiónico	92
a.9 Nitrógeno	94
a.10 Fosforo.....	96
Bibliografía	99
Glosario	105

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Efectos negativos del uso excesivo de plaguicidas	19
Tabla 2.2. Clasificación de plaguicidas	23
Tabla 2.3 Características fisicoquímicas de los plaguicidas.....	25
Tabla 2.4 Solubilidad del endosulfán en diferentes compuestos.....	29
Tabla 2.5 Características del endosulfán y sus metabolitos.....	30
Tabla 2.6. Aspectos jurídicos relacionados con el manejo de envases vacíos	32
Tabla 3.1. Censo de servicios públicos existentes en Ayahualulco.....	37
Tabla 3.2. Población Económicamente Activa por Sector Productivo	38
Tabla 4.1. Determinación de parámetros del suelo	54
Tabla 5.1. Productos que contienen Endosulfán.	56
Tabla 5.2. Otros productos agroquímicos comúnmente usados en Ayahualulco	56
Tabla 5.3. Determinación de clase textural de muestras.....	59
Tabla 5.4. Clasificación de partículas del suelo.....	60
Tabla 5.5. Determinación de Densidad real (g/cm^3).....	61
Tabla 5.6. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3).....	62
Tabla 5.7. Determinación de Porosidad (%).....	64
Tabla 5.8. Resultados de % de humedad a capacidad de campo.....	65
Tabla 5.9. Resultados de materia orgánica contenida en las muestras (%).....	67
Tabla 5.10. Interpretación del contenido de MO en suelo	68
Tabla 5.11. Determinación de Nitrógeno (mg kg^{-1}).....	69
Tabla 5.12. Determinación de Fósforo mg kg^{-1}	71
Tabla 5.13. Criterios para determinar la calidad de un suelo en cuanto a su contenido de Fosforo.....	72
Tabla 5.14. CIC para diferentes texturas.....	73
Tabla 5.15. Determinación de capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	73
Tabla 5.16. Determinación de pH.....	75
Tabla 5.17. Resultados de análisis de muestras de suelo del primer muestreo	76
Tabla 5.18. Análisis de suelos del segundo muestreo.	77
Tabla 5.19. Análisis de suelo seco y molido del segundo muestreo	77
Tabla 6.1. Resumen de resultados del primer muestreo	79
Tabla 6.2. Resumen de resultados del segundo muestreo	79

Índice de Figuras

Figura 2.1 Estructura química de algunos organoclorados.	25
Figura 2.2 Estructura química del endosulfán (EPA, s/a).....	27
Figura 3.1. Localización del municipio de Ayahualulco, Veracruz.	35
Figura 3.2. Contribución en porcentaje de los principales cultivos.	39
Figura 3.3. Consumo de agroquímicos de los principales cultivos en relación al consumo anual estimado.	39
Figura 3.4. Plagas por tipo de cultivos que afectan.....	40
Figura 3.5 Tiradero a cielo abierto de Ayahualulco	41
Figura 4.1. Diagrama de la metodología usada.....	42
Figura 4.2. Guía de la entrevista a agroproductores	44
Figura 4.3. Levantamiento topográfico en Ayahualulco.....	46
Figura 4.4. Extracción de muestras de suelo en Ayahualulco	47
Figura 4.5. Cromatógrafo de gases Hewlett Packard Modelo 5890 Series II ...	48
Figura 4.6. Procedimiento de extracción del plaguicida	49
Figura 4.7. Preparación de las soluciones	50
Figura 4.8. Recuperación y purificación del endosulfán en un equipo Rotavapor	50
Figura 4.9. Formación de cristales amarillos	51
Figura 4.10. Análisis del SE a diferentes concentraciones.....	52
Figura 4.11. Curva estándar de calibración.....	52
Figura 5.1. Papa mostrada por campesino de Ayahualulco	55
Figura 5.2. Tiradero a cielo abierto de Ayahualulco	57
Figura 5.3. Polígono del tiradero a cielo abierto de la comunidad de los Altos. 58	
Figura 5.4. Suelo de tipo Andosol	59
Figura 5.5. Determinación de Densidad real (g/cm^3) 1er. Muestreo (estiaje)...	61
Figura 5.6. Determinación de Densidad real (g/cm^3) 2o. Muestreo (lluvias)....	62
Figura 5.7. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3) 1er. Muestreo (estiaje).....	63
Figura 5.8. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3) 2o. Muestreo (lluvias).....	63
Figura 5.9. Determinación de porosidad (%) 1er. Muestreo (estiaje).	64
Figura 5.10. Determinación de porosidad (%) 2o. Muestreo (lluvias).....	64
Figura 5.11. Determinación de Capacidad de Campo (%) 1er. Muestreo (estiaje).....	66
Figura 5.12. Determinación de Capacidad de Campo (%) 2o. Muestreo (lluvias).	66
Figura 5.13. Determinación de Materia Orgánica (%) 1er. Muestreo (estiaje). 68	
Figura 5.14. Determinación de Materia Orgánica (%) 2o. Muestreo (lluvias). ..	68

Figura 5.15. Determinación de Nitrógeno Orgánico (mg kg^{-1}) 1er. Muestreo (estiaje).....	70
Figura 5.16. Determinación de Nitrógeno Orgánico (mg kg^{-1}) 2o. Muestreo (lluvias).....	70
Figura 5.17. Determinación de Fosforo (mg kg^{-1}) 1er. Muestreo (estiaje).	72
Figura 5.18. Determinación de Fosforo (mg kg^{-1}) 2o. Muestreo (lluvias).....	72
Figura 5.19. Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico en ($\text{meq}/100\text{g}$) 1er. Muestreo (estiaje).	74
Figura 5.20. Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico ($\text{meq}/100\text{g}$) 2o. Muestreo (lluvias).	74
Figura 5.21. Determinación de pH 1er. Muestreo (estiaje).....	75
Figura 5.22. Determinación de pH 2o. Muestreo (lluvias).	76
Figura 6.1. Análisis de algunas muestras de suelo comparadas con el estándar del SE.....	78
Figura A.1. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas, de acuerdo con el U.S.D.A.	88

Resumen

El presente trabajo trata sobre la caracterización de suelos contaminados con plaguicidas organoclorados en un tiradero de residuos (sin control) del municipio de Ayahualulco, en el Estado de Veracruz. Este tiradero se considera el mayor receptor de residuos de la zona y se encontró evidencia del constante desecho de envases y remanentes de plaguicidas principalmente organoclorados. El municipio se dedica principalmente a la agricultura y los cultivos predominantes son maíz, papa y haba.

Se realizó un análisis por cromatografía de gas-liquido en ocho puntos de muestreo del terreno a tres niveles; superficial y a profundidad 0.5m y 1.0m. Se buscó la presencia de Endosulfán, sin embargo este compuesto no fue encontrado en las muestras; por lo que se procedió a buscar Sulfato de Endosulfán, que de acuerdo con el tiempo de retención de este compuesto tampoco fue identificado en las muestras. No se observa ninguna relación de concentración con las curvas de nivel del terreno; ni con la profundidad de las muestras. Por lo anterior se sugiere que futuras investigaciones se enfoquen en la búsqueda de los metabolitos alfa y beta endosulfán.

Además bajo la norma NOM 021 SEMARNAT 2000, se realizó un análisis fisicoquímico a dichos suelos considerando los siguientes parámetros: pH, textura, densidad real y aparente, porosidad, materia orgánica; parámetros del agua en el suelo como humedad y **capacidad de campo**; algunos nutrientes como: nitrógeno orgánico y fosforo; así como también la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Encontrándose que en general los suelos analizados presentan un nivel medio de nutrientes y con una CIC buena (34 meq/100g), que junto con los demás parámetros analizados sugiere que en estos suelos puede llevarse a cabo un proceso de autodepuración en un mediano plazo, siempre y cuando no se siga realimentando el problema. La porosidad y textura muestran que el avance de la contaminación por infiltración es lento; debido a la textura arcillosa del suelo y la baja permeabilidad (1×10^{-9} m/seg), lo que limita la afectación de la zona.

El endosulfán reportado en este trabajo, fue considerado como candidato a nuevo Contaminante Orgánico Persistente (COP) en el Convenio de Estocolmo; sin embargo la evidencia no fue suficiente para considerarlo un nuevo COP. A nivel internacional existe una prohibición del uso del endosulfán en Europa y se está reevaluando su uso en Brasil y existe una Campaña internacional del Pesticide Action Network y RAP-AL por la prohibición mundial del endosulfán. México también cuenta con estudios que pretenden mostrar la relevancia del endosulfán y su eco toxicidad, con el fin de regular su manejo.

Abstract

This paper is about the characterization of contaminated soils with organochlorine pesticides in a waste landfill (without control) located in Ayahualulco, in the state of Veracruz. This waste landfill is considered the largest waste reservoir from the area and found consistent evidence of packaging waste and remnants of pesticides, mainly organochlorines. The town is mainly engaged in agriculture and the main crops are corn, potatoes and beans.

Analysis by gas-liquid chromatography was performed in eight sampling points from the field to three levels: superficial and 0.5m y 1.0m depth. We sought the presence of endosulfan, however this compound was not found in the samples, so we proceeded to search Endosulfan sulfate, which according to the retention time of this compound was not identified in the samples. Not observed any relation of concentration with the landform; or the depth of the samples. Therefore it is suggested that future research focus on the search for alpha and beta endosulfan metabolites.

Also under NOM 021 SEMARNAT 2000, physico-chemical analysis was performed on these soils, considering the following parameters: pH, texture, real and apparent density, porosity, organic matter; parameters of water in the soil moisture and field capacity; some nutrients such as organic nitrogen and phosphorus; as well as Cation Exchange Capacity (CEC). Found that in general the soils analyzed have an average level of nutrients and a good CEC (34 meq/100g), together with the other parameters shows that in these soils could happen a process of self-purification in the medium term, if not continue feeding the problem. The porosity and texture show that the progress of pollution by infiltration is slow; because the clay soil texture and low permeability (1×10^{-9} m / sec), limiting the impact on the area.

Endosulfan reported in this study, was considered as a candidate for new Persistent Organic Pollutants (POPs) in Stockholm, but the evidence was not sufficient to consider a new POP. Internationally there is a ban on the use of endosulfan in Europe, is reviewing its use in Brazil and there is an international campaign by the Pesticide Action Network and RAP-AL for a global ban on endosulfan. Mexico also has studies that attempt to show the relevance of endosulfan and its eco-toxicity, in order to regulate their use.

1. Introducción

Los **organoclorados** conforman un grupo de **plaguicidas** artificiales, su origen se remonta a la fabricación del **DDT** (diclorodifeniltricloroetano) en 1943. Los organoclorados son, en esencia, **hidrocarburos** con alto contenido de átomos de cloro y son los insecticidas más criticados por sus efectos ambientales. Su acción, como casi todos los insecticidas, es a nivel del sistema nervioso (Tricárico, 2009), generando un efecto neurotóxico que, en la **dosis** correspondiente, conlleva a la muerte. Sus características principales son su persistencia y los efectos **bioacumulativos**, estas características lo posicionan en desventaja con los **organofosforados**.

La **contaminación** de suelo y agua por residuos de plaguicidas, puede perturbar el balance de los sistemas ecológicos, lo cual plantea la necesidad de realizar análisis de residuos de plaguicidas en éstas componentes ambientales. Estos análisis son reconocidos por su complejidad, dadas las diferentes propiedades físicas y químicas de los plaguicidas en el ambiente y la composición de la matriz de la muestra.

En Ayahualulco, más del 42% de la superficie municipal está dedicada a la agricultura de temporal (INEGI, 2008), es por esa razón que se ha promovido el uso desmedido de plaguicidas, lo que ha provocado una contaminación ambiental no cuantificada; este fenómeno establece la clara necesidad de realizar análisis y caracterización de sitios donde se presenta este inconveniente. En torno a esto, encontramos un problema de igual relevancia, como lo es, la disposición final de los agroquímicos residuales y de los envases que los contienen. Existe clara evidencia de que estos residuos caracterizados como peligrosos, son confinados en un tiradero a cielo abierto en Los Altos, destinado a la disposición de residuos sólidos municipales. Este fenómeno se ha venido desarrollando de forma cotidiana desde 5 años atrás cuando se compró el predio por las autoridades municipales.

Los cultivos típicos en el municipio, son el maíz, haba y la papa. Los diferentes envases encontrados en el sitio son: **fertilizantes foliares**, insecticidas y herbicidas predominantemente. Este estudio analiza los organoclorados en la matriz suelo del tiradero, haciendo una caracterización de plaguicidas en la zona de estudio.

1.1. Justificación

La agricultura en Ayahualulco es una actividad productiva predominante en la zona, y tiene un gran valor social y cultural, debido a que se encuentran involucradas familias campesinas, integradas por parejas, hijos u otros familiares quienes siembran cultivos tradicionales como el maíz, la papa, y otros tubérculos, granos y cereales. A nivel económico, la agricultura representa para estas familias campesinas un medio de vida y de sustento económico, ya que la producción sirve para el autoconsumo familiar en pequeños agricultores; y en medianos y grandes agricultores para el comercio en mercados locales y foráneos (RAAA, 2009).

En el aspecto ambiental, actualmente la agricultura es una actividad que contribuye a la contaminación, debido a una serie de elementos que producen degradación de los suelos, contaminación del agua y aire, y que están directamente relacionados con una serie de problemas en la salud de la población expuesta a las sustancias tóxicas que se utilizan para el control de **plagas**; asimismo de la reducción de la microfauna del suelo y de poblaciones de animales silvestres.

Las malas prácticas empleadas por los agricultores, y la toxicidad del plaguicida durante y después de su uso provoca una serie de impactos en la salud de los agricultores de manera inmediata (intoxicaciones agudas) y a largo plazo (intoxicaciones crónicas) (SEMARNAT, 2008). Sin embargo, también se genera de manera no intencionada la contaminación por malas prácticas de disposición final de los envases de plaguicidas, la primera es la quema de envases en el campo, lo que genera la emisión de dioxinas y furanos, sustancias altamente cancerígenas. En segundo lugar es necesario mencionar el problema de envases abandonados y por último tenemos aquellos envases depositados en tiraderos para residuos sólidos municipales como sucede en Ayahualulco.

De los tres problemas antes mencionados, la quema y el abandono podrían ser catalogados como contaminación dispersa; sin embargo bajo esta perspectiva la disposición en el tiradero, significa un fenómeno de contaminación que se ve incrementada día con día. De aquí nace la importancia de evaluar el aporte de estos contaminantes en el sitio de disposición final, para posteriormente proponer alternativas que mitiguen este problema ambiental.

En el municipio existen tres tiraderos a cielo abierto en los cuales se estima la generación anual de 5000 toneladas de residuos sólidos (INEGI, 2008), todos presentan la misma situación. En esta tesis sólo se analiza el tiradero de la Comunidad de Los Altos, el motivo de escoger esta zona fue que se encuentra

en una de las localidades de mayor importancia y en una zona con una elevación de 2783 msnm.

1.2. Objetivo General

Evaluar el plaguicida Organoclorado Endosulfán en un tiradero de Residuos Sólidos Municipales en Ayahualulco, Veracruz.

1.3. Objetivos Específicos

- Evaluar las prácticas del uso de plaguicidas organoclorados en las zonas ejidales que depositan sus residuos en el tiradero.
- Determinar el tipo y principales características fisicoquímicas del suelo.
- Determinar las concentraciones del plaguicida organoclorado en suelo.
- Proponer alternativas para la mitigación de los efectos adversos de plaguicidas a corto, mediano y largo plazo en la zona de estudio y franjas aledañas impactadas.

1.4. Hipótesis

La evaluación de las prácticas del uso de plaguicidas en zonas ejidales cercanas al tiradero en conjunto con la caracterización fisicoquímica y la cuantificación del plaguicida endosulfán en las muestras de suelo; permitirá proponer alternativas que mitiguen los efectos adversos de estas sustancias a corto, mediano y largo plazo.

2. Generalidades

2.1. Antecedentes históricos: uso y manejo de agroquímicos y su peligrosidad (Albert, 2004)

En México se han usado plaguicidas agrícolas desde fines del Siglo XIX; sin embargo, la aplicación intensiva de plaguicidas sintéticos se inició en el país hacia 1948, con la introducción del **DDT** y, posteriormente, de otros plaguicidas organoclorados. Después se agregaron diversos **organofosforados**, **carbamatos** y una gran variedad de herbicidas y fungicidas, todo lo cual estuvo relacionando con la llegada de la Revolución Verde, que México fue uno de los primeros países en adoptar.

Para ‘modernizar’ la agricultura mexicana la Fundación Rockefeller dio financiamiento para que las principales escuelas de agronomía del país hicieran énfasis en los principios básicos de esta Revolución como la base de la productividad agrícola, entre ellos, el monocultivo de especies híbridas de alto rendimiento, la mecanización de la agricultura y el uso intensivo de plaguicidas sintéticos y **fertilizantes**. El gobierno mexicano contribuyó de manera eficaz otorgando fuertes subsidios a los insumos.

Las consecuencias del **DDT** se hicieron evidentes y tuvieron que pasar casi cuarenta años antes de que se empezaran a formar agrónomos más conscientes de los problemas asociados con estos productos y menos convencidos de las bondades de dicha Revolución y para que las autoridades empezaran a reconocer los riesgos que sus métodos presentan para el ambiente y para la salud de aplicadores y consumidores, sin contar con que la gran mayoría de los plaguicidas se han usado para cultivos de exportación, o no alimentarios como algodón y tabaco.

Actualmente la tierra disponible para la agricultura es cerca del 12% de la superficie total del país; los cultivos más importantes son maíz, frijol, sorgo, trigo, cebada, papa y hortalizas. En gran medida, la estructura agraria todavía está basada en el ejido y la pequeña propiedad; de acuerdo con cifras oficiales, en el 2004, la población dedicada a la agricultura es alrededor de 7 millones de personas; sin embargo, a esta cifra habría que agregarle la población rural en su conjunto que también puede estar expuesta a los plaguicidas y que se calcula en 25.4% de la población del país. La contribución del trabajo agrícola al Producto Interno Bruto pasó de cerca de 5% en 1995 hasta 3.5% en 2003, lo que prueba que esta actividad no está aportando al desarrollo del país.

De hecho, la agricultura mexicana ha estado en crisis por largo tiempo y México es cada día más dependiente de la importación de alimentos; al mismo tiempo, hay evidencias importantes, aunque escasas, de una grave contaminación derivada de los plaguicidas, que no sólo afecta al ambiente, sino a la salud de jornaleros y consumidores, y eventualmente puede tener un impacto negativo sobre las exportaciones de alimentos hacia países con regulaciones estrictas y mecanismos de verificación eficientes.

Según los datos disponibles, actualmente las regiones con mayor uso de plaguicidas son: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca. Se calcula que en ellas se aplica el 80 % de total de plaguicidas usados en el país, lo que comprueba que el uso de plaguicidas tiene una fuerte concentración en algunas regiones y algunos cultivos.

Aunque esto varía según el cultivo, en términos generales los plaguicidas de mayor uso son los herbicidas, seguidos de insecticidas y fungicidas. Así, los herbicidas ocupan los lugares 1, 2, 4 y 7 de los 9 plaguicidas de mayor venta; entre ellos, destacan paraquat y glifosato que desde hace años se disputan el primer lugar de ventas. Entre los insecticidas, los más usados son los organofosforados, en especial, paratión metílico, metamidofós y malatión. También tienen importancia algunos fungicidas como mancozeb y clorotalonil.

En las zonas noroeste y centro (Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Baja California, Guanajuato y Jalisco) se consumen cantidades importantes de plaguicidas de todo tipo para producir granos y una gran variedad de hortalizas de exportación, entre ellas, tomate, **cucurbitáceas** y chile. Por su parte, en las zonas cañeras se aplican grandes cantidades de herbicidas e insecticidas, las zonas de plátano consumen principalmente fungicidas y en la zona de Villa Guerrero, en el Estado de México, se utilizan cantidades importantes de diversos plaguicidas para la producción de flores, mientras para el maíz se aplican sobre todo herbicidas. En este momento se puede afirmar que prácticamente no hay un agricultor en México que no use uno o más tipos de plaguicidas, usualmente en un contexto de falta de asesoría técnica y de medidas de protección insuficientes, inadecuadas, o nulas.

Aunque en el cultivo de maíz se usan cantidades importantes de plaguicidas, tomando en cuenta la superficie dedicada a éste, en comparación con la dedicada a otros cultivos, se encuentra que la relación plaguicidas/ha es mayor para las hortalizas (aproximadamente 35 Kg/ha), que para el maíz (aproximadamente 3.5 kg/ha). Aunque habría que tomar en consideración el tipo de plaguicidas que se usan en uno y otro caso, esta diferencia en las relaciones significa que la exposición y el riesgo de los trabajadores de los

cultivos de hortalizas puede ser hasta 10 veces más que para los que cultivan maíz.

Ahora bien, ¿cuáles son los efectos negativos asociados a este uso excesivo de plaguicidas? Al ser desarrollados para eliminar plagas, los plaguicidas son sustancias químicas de alto poder **tóxico**, capaces de matar insectos, hongos y animales, entre ellos al hombre. Por eso, deben ser manejados con extrema precaución. Las consecuencias negativas de su uso se presentan en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Efectos negativos del uso excesivo de plaguicidas

Efectos indeseados para la salud humana	<p>Intoxicación de personas por exposición directa o indirecta a plaguicidas.</p> <p>Se produce por exposición laboral y en el hogar debido a usos y aplicaciones incorrectos, falta de medidas preventivas y de protección, almacenamiento inadecuado, reutilización de envases y fumigaciones aéreas. Se han detectado residuos de organoclorados y organofosforados en personas donde la única probabilidad de encuentro con plaguicidas es por ingestión. Las preparaciones acaricidas o insecticidas, como las lociones piojicidas con lúndano utilizadas en humanos, son una vía adicional de contaminación y pueden además potenciar otros agentes nocivos.</p> <p>Los efectos indeseados producidos dependen del plaguicida, la dosis, la vía y el tiempo de exposición.</p>
Efectos sobre el ambiente	<p>Generación de organismos resistentes</p> <p>Al aparecer resistencia en la especie a combatir se requiere el incremento de las cantidades necesarias de plaguicida o la sustitución por agentes mas tóxicos para lograr controles efectivos.</p> <p>Persistencia ambiental de residuos tóxicos</p> <p>Los organoclorados son un ejemplo de persistencia ambiental pues permanecen en los suelos sin degradación significativa hasta 30 años después de aplicados. Esa permanencia favorece la incorporación a las cadenas tróficas, la acumulación en los tejidos grasos humanos y animales y la biomagnificación.</p> <p>Contaminación de suelo y recursos hídricos</p> <p>La contaminación de los cursos de agua se produce en forma directa por la aplicación de plaguicidas en las aguas (arrozales), por lavado de envases o equipos y por descarga de remanentes y residuos. Es igualmente importante la contribución indirecta producida por lixiviación (infiltración) de productos, caída por desniveles y por contaminación de suelos. Las aguas contaminadas expanden el tóxico a la flora y fauna produciendo la muerte de especies, el aumento de la intoxicación humana, la pérdida del curso de agua como recurso utilizable y la probable contaminación de las reservas hídricas</p> <p>Degradación de la flora y fauna.</p> <p>La aplicación sistemática de plaguicidas altera los equilibrios existentes en las cadenas tróficas normales al causar la desaparición o disminución de los enemigos naturales de distintas plagas, de descomponedores de materia orgánica, de incorporadores de nitrógeno y de otras especies vitales para el ambiente como por ejemplo los polinizadores. Además de destruir recursos genéticos y farmacológicos conocidos y otros aún no develados, el empobrecimiento de la biodiversidad puede conducir a la proliferación de las especies antagónicas de aquellas extinguidas, provocando nuevos desequilibrios ecológicos y nuevas plagas.</p>

Fuente: Olivera y Rodríguez-Ithurralde, s/a.

Un problema relacionado con el uso de plaguicidas, y que también plantea un riesgo ambiental y de salud importante, es el de los envases vacíos; algunos datos indican que el total de estos envases puede ser de unas 7 mil toneladas anuales en nuestro país, la gran mayoría de las cuales queda dispersa en los campos y es fuente de riesgo ambiental y de salud.

Varios sectores son responsables de que el uso y manejo de los plaguicidas fuera correcto. Estos sectores incluyen a las autoridades de todo nivel, productores e importadores, comercializadores, agricultores grandes y pequeños, trabajadores y consumidores. Sin embargo, a pesar de la importancia, los niveles de acción e investigación en este tema son muy pobres y queda mucho por hacer.

2.2. Consideraciones generales suelo-plaguicida (Seoáñez Calvo, 2000)

a. Dinámica general de los plaguicidas en suelo

Al añadir un plaguicida a una zona agraria, gran parte del producto se pierde y se vierte al suelo. Asimismo. Parte de lo recogido sobre las hojas es arrastrado por el viento o por las precipitaciones, apareciendo finalmente en el suelo. El resultado es una acumulación de estos productos sobre el suelo en cantidades elevadas (del orden del 60% del total utilizado), lo que hace que planteen cierta peligrosidad y provoquen alteraciones sobre la microfauna del suelo y toxicidad sobre ciertos vegetales, sobre todo aquellos que son más **persistentes**.

Los plaguicidas no se presentan de forma homogénea en el suelo, sino que aparecen más concentrados en la superficie, pero sin un reparto uniforme. En general, su zona de acción se ejerce hasta una profundidad de unos 30 ó 40cm, aunque cerca del 50% del plaguicida vertido permanece a menos de 2.5cm.

Frecuentemente, al añadir un plaguicida, se produce un aumento en el contenido de nutrientes debido a la intensificación de las descomposiciones de la materia orgánica y a los microorganismos que mueren.

A veces ciertos productos convierten elementos del suelo como Cobre (Cu) y el Manganeseo (Mn) en asimilables, produciendo intoxicación de lagunas especies; en otras, elementos como el Cobre (Cu) y el Arsénico (As) suelen formar compuestos insolubles, pero si el suelo es ácido, pueden llegar a ser asimilables produciendo cierta toxicidad.

Los metabolitos del bromuro de metilo y de otros productos pueden originar aumentos en el contenido de bromuro del suelo, provocando alteraciones en el crecimiento de los vegetales.

El equilibrio biológico se ve alterado principalmente por los fungicidas y otros productos utilizados directamente en el tratamiento del suelo, pues provocan una esterilización más o menos intensa, según sea el volumen del plaguicida vertido y su grado de toxicidad. La esterilización depende también del tipo de pH del suelo y de la temperatura.

En lo que se refiere a herbicidas o insecticidas, normalmente no suelen plantear problemas a los microorganismos del suelo, a no ser que se vierta en dosis excesivas. Por ejemplo, los insecticidas Aldrín, Clordano, DDT, Dieldrín, Eldrín, Endrín, Heptacloro, Lindano y Toxafeno en dosis de 1 a 20 kg/ha, cinco veces al año, no producen alteraciones en los hongos y bacterias del suelo después de cinco años de aplicación.

Los plaguicidas organofosforados no plantean en un principio, problemas en los microorganismos del suelo, siempre que su dosis no sea tan excesiva.

b. Acción, absorción y reciclado en el suelo

Los plaguicidas son absorbidos inicialmente muy deprisa, haciéndose más lento el proceso poco después, puesto que, los vegetales absorben los productos y los microorganismo los degradan, una vez que se han incorporado al suelo después de las pérdidas por evaporación y arrastre.

La incorporación de los plaguicidas al medio depende básicamente de la naturaleza del producto, de las características del suelo y de ciertos factores externos a saber:

- **Naturaleza del producto.** La composición del plaguicida es un factor que influye fundamentalmente sobre su persistencia en el suelo.

Los factores que caracterizan a un plaguicida son:

Estructura química. Los compuestos de estructura estable son lo más persistentes.

Capacidad volátil. La tensión de vapor de los plaguicidas suele ser baja, aunque no por ello se deben despreciar las pérdidas debidas a la volatilización.

En ella influyen:

- Las temperaturas elevadas
- Altas concentraciones
- Humedad del aire superior a la del suelo
- Movimiento del aire (vientos y turbulencias)

Solubilidad. Generalmente son poco solubles debido a sus características de uso, sobre todo los organoclorados, lo que está relacionado con su persistencia, como ya se ha indicado.

Dosis. Las dosis bajas desaparecen antes.

Formulación. La penetrabilidad y persistencia pueden verse influidas según sea la presentación del producto en emulsión, polvo granulado, etc., sobre todo inicialmente.

-Características del suelo. Como es natural, la evolución de un plaguicida en el suelo depende del propio suelo, pues el pH, la estructura, la riqueza en coloides y otros factores, marcan decisivamente su persistencia. Estos factores básicos son:

Tipo de suelo. Los plaguicidas actúan más fácilmente en suelos arenosos que en suelos ricos en coloides.

Los coloides orgánicos absorben más los plaguicidas que los coloides minerales.

pH. La absorción de ciertos herbicidas aumenta al bajar el pH. Los productos organofosforados son más **persistentes** en suelos ácidos.

Estructura. Un suelo con muchos huecos de aire (estructura de granos gruesos) favorece la volatilización. En general, la estructura de un suelo puede condicionar la persistencia de un plaguicida.

Microorganismos. Como ya se ha indicado, los organismos ejercen un papel fundamental en la degradación de los plaguicidas en el suelo, fundamentalmente en los organofosforados, la descomposición es manifiesta, según han comprobado diversos autores.

Factores externos. Básicamente son la temperatura, las precipitaciones y la vegetación existente.

2.3. Plaguicidas

Como lo señala la EPA, un plaguicida es cualquier sustancia o **mezcla** de sustancias que tienen el propósito de: prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier tipo de plaga animal o vegetal. El término plaguicida incluye herbicidas, fungicidas, insecticidas, acaricidas, entre otros (EPA, 2009).

Los plaguicidas son usados en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, producción de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, también se denomina plaguicida a aquellos que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos, incluyendo también a los vectores de enfermedades humanas (Lucas Viñuela, 2009).

En la Tabla 2.2 se muestra la clasificación de plaguicidas desde diferentes puntos de vista:

Tabla 2.2. Clasificación de plaguicidas

Enfoque	Clasificación
a) Según su finalidad o actividad biológica	<ul style="list-style-type: none"> - Insecticidas. Tóxicos para insectos - Acaricidas. Tóxicos para ácaros - Nematicidas. Tóxicos para nemátodos - Fungicidas. Tóxicos para hongos - Antibióticos. Inhiben crecimiento de microorganismos - Herbicidas. Atacan las malas hierbas - Molusquicidas. Eliminan los moluscos - Rodenticidas. Causan la muerte a ratones y otros roedores - Avicidas. Causan la muerte a aves - Atrayentes y repelentes de insectos
b) Por su toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> - Supertóxicos. DL 50 < 5 mg / kg - Extremadamente tóxicos. DL 50 5 – 50 gr / kg - Muy tóxicos. DL 50 50 – 500 gr / kg - Moderadamente tóxicos. DL 50 500 – 5 000 mg / kg - Ligeramente tóxicos. DL 50 5 – 15 gr / kg - Prácticamente no tóxico <p style="text-align: center;">DL 50 = Dosis letal media = cantidad de plaguicida que causa muerte a 50% de la población.</p>
c) Por su naturaleza química	<ul style="list-style-type: none"> - Organoclorados. Son insecticidas, herbicidas, fungicidas - Organofosforados. Insecticidas - Carbamatos. Insecticidas. Herbicidas - Derivados de la urea. Herbicidas - Compuestos heterocíclicos. Herbicidas - Compuestos inorgánicos. Acciones diversas
d) Plaguicidas biológicos	<p>En los últimos años se han lanzado al mercado productos que actúan como plaguicidas, aun cuando su naturaleza es esencialmente biológica, como el caso del <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt), y algunos baculovirus que ayudan a combatir plagas de lepidóptera (polillas). Causando la destrucción de larvas y/o adultos.</p>

Fuente: Farrera, 2004.

El término plaguicida según la OMS, incluye también los siguientes tipos de sustancias: reguladores del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de la fruta, agentes para evitar la caída prematura de la fruta (CEPIS-OPS-OMS, 2000).

Desde el punto de vista de la toxicología, es importante señalar que las formulaciones de plaguicidas además del principio activo incluyen sustancias transportadoras, diluyentes como agua o solventes orgánicos, aditivos e impurezas, que pueden tener potencial tóxico por sí mismas.

El análisis de plaguicidas puede clasificarse en diversas áreas:

- Forense
- Diagnóstico de urgencia
- Control de poblaciones expuestas y no expuestas
- Contaminación ambiental

Por ejemplo, si el plaguicida fuera la causa de alguna muerte, se encontrará en alta concentración, al igual que en una intoxicación aguda grave. En las dos últimas áreas se trabaja con muestras con niveles muy bajos de plaguicidas (menores de 0,1 ppm), se habla de “residuos” de plaguicidas. De todos ellos comúnmente se estudian los insecticidas organoclorados, organofosforados y carbamatos, por ser los más utilizados actualmente y producir efectos tóxicos muy característicos (UNLP, s/a).

a. Plaguicidas Organoclorados (UNLP, s/a)

Desde el punto de vista estructural, constituyen un grupo de sustancias, muy heterogéneo, teniendo en común la presencia de estructuras monocíclicas o policíclicas con distinto número de sustituyentes cloro. Incluyen varios grupos:

- a) Grupo de los Ciclodienos: Aldrín y su **epóxido**, el Dieldrín, Mirex
- b) Grupo del DDT (dicloro-difenil-tricloroetano): p-p'-DDT, o-p'-DDT, p-p'-Metoxiclor.
- c) Grupo del Hexaclorociclohexano (HCH) y Hexaclorobenceno(HCB): HCH, γ -HCH, HCB.
- d) Grupo de los indenos clorados: hepatacloro, α -Clordano.
- e) Grupo de los terpenos clorados: Toxafeno.

A continuación en la Figura 2.1 se muestran las estructuras de los grupos antes citados.

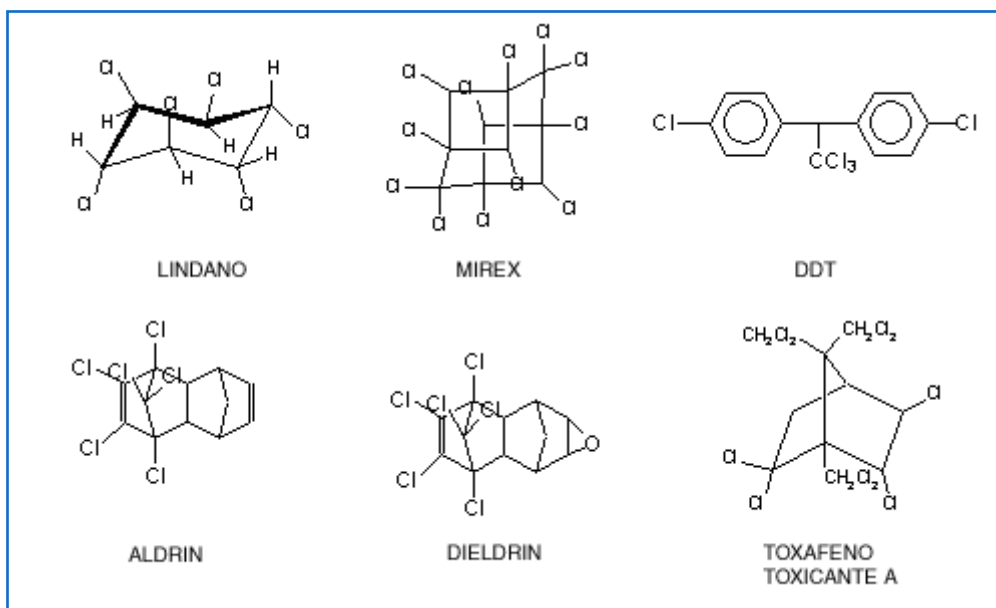


Figura 2.1 Estructura química de algunos organoclorados.

Las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas en general son las determinantes de su cinética ambiental. El aire, el agua, el suelo y los alimentos retienen gran parte de los plaguicidas y éstos llegarán a los seres vivos. Constituye un problema actual su persistencia en el medio ambiente, su concentración y transformación en organismos vivos.

A continuación en la Tabla 2.3, se muestran las características fisicoquímicas de los plaguicidas organoclorados, comparados con las características de los organofosforados. Es aquí donde podemos dar cuenta de la peligrosidad de estas sustancias. Es de destacar que los organoclorados tienen un efecto **bioacumulativo** muy grande y poseen alta persistencia.

Tabla 2.3 Características fisicoquímicas de los plaguicidas

Característica	Organofosforado	Organoclorado
Estabilidad	muy baja	elevada
Persistencia	baja	alta
Efectos bioacumulativos	no posee	muy grande
Toxicidad aguda	alta	baja
Solubilidad en agua	alta	baja
Hidrofobicidad	bajo	alto
Costo	alto	bajo
Selectividad	alta	baja

Fuente: UNLP, s/a.

La **absorción** de los organoclorados se da por vía digestiva principalmente; a través de la piel cuando están en solventes **lipídicos** y a través de la vía respiratoria por su aplicación en forma de pulverizaciones. Además poseen

acción **neurotrópa**, aunque no se conoce bien el mecanismo sobre el sistema nervioso. A largo plazo, **inducen las enzimas microsomales hepáticas**; son inductores en cantidades residuales, del orden de las que pueden estar acumuladas en el tejido adiposo.

Los organoclorados en el hombre, al igual que en el medio ambiente, se degradan lentamente y tienen una gran afinidad por los tejidos grasos. Estas cantidades acumuladas en grasas preocupan, pues, en el caso de adelgazamiento brusco pasan a la circulación general y producen síntomas de intoxicación.

Preocupa también, porque pasan en cantidades considerables a la grasa de la leche. Los recién nacidos se pueden ir contaminando, debido a los residuos de plaguicida presentes en su alimento natural.

b. Endosulfán y sus metabolitos

El endosulfán fue desarrollado a principios de la década de los 50's, comenzó a comercializarse por la empresa Bayer y su uso en hogares y jardines estaba determinado con un acuerdo con la EPA, pero a partir del 2002 la EPA permite que el endosulfán siga en el mercado pero impone restricciones en sus usos en la agricultura (CAMEO Chemicals, 2009).

A partir de junio del 2006 es prohibido en la Unión Europea y en el 2007 Bayer retira sus productos de endosulfán de EU, a partir de ese año varios países restringen o prohíben el uso de endosulfán y en el 2009 Nueva Zelanda prohíbe su uso (CAMEO Chemicals, 2009).

En cuanto a la regulación Internacional del Endosulfán, tenemos que está (Bejarano, 2008):

- Prohibido en 47 países
- Restringido en 23 países
- Prohibido en la Unión Europea en junio de 2006
- Retirado por Bayer en EU a partir del 2007
- Reevaluación en USA, Brasil y Uruguay en 2007

El plaguicida endosulfán está formado por cristales sólidos de color café, y tiene un olor picante. Es tóxico por inhalación, absorción de la piel o ingestión. No es combustible, pero el líquido puede serlo en un punto cerca de los 200°F.

En general es una mezcla de isómeros, es un organoclorado de un sulfuro ácido (éster) derivado de un diol cíclico. Es usado como un insecticida y acaricida. A continuación en la Figura 2.2 se muestra la estructura química de esta sustancia.

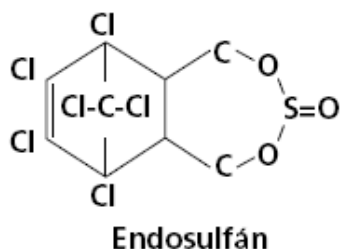


Figura 2.2 Estructura química del endosulfán (EPA, s/a).

Es un compuesto halogenado alifático o compuestos alcalinos cíclicos, por tanto se les considera de moderado a muy reactivos. La reactividad generalmente disminuye con el incremento del nivel de sustitución de halógenos por átomos de hidrógenos.

Como endosulfán tiene una tasa de sustitución alta, sin embargo, puede ser resistente a las reacciones. El Endosulfán como mezcla (líquida) y por sus características de éster puede ser incompatible con aminas, nitruros, azo y diazocompuestos, metales alcalinos, y epóxidos. Igualmente, puede ser hidrolizado para formar dióxido de sulfuro y diol; la reacción es más rápida bajo condiciones básicas. Los materiales de este grupo son incompatibles con fuertes agentes oxidantes y reductores.

Algunas de las características relevantes del Endosulfan se describen a continuación.

Pertenece a los siguientes grupos de reactivos:

Ésteres

Compuestos orgánicos halogenados

Hidrocarburos alifáticos insaturados

Riesgo en la salud:

Endosulfán como mezcla. Altamente tóxico, puede ser fatal si se inhala, ingiere o se absorbe a través de la piel. El contacto con la sustancia derretida puede causar severas quemaduras a los ojos y la piel. Se debe evitar cualquier contacto con la piel. Es considerado como muy toxico, la dosis oral letal probable es 50 a 500 mg/kg.

Si se incendia puede producir gases corrosivos y / o tóxicos irritantes.

Usando agua para el control del incendio o realizando cualquier dilución con agua puede ser corrosivo y / o tóxico y causar contaminación.

Riesgo de incendio:

No es combustible, la sustancia por sí sola no arde pero puede descomponerse con el calor para producir gases corrosivos y/o tóxicos. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan. Las aguas residuales pueden contaminar corrientes de agua.

Persistencia e impactos al ambiente (INE, s/a):

El endosulfán es un plaguicida de tipo: Insecticida y Acaricida, sus usos son agrícolas e industriales.

Durante su aplicación es emitido al aire, en el cual puede viajar largas distancias asociado a las partículas.

En el suelo es moderadamente **persistente** (vida media de 50 días), sobre todo a pH ácido (Bejarano, 2008). El α -Endosulfán es menos persistente que el β -Endosulfán, con períodos de degradación a pH neutro que duran 35-60 y 150-800 días respectivamente. Ambos isómeros son relativamente resistentes a la fotólisis, no así sus productos de degradación (sulfato de Endosulfán y diol Endosulfán). La fracción disponible en suelos es degradada biológicamente en semanas, formando sulfato de Endosulfán como el **metabolito** más importante, el cual es relativamente estable y persistente. En suelo y sedimentos la endosulfán como **mezcla** (isómeros $\alpha+\beta$ + sulfato de endosulfán) la TD50 es de 9 meses a 6 años.

Por su parte, la fracción adsorbida a las partículas puede persistir por años y es poco propensa a lixiviarse hasta las aguas subterráneas. Su vida media en el agua es de 4 días, sobre todo con exposición solar; no obstante, su degradación puede prolongarse significativamente bajo condiciones anaeróbicas y pH ácido hasta 160 días. En agua el principal metabolito formado es el diol Endosulfán. En este medio es susceptible de sufrir una hidrólisis lenta.

En muchos organismos (moluscos, algas, peces y mamíferos) expuestos a concentraciones subletales de este plaguicida, se acumula hasta alcanzar una fase estacionaria; sin embargo, no persiste en sus tejidos una vez que desaparece la fuente de exposición, ya que es metabolizado rápidamente por el hígado y riñón para ser eliminado del cuerpo. En las plantas es transformado a sulfato. En la mayoría de las frutas y vegetales, 50% de sus residuos desaparecen en 3 a 7 días.

Es extremadamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos. Algunas concentraciones máximas recomendadas son:

- La EPA recomienda que la cantidad de endosulfán en ríos, lagos y arroyos no exceda 74 partes por billón (74 ppb).
- La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) no permite más de 24 partes de endosulfán por millón (24 ppm) en té seco.
- La EPA no permite más de 0.1 a 2 ppm de endosulfán en otros productos agrícolas crudos.

En cuanto al nivel de solubilidad del endosulfán en diferentes compuestos puede apreciarse en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Solubilidad del endosulfán en diferentes compuestos

Compuesto	Solubilidad
Agua	60–100 µg/L
Diclorometano	65 g/L
Etanol	65 g/L
Acetato de etilo	200 g/L
Hexano	24 g/L
Tolueno	200 g/L
Acetona	262 g/L
Benceno	333 g/L
Tetracloruro de carbono	460 g/L
Cloroformo	746 g/L
Etanol	40 g/L
Queroseno	164 g/L
Metanol	89 g/L
Xileno	388 g/L

Fuente: ATSDR, 2000.

Otras características importantes de esta sustancia son: su vapor de presión que es igual a $25 \text{ EC } 1 \times 10^{-5} \text{ mmHg}$, y sus coeficientes de partición que se muestran a continuación:

- Log Kow: 3.55 y 3.62
- Log Koc: 3.5

Se descubrió que el endosulfán es tóxico para las lombrices de tierra, en las que causa una reducción significativa de la tasa de crecimiento y del contenido total de proteínas. Para los mamíferos el isómero alfa es más neurotóxico y su toxicidad aguda es más de tres veces superior a la del isómero beta (Harikrishnan y Usha, 2004).

La toxicidad aguda del endosulfán para los humanos es de 35 mg/kg. La dosis de referencia aguda de la EPA para exposición de la dieta al endosulfán es 0.015 mg/kg para adultos y 0.0015 mg/kg para niños. Si se trata de exposición crónica, la dosis de referencia de la EPA son 0.006 mg/(kg-día) para adultos y 0.0006 mg/(kg-día) para los niños (Wikipedia).

El Endosulfán tiene un alto nivel de hidrofobicidad, es por esto que es insoluble en agua. Como se muestra en las características del endosulfán y sus metabolitos en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Características del endosulfán y sus metabolitos

CARACTERISTICAS	ALFA –ENDOSULFAN	BETA –ENDOSULFAN	SULFATO DE ENDOSULFAN
Numero ONU	2761		
Número CAS	959-98-8	33213-65-9	1031-07-8
Reacciones en agua & aire	Insoluble en agua. Lenta hidrólisis para formar dióxido de sulfuro y diol.	Insoluble en agua. Reacciona lentamente con agua para generar dióxido de sulfuro.	Insoluble en agua.
Formula molecular	C9H6Cl6O3S		C9H6Cl6O4S
Punto de fusión	226-230 °F	406-410 ° F ó 208-210°C.	358.0 °F
Peso Molecular	406.95		N.D.
Nombres químicos alternativos	<ul style="list-style-type: none"> • 5-NORBORNENE-2,3-DIMETANOL, 1,4,5,6,7,7-HEXACLORO-, SULFITO CICLICO, ENDO- • A-ENDOSULFAN • ALFA-ENDOSULFAN • ALFA-BENZOEPIN • ALFA-THIODAN • BETA-THIONEX • ENDOSULFAN 1 • ENDOSULFAN A • ENDOSULFAN I • THIODAN I 	<ul style="list-style-type: none"> • 5-NORBORNENE-2,3-DIMETANOL, 1,4,5,6,7,7-HEXACLORO-, SULFITO CICLICO, EXO- • B-ENDOSULFAN • BETA-ENDOSULFAN • BETA-BENZOEPIN • BETA-THIODAN • ALFA-THIONEX • ENDOSULFAN 2 • ENDOSULFAN B • ENDOSULFAN II • THIODAN II 	<ul style="list-style-type: none"> • 5-NORBORNENE-2,3-DIMETANOL, 1,4,5,6,7,7-HEXACLORO-, SULFITO CICLICO • SULFATO DE THIODAN • SULFATO DE BENZOEPIN • SULFATO CICLICO DE ENDOSULFAN • ENDOSULFAN III

Fuente: CAMEO Chemicals, 2009.

2.4. Aspectos jurídicos y normatividad aplicable

A continuación se describen los aspectos jurídicos relacionados con el manejo de envases vacíos de plaguicidas en México, estos se encuentran determinados en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente que indica las regulaciones jurídicas relacionadas a este tema, incluyendo además de los envases vacíos a los plaguicidas en sí, las características de su empaquetado y sus residuos (Art. 143) y a las autorizaciones para sus importaciones y exportaciones de residuos peligrosos (Art. 144).

En su reglamento interno, la NOM-052-SEMARNAT-2005, clasifica a los envases y tambos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos como fuentes no específicas.

La LGPGIR señala que, los envases vacíos que contuvieron agroquímicos o plaguicidas o sus residuos se sujetarán a los criterios establecidos en los planes de manejo, en la norma oficial mexicana correspondiente u otras disposiciones legales aplicables.

Otros aspectos jurídicos relacionados al manejo de envases vacíos son las normas oficiales de salud tales como: la NOM-044-SSA1-1993, referente al envase y embalaje, requisitos para contener plaguicidas y la NOM-045-SSA1-1993, que establece las características de las etiquetas. Es necesario señalar que en estos documentos no se señala si los envases se pueden utilizar como combustible alternativo o bien se les puede dar otro uso.

Otro elemento jurídico es el convenio firmado por la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas y la AMIFAC para permitir el transporte de los envases vacíos previamente lavados tres veces como residuos no peligrosos (REMEXMAR, 2008).

Otro arreglo interinstitucional importante, es el que se refiere a la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de los Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) conformado en el año de 1987. Esta comisión que tiene atribuciones respecto a plaguicidas, **fertilizantes** y sustancias tóxicas, funge como órgano de coordinación para facilitar la gestión de los productos químicos, en aspectos relativos a la importación, exportación y registro (INE, 1995). Esta comisión también ha participado en el programa "Campo limpio", colaborando en el apoyo y realización de seminarios para la capacitación de funcionarios y jornaleros (INE, 2000).

Es necesario decir, que en la legislación vigente no se incluye al triple lavado¹ como obligatorio, salvo en el Estado de Morelos en donde la Procuraduría Agraria hace obligatorio para esa zona el triple lavado (REMEXMAR,2008).

Actualmente existen dos anteproyectos de normas para el manejo de envases vacíos, mismas que a continuación se describen (Cárdenas, 2001):

¹ Esta estrategia es propuesta por el programa "Campo limpio" y señala que se debe de lavar el envase en la zona de aplicación, por lo menos tres veces.

- Anteproyecto de norma que establece las especificaciones para el correcto manejo, acopio y disposición final de envases que contuvieron agroquímicos.
- Anteproyecto de norma para clorados y bifenilos que estará relacionada indirectamente con envases vacíos que alguna vez contuvieron este tipo de compuestos.

A continuación en forma de resumen en la Tabla 2.6 se muestran los aspectos jurídicos relacionados con el manejo de envases vacíos de plaguicidas:

Tabla 2.6. Aspectos jurídicos relacionados con el manejo de envases vacíos

Nombre	Especificaciones	Descripción
LGEEPA	Capítulo IV (Prevención y control de la contaminación del suelo) Art. 143	De las regulaciones jurídicas a las que quedan sujetas las actividades con plaguicidas incluyendo los envases vacíos, empaques y residuos.
	Art. 144	De las autorizaciones para los plaguicidas en cuanto a las restricciones arancelarias y no arancelarias de las importaciones y exportaciones de los residuos peligrosos.
Normas oficiales para la protección ambiental	Normas para el control de residuos peligrosos NOM-052-SEMARNAT-2005	Los envases están clasificados como fuentes no específicas y con un número de fuente 1.1, como envases y tambos vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos. Anexo 3 Tabla 2 Clasificación de residuos por fuente no específica
	Anteproyecto de norma para la reducción de envases usados y residuos de envases en sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales	Propuesta de norma que establecerá las especificaciones para el correcto manejo, acopio y disposición final de envases que contuvieron agroquímicos.
	Anteproyecto de norma para el manejo de clorados y bifenilos	Anteproyecto de norma que estará relacionada indirectamente con envases vacíos que alguna vez contuvieron este tipo de compuestos
Secretaría de salud (SSA)	NOM-044-SSA1-1993	Envase y embalaje, requisitos para contener plaguicidas
	NOM-045-SSA1-1993	Establece las características de las etiquetas de los envases de plaguicidas.
CICOPLAFEST	La función de la comisión es gestionar lo referente a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.	Comisión que tiene atribuciones respecto a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. La función principal de esta comisión es como órgano de coordinación para facilitar la gestión de los productos químicos, en aspectos relativos a la importación, exportación y registro. Así como participación en el Programa "Conservemos un campo limpio"

Fuente: LGEEPA, NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-044-SSA1-1993, NOM-045-SSA1-1993, CICOPLAFEST.

En el estado de Veracruz, han sido aprobadas dos leyes para regular las funciones de organismos estatales en el marco de la reglamentación de los **fertilizantes** (incluyendo insecticidas). Estas son: la Ley que Crea el Organismo Descentralizado 'Fertilizantes de Veracruz'; y la Ley que Crea la Comisión de Comercialización de Productos Agrícolas en el Estado de Veracruz, creadas en 1979 y 1964 correspondientemente, no han sufrido ninguna reforma hasta la fecha, su estructura está basada principalmente en la comercialización de los productos agrícolas. El estado de Veracruz es uno de los principales consumidores de productos agrícolas en el país por lo que deberían expedirse más leyes sobre el uso de los plaguicidas y **fertilizantes**, ya que las únicas dos leyes mencionadas anteriormente con las que cuenta son muy antiguas y de poca aplicación.

2.5. Estado del Arte

En la agricultura, se ha hecho necesario el uso de plaguicidas y **fertilizantes**; entre otros productos para cuidar y mejorar las plantaciones; pero el uso de éstos agroquímicos produce un impacto ambiental severo; es por eso que debe analizarse el ciclo de vida de los productos.

La problemática de los plaguicidas, involucra diversos sectores y para este estudio se consultaron diversas investigaciones que revelan la importancia de controlar la contaminación de los plaguicidas en suelo y además se consultaron estudios que se enfocan principalmente en la salud humana, afectada por el uso extendido e indiscriminado de agroquímicos.

Se han realizado distintos estudios en el suelo sobre el impacto de los plaguicidas; entre ellos se encuentra un estudio realizado por Adebayo *et al.* (2007), con el objetivo de conocer el efecto de dos insecticidas en la dinámica poblacional de cuatro microorganismos del suelo. El experimento fue inducido durante la época de lluvias del 2006. Se aplicaron por separado los dos insecticidas (Thiodan y Karate), para investigar sus efectos a los 0, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días después del tratamiento (DAT) en la población de bacterias, hongos, protozoos y actinomicetos en el suelo. Se llegó a la conclusión de que los insecticidas provocan la reducción de las poblaciones de hongos, protozoos y actinomicetos, por su parte la población de bacterias sufrió un aumento significativo.

En el año 2007 se realizó un estudio por Nasehi Fatemeh *et al.* con el fin de medir los residuos de los dos plaguicidas más utilizados (endosulfán y Fosalon) en Colorado. Para la investigación se llevaron a cabo etapas de muestreo, condensación, concentración y análisis, el cual fue realizado por la máquina GC y detectores FTD, ECD. Los resultados obtenidos muestran que los residuos del Fosalon superan a los del endosulfán. La toma de muestras con

intervalo de un mes reveló que los residuos de toxinas se redujeron en 0,008 PPM.

También existen diversas investigaciones en el tema de salud y se han realizado una gran variedad de estudios para determinar cómo afecta el uso de los plaguicidas a las poblaciones expuestas a estos agroquímicos.

En el Estado de México se realizó un estudio por Jiménez *et al.* (2007); en el cual se hizo la caracterización de intoxicaciones por plaguicidas en los trabajadores agrícolas. Se aplicaron encuestas a 35 individuos con antecedentes de intoxicación aguda por plaguicidas (IAP). De acuerdo al análisis de las variables por estadísticas se concluyó principalmente que las intoxicaciones en la mayor parte de la población fueron ocupacionales y predominaron en el sexo masculino por la falta de capacitación sobre el uso y aplicación de plaguicidas.

En Veracruz, México se analizó la tendencia de 1988 a 1998 de los niveles de plaguicidas organoclorados **persistentes** en tejido adiposo humano, este estudio fue realizado por Gutiérrez *et al.* (2000). Para realizar esta investigación se tomaron muestras de tejido adiposo en la región abdominal de personas fallecidas en Veracruz. Las determinaciones cualitativa y cuantitativa de los plaguicidas organoclorados se efectuaron por cromatografía de gases. En los resultados se encontró que el valor máximo anual de insecticida fue detectado en 1988, lo que indicó una disminución de la exposición de la población al DDT utilizado.

3. Características del municipio de Ayahualulco (GEV,2005)

3.1. Ubicación geográfica y aspectos ambientales

Ayahualulco se encuentra ubicado en la zona central del estado de Veracruz sobre la parte elevada y quebrada de la Sierra Madre Oriental en la zona centro montañosa del Cofre de Perote (Figura 3.1). Se encuentra ubicado en la zona centro del Estado, en las coordenadas 19° 21' latitud norte y 97° 09' longitud oeste, a una altura de 2060 msnm.

Limita al norte con Perote, al noreste con Xico, al este con Ixhuacán de los Reyes y al sur con el Estado de Puebla. Su distancia aproximada por carretera a la capital del estado es de 80 Km. Tiene una superficie de 148.06 Km², cifra que representa un 0.20 % del total del Estado.

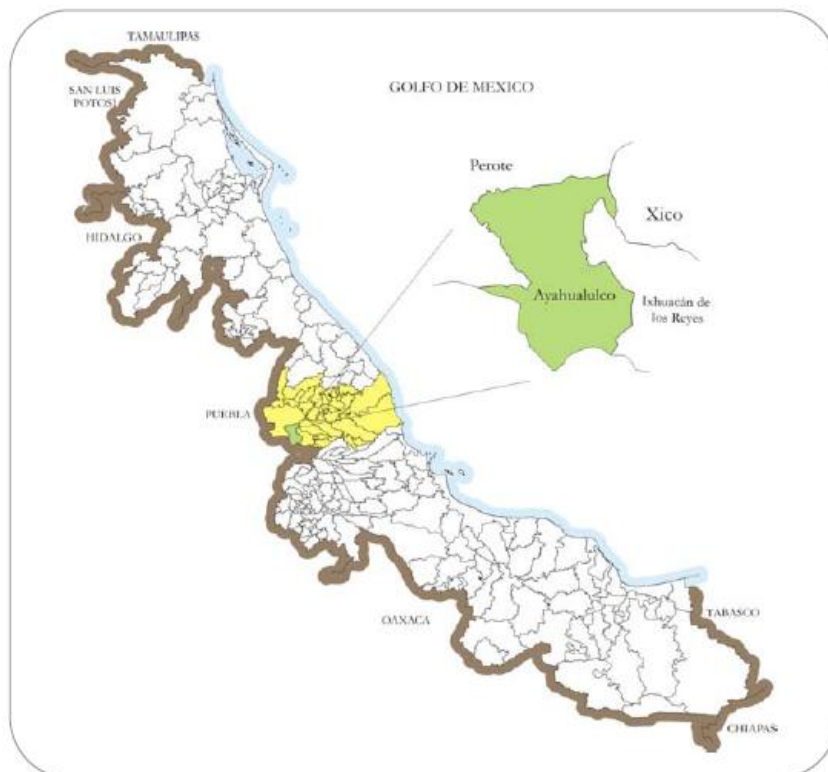


Figura 3.1. Localización del municipio de Ayahualulco, Veracruz.

El Municipio se encuentra ubicado en la zona central y sobre la parte más alta y frágil de la Sierra Madre Oriental, con alturas superiores a los 2,500 m.s.n.m., como las cumbres de Tamasolapa y Acatitlán.

Hidrografía

Se encuentra regado por pequeños arroyos que son tributarios del río Chichiquila, que en adelante se denomina río de Los pescados.

Clima

Su clima es semi-seco-templado con una temperatura promedio de 10 °C; su precipitación pluvial media anual es de 463 mm.

Principales Ecosistemas

Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de bosque de coníferas con especies como el pino colorado y pino estobos; donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de liebres, tuzas, mapaches y tlacuaches.

Características de Uso del Suelo

Su suelo es de tipo andosol que se caracteriza por estar formado por cenizas volcánicas con tonalidad oscura y poca susceptibilidad a la erosión. Se utiliza en mayor porcentaje en la agricultura.

3.2. Perfil socio demográfico

Grupos Étnicos

Existen en el municipio 55 hablantes de lengua indígena 30 hombres y 25 mujeres, que representan el 0.30% de la población municipal. La principal lengua indígena es el náhuatl.

Evolución Demográfica

Conforme a las cifras del censo de población hasta el año de 1995 el municipio tenía 46,124 habitantes, entre hombres y mujeres, de 1995 a 1996 experimenta un total de 2,551 nacimientos y en este mismo espacio de tiempo se dan 194 defunciones.

Se estima que a 1996 tenía una población de 47,651 habitantes. De acuerdo a los resultados preliminares del censo 2000, la población en el municipio es de 48,114 habitantes, 24,371 hombres y 23,743 mujeres. De acuerdo a los resultados que presenta el II Conteo de Población y Vivienda del 2005, el

municipio cuenta con un total de 23,431 habitantes, lo anterior debido a las altos índices de inmigración.

- Xoquitla, 1815 habitantes.
- Xololoyan, comunidad de 1658 habitantes dedicados a la agricultura.
- Xocotepec, 1598 habitantes.

3.3. Infraestructura Social y de Comunicaciones

La educación pública básica es impartida por 20 planteles de preescolar, 26 de primaria, 4 de secundaria. Además cuenta con 1 institución que brinda el bachillerato. Por otro lado en la Tabla 3.1 se muestran los principales servicios públicos presentes en Ayahualulco.

Tabla 3.1. Censo de servicios públicos existentes en Ayahualulco

Servicios Públicos:	100%	75%	50%	25%	0%
Agua Potable.		X			
Mantenimiento de Drenaje.				X	
Alumbrado Público.		X			
Recolección de Basura y Limpia Pública.				X	
Seguridad Pública.		X			
Pavimentación.				X	
Mercados y Centrales de Abasto.					X
Rastros.					X
Servicios de Parques y Jardines.				X	
Monumentos y Fuentes.					X

En este municipio la atención de servicios médicos es proporcionada por 5 unidades médicas de la Secretaría de Salud. Cabe señalar que en esta municipalidad se prestan los servicios de consulta externa.

En cuanto a los medios de comunicación en el municipio se captan las señales de televisión vía satélite y 10 señales de radio en AM y 10 en FM. Tiene servicio telefónico por marcación automática en la cabecera y 9 localidades, así como con telefonía rural y celular; además de 4 oficinas postales.

El municipio cuenta con infraestructura de vías de comunicación conformada por 22.30 Km. de carretera. Así mismo tiene servicio de transporte de pasajeros.

3.4. Actividad económica

En el sector agricultura, el municipio cuenta con una superficie total de 9,968.742 hectáreas, de las que se siembran 9,497.133 en las 2,687 unidades de producción. Los principales productos agrícolas y la superficie correspondiente en hectáreas que se cosecha son maíz con 4,412.00, Papa 850.00 y 723.00 de haba seca. Existen 629 unidades de producción rural con actividad forestal, de las que 22 se dedican a productos maderables.

Para el desarrollo de la ganadería se tiene una superficie de 2,582 hectáreas, en donde se ubican 2,390 unidades de producción rural con actividad de cría y explotación de animales. Cuenta con 315 cabezas de ganado bovino de doble propósito, además de la cría de ganado porcino, ovino y caprino. Las granjas avícolas tienen cierta importancia.

En cuanto al comercio podemos señalar que el municipio cuenta con 2 tianguis, 1 mercado y 500 tiendas aproximadamente.

La actividad económica del municipio por sector, se distribuye de la siguiente forma (Tabla 3.2):

Tabla 3.2. Población Económicamente Activa por Sector Productivo

Sector primario (Agricultura, ganadería, caza y pesca)	88.41%
Sector secundario (Minería, extracción de petróleo y gas natural, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción)	3.76%
Sector terciario (Comercio, transporte y comunicaciones, servicios financieros, de administración pública y defensa, comunales y sociales, profesionales y técnicos, restaurantes, hoteles, personal de mantenimiento y otros.)	5.92%
*No especificado	1.89%

3.5. Problemática de Ayahualulco: cultivos, plagas, manejo de agroquímicos y su disposición final.

En este apartado se establecen las principales problemáticas en torno al sector agrícola, como se menciona en apartados anteriores las actividades económicas del municipio están basadas en la agricultura. El 64% de la superficie municipal es dedicada a la siembra, es decir 9,497 ha de las cuales 5,985 son destinadas a los productos predominantes; como se ve en la siguiente Figura 3.2:

Importancia de los principales cultivos

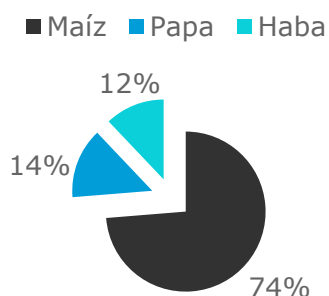


Figura 3.2. Contribución en porcentaje de los principales cultivos.

El maíz abarca la mayor cantidad de superficie; sin embargo es necesario recordar que las hortalizas como la papa y haba consumen hasta 10 veces más agroquímicos y en atención a las prioridades de este estudio, nos conviene saber que cultivos consumen las mayores cantidades de químicos. Así pues, se realizó un estimado que refleja un consumo mayor de 115 toneladas de agroquímicos en un año; lo anterior tomando en cuenta que el maíz solo da un ciclo de producción anual, mientras que la papa que es de ciclo corto puede dar de 2 a 3 ciclos anuales. La relación de consumo de agroquímicos se muestra en la siguiente grafica (Figura 3.3):

Consumo estimado de agroquímicos

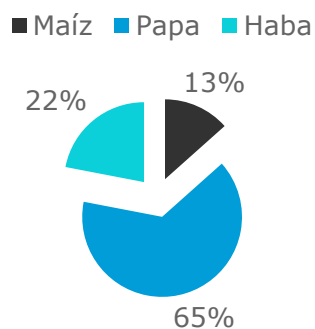


Figura 3.3. Consumo de agroquímicos de los principales cultivos en relación al consumo anual estimado.

Esta cantidad importante de agroquímicos se hace necesaria para combatir las diferentes plagas en Ayahualulco, con el fin de tener productos agrícolas de mejor calidad y de fácil mercadeo. Las plagas más comunes son cuatro: la llamada catarinita de la papa o “tachi” (*Leptinotarsa decemlineata*); la llamada “Rosquilla” (*Spodoptera sp*); la “pulguilla” de la papa (*Epitrix cucumeris*); y por último el “pulgón” (*Macrosiphum solanifolii* y *Macrosiphum euphorbiae*). Estas especies mostradas en la Figura 3.4 son las principales preocupaciones de los agricultores en cuanto a insectos; sin embargo también necesitan de

fertilizantes y fungicidas. Lo cual hace cada vez más difícil al ecosistema recuperarse.





Papa	Haba y papa	Papa	Haba
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	<i>Spodoptera sp</i>	<i>Epitrix cucumeris</i>	<i>Macrosiphum</i>
			

Figura 3.4. Plagas por tipo de cultivos que afectan

Sumado a lo antes expuesto, otro problema en este municipio es que las personas dedicadas a la agricultura, en la mayoría de los casos no tiene una preparación escolar, muchos de los pequeños productores emplean productos que han sido recomendados entre ellos mismos, no tienen el conocimiento del daño que podría provocar en su salud y menos de las consecuencias ambientales.

Recordemos que además del consumo de agroquímicos esta la importante generación de residuos peligrosos, que no son tratados como tales y que reciben un manejo inadecuado. Este tipo de envases son depositados en las parcelas de cultivo, en tiraderos baldíos y en el tiradero municipal. Muchas ocasiones se ha observado que los envases de agroquímicos aun tienen residuos de producto; y en una ocasión se encontraron varios envases llenos. A este respecto se desconocen las causas.

Actualmente el municipio de Ayahualulco tiene la problemática de la disposición final de sus residuos sólidos. Existe la preocupación de los habitantes y por la mismas autoridades, en relación a una inadecuada disposición de la basura que tiene repercusiones en la salud (puede transmitir enfermedades por animales que se reproducen sin control en medio de los desechos), la contaminación de las aguas (al ser botaderos de basura que degradan la calidad de la misma), el paisaje (la proliferación de olores desagradables) y el suelo (los desechos sólidos, cuando dan origen a líquidos que contienen elementos tóxicos, pueden producir la contaminación de los suelos por lixiviados) (PIMUDES, 2008). Esta es una problemática importante, pero aún más importante es que entre esos residuos municipales van residuos peligrosos de los agroquímicos usados. A continuación en la Figura 3.5 se muestra la situación actual del tiradero a cielo abierto, que cabe describir es una barranca y que no cuenta con control alguno para mitigar la contaminación.



Figura 3.5 Tiradero a cielo abierto de Ayahualulco

Además debe observarse que la zona donde se encuentra el tiradero es de suma peligrosidad, ya que en sus alrededores existen terrenos dedicados a la agricultura, que con la lluvia y la generación de lixiviados, pueden ser contaminados, sin mencionar la infiltración a las aguas subterráneas; por lo tanto no es una zona correcta para tener un tiradero, sumándole que la población no le da ningún control, solo realizan la quema de los residuos con el fin de disminuir su cantidad y dejar la barranca otra vez disponible.

4. Materiales y métodos

Para el logro de los objetivos y metas planteados en la presente tesis, se propone utilizar la siguiente metodología que se esquematiza en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Diagrama de la metodología usada

Las siguientes instalaciones del Instituto Politécnico Nacional fueron de gran utilidad: el laboratorio del CINVESTAV y la Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología.

Los recursos financieros fueron otorgados por el Programa de Investigación Multidisciplinario para el Desarrollo Sustentable PIMUDES-UAM.

Las actividades realizadas para el logro de los objetivos de la tesis se describen en los siguientes apartados.

4.1. Revisión bibliográfica y documental

La recopilación bibliográfica fue permanente durante todo el desarrollo de la tesis. Dentro de la cual, se puso especial atención en los estudios realizados acerca de la contaminación de suelo por plaguicidas organoclorados en Veracruz, su movilidad y alguna otra una problemática análoga o semejante.

Se obtuvo también información del plaguicida, los coeficientes de partición, propiedades físicas y químicas del plaguicida, los métodos para la extracción del mismo en el suelo, medidas preventivas de uso, manejo y almacenamiento, riesgos a la salud y riesgos ambientales; entre otros

Las principales fuentes de datos fueron: libros y revistas, información proveniente de organismos públicos, así como, libros electrónicos, documentos y otros tipos de publicaciones existentes en la Internet.

4.2. Selección y reconocimiento de la zona de estudio

El estudio se llevo a cabo en el municipio de Ayahualulco; Veracruz, y el tiradero a cielo abierto que está ubicado a 2 kilómetros aproximadamente de la cabecera municipal; lo cual permitió conocer la problemática de la zona de estudio, interactuar con los productores del campo, conseguir el apoyo de las autoridades correspondientes.

Se realizaron dos visitas de campo con el fin de rescatar toda la información posible y realizar dos muestreos de suelo en el tiradero, uno al final de la temporada de estiaje (mayo) y el otro en temporada lluviosa (agosto de 2009). Así mismo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

La evaluación de prácticas agrícolas con el de uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco; el levantamiento topográfico del tiradero, el geoposicionamiento de los puntos de muestreo y la extracción de muestras. Estos apartados se desarrollan más adelante, pues cada uno tiene sus propias etapas.

4.3. Evaluación de prácticas agrícolas con el de uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco

Se efectuó través de una entrevista a dos tipos de productores, uno de autoconsumo y otro de gran escala, las preguntas realizadas fueron las siguientes (Figura 4.2):

Evaluación de prácticas agrícolas para el de uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco

Guía de entrevista con agro productores

Nombre del productor y experiencia en el campo (años):

¿Cuál es la extensión dedicada a cada uno de los cultivos y cuantos ciclos de producción realiza anualmente de cada uno?

	Nombre	Extensión	Ciclos de producción por año
Cultivo 1			
Cultivo 2			
Cultivo 3			
Cultivo 4			
	Total		

En su experiencia: ¿Cuáles son las principales plagas que afectan sus cultivos?

- Cultivo 1 _____
- Cultivo 2 _____
- Cultivo 3 _____
- Cultivo 4 _____

¿Qué tipos de agroquímicos utilizan, cual es la periodicidad de aplicación y cuál es el objetivo?

	Agroquímicos usados	Periodicidad de aplicación	Objetivo
Cultivo 1			
Cultivo 2			
Cultivo 3			
Cultivo 4			

¿Conoce si esas sustancias son peligrosas?

¿Cómo es la aplicación de las sustancias? ¿Usa algún tipo de equipo especializado y/o equipo de protección?

¿Cómo (donde) desecha los envases y agroquímicos residuales?

Figura 4.2. Guía de la entrevista a agroproductores

4.4. Levantamiento topográfico

En los estudios destinados a evaluar los impactos del desarrollo de una actividad o proyecto, se debe hacer una descripción válida de las condiciones ambientales de un sistema o sistemas antes del desarrollo del proyecto. Esta descripción amerita levantamientos de campo, en muchas ocasiones a bajo costo y rápidamente.

En esta investigación se realizó un levantamiento topográfico del tiradero de residuos sólidos de Los Altos, los materiales y métodos usados para este apartado se describen a continuación:

Equipos: computadora personal, escáner, impresora, GPS Marca GARMIN; Modelo GPS Map76 CSx..

Programas: Google Earth, Autocad 2004, Microsoft Excel, IRIS, INEGI (2006), todos con Licencia.

Datos: Cartas topográfica escala 1:50,000

- Se reconoció el área de estudio en el Google Earth, a partir de este análisis se obtuvo un polígono simple de la barranca que es utilizada como tiradero. El polígono fue verificado con recorrido de campo.
- En campo se realizó la delimitación del tiradero con GPS en modo de medición simple (navegación) (Figura 4.3., se realizaron mediciones equidistantes a 10m. Cabe destacar que existen algunas excepciones en las cuales tomar la equidistancia deformaría el polígono de afectación. Una vez obtenidas las coordenadas en el sistema de referencia de satélites y con ayuda del UTMGEO.exe se transformaron a coordenadas UTM.
- Se realizó el vaciado y ordenado de los datos a una base en Excel, para exportarla a Autocad, se trabajaron los datos y se calculó la profundidad de la barranca y así concluir el mapa de la zona de estudio.
- A partir de lo anterior se obtuvieron los perfiles del tiradero.
- Con base en la carta topográfica a escala 1: 50,000 de INEGI se digitalizaron las curvas de nivel, hidrografía, uso de suelo y las localidades principales del área de estudio; para utilizar como mapa base.
- Se calculó la pendiente del lugar y por tanto la dirección probable de lixiviación de los contaminantes.



Figura 4.3. Levantamiento topográfico en Ayahualulco

4.5. Muestreo de suelo

La toma de muestras de un suelo es una operación simple pero delicada, por cuanto una muestra tomada incorrectamente no arrojará los resultados representativos y la evaluación será errónea (Textos científicos, 2006).

Se realizó una primera visita a Los Altos, Ayahualulco, Vera cruz en Abril de 2009, en temporada de estiaje; para la toma de muestras de suelo, seleccionando los puntos de muestreo y el número de estos, de acuerdo a las vertientes que presente el terreno. Cabe mencionar que ésta actividad se fundamentó en los lineamientos especificados por la NOM-021-SEMARNAT-2000, misma que establece estudios, muestreo y análisis del suelo. De acuerdo a dicha norma la toma de muestra se realizó en zig zag, a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo. Tomando muestras a tres niveles distintos: superficial, a 0.5 m y a 1.0 m, dado que se deseaba saber si a esa profundidad el plaguicida ha afectado al suelo.

En la selección de los puntos de muestreo se consideraron sitios estratégicos, de acuerdo al desplazamiento hipotético que podría tener el contaminante considerando la pendiente y topografía del terreno. A este respecto se propuso ubicar un punto fuera del tiradero (blanco), y 6 puntos dentro del tiradero, siguiendo la misma pendiente del terreno, lo anterior para conocer si el plaguicida tuvo desplazamiento horizontal, o se filtro a capas inferiores del suelo; para ello se extrajeron las muestras a una profundidad considerable. En total se tomaron con 24 muestras de suelo para ser analizadas (Figura 4.4)



Figura 4.4. Extracción de muestras de suelo en Ayahualulco

Materiales para el muestreo de suelos

Para el muestreo de suelo se utilizaron las siguientes herramientas:

- Estacas, pintadas de verde y con punta en un extremo
- Cinta de 50 m
- Barreno (Hand-Auger con extensión de 3m)
- Pala
- Balde
- Bolsas plástica de polietileno
- Frascos de vidrio para las muestras con capacidad para 1 Kg
- Etiquetas

4.6. Determinación del plaguicida: Curvas de calibración Extracción, purificación y cuantificación.

Se elaboraron en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) en el Departamento de **Biotecnología**, Laboratorio 44 de Compuestos Xenobioticos a cargo de la Dra. Refugio Rodríguez Vázquez, usando para esto un equipo de cromatografía de gas-liquido. Se utilizó este equipo puesto que es capaz de separar macromoléculas y especies iónicas, productos naturales lábiles y materiales poliméricos, con una fase móvil líquida interactiva.

Para la obtención, cuantificación y determinación se realizaron pruebas experimentales utilizando un Cromatógrafo de Líquidos de Alta Resolución (HPLC), utilizando una técnica para analizar plaguicidas del grupo de los organoclorados (Villemur, 2008).

La metodología que se utilizó para la determinación del endosulfán, tanto en su presentación comercial como el de grado analítico, fue la siguiente:

- **Fase I. Obtención del estándar de endosulfán.** Se purificó la presentación comercial utilizando como disolvente cloruro de metileno para realizar una solución saturada con carbón activado en polvo para adicionarla a la presentación comercial del plaguicida. Utilizando un filtro del número 42 Whatman, con diámetro de 110mm, se filtró la solución anteriormente preparada y de ser necesario se realizó la filtración hasta obtener una fase acuosa transparente.

Posteriormente se concentró el estándar en un Rotavapor R-114 Büchi Waterbath B480 a 25°C, al final se obtuvo el endosulfán empleado en la curva de calibración para cuantificar el compuesto en las muestras y determinar el porcentaje de recuperación del **analito**.

- **Fase II. Curva de calibración.** Se inyectaron soluciones a distintas concentraciones conocidas del estándar purificado y se usó acetonitrilo como disolvente.

La cuantificación de las muestras fue determinada en un equipo Cromatógrafo de gases Hewlett Packard Modelo 5890 (figura 4.5) Series II, equipado con detector de captura de electrones (ECD ⁶³Ni) con integrador de áreas modelo 3396. Columna capilar SPB-5 de 30 m x 0.25 mm D.I. x 0.25 µm de espesor de capa. Fase estacionaria fenilmetilsilicón al 5%.



Figura 4.5. Cromatógrafo de gases Hewlett Packard Modelo 5890 Series II

- **Fase III. Extracción del organoclorado de las muestras de suelo.** Se colocó 3 g de suelo en un tubo de centrifuga, se agregó 5 ml de cloruro de metileno, se agitó por 1 min en un agitador mecánico y se centrifugó a 5000 rpm por 10 min; esta operación se realizó tres veces colectando 15 ml del sobrenadante en un vial color ámbar con rosca.

También se consideró hacer una identificación y cuantificación del principal metabolito del endosulfán, el Sulfato Endosulfán (SE).

El método utilizado para la extracción y cuantificación del Sulfato Endosulfán está basado en el procedimiento seguido en el artículo “Método Analítico para la determinación del (SE) subproducto del Endosulfán” (Domínguez, 2009), en el que se utilizó agua alcalina como solvente de extracción y Cromatografía de Líquidos (CL) con Detector de Arreglo de Diodos (DAD) para la cuantificación.

Extracción del SE

Para la extracción del SE se pesaron 1.5 g de suelo húmedo en un tubo para centrífuga de 50ml, se le adicionaron 20ml de agua desionizada con un pH de 10.5, que se consiguió con NaOH 2N, se agitó por 2 min en el Vortex a velocidad máxima, después se sumergió a baño María por 8 min. a 70°C, posteriormente se sometió a baño ultrasónico por 15min a 70°C y, por último se centrifugó a 5000 rpm durante 10 min., se recuperó el sobrenadante.

En la figura 4.6 se detalla el procedimiento para la extracción del SE de las muestras de suelo.

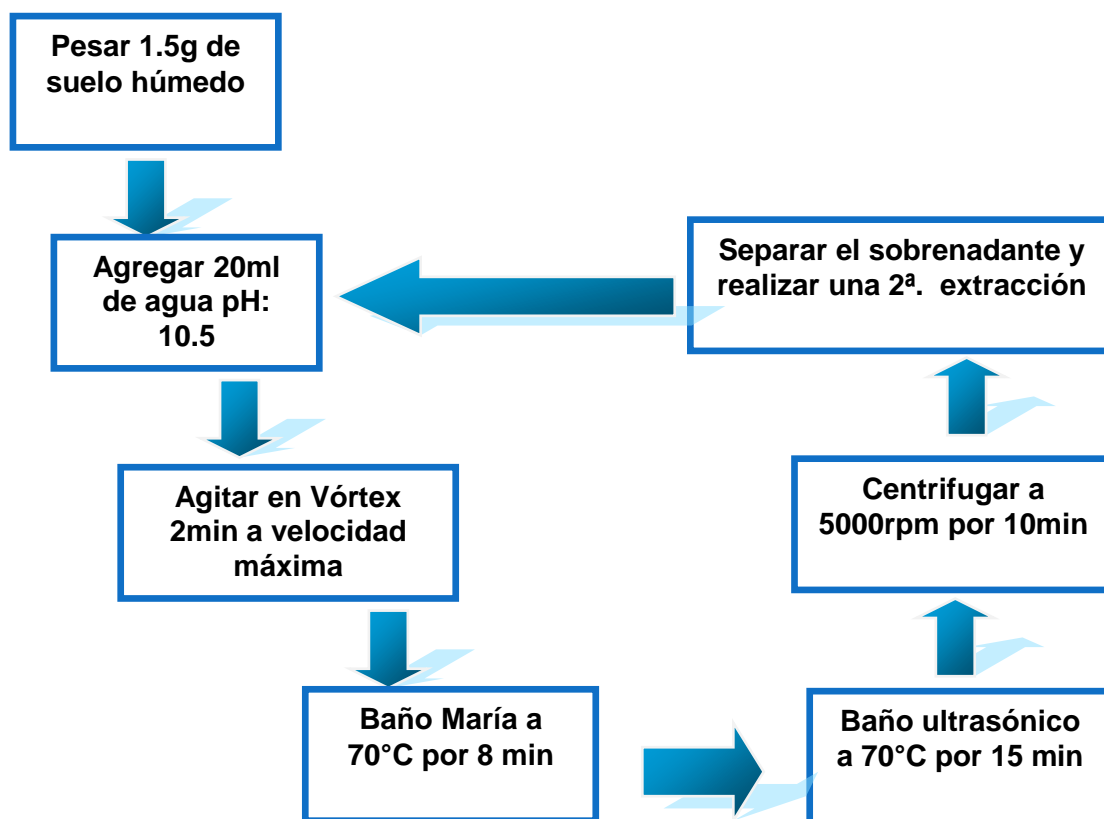


Figura 4.6. Procedimiento de extracción del plaguicida

Cuantificación del plaguicida en las muestras de suelos

Se realizaron las pruebas de laboratorio para seleccionar el disolvente idóneo para la extracción y purificación del plaguicida tanto en presentación comercial como del estándar grado analítico (figura 4.7). Para ello se prepararon las muestras con las siguientes proporciones:



Figura 4.7. Preparación de las soluciones

- 200 ml de diclorometano
- 10 g del endosulfán (presentación comercial y estándar grado analítico)
- 5 g de carbón activado en polvo (granular)

Esto se hizo por quintuplicado, el sobrenadante que se obtuvo a partir de las filtraciones fue sometido a baño maría en un equipo de Rotavapor para obtener el analito purificado y recuperar el solvente; con el endosulfán purificado se determina el porcentaje de recuperación (figura 4.8).



Figura 4.8. Recuperación y purificación del endosulfán en un equipo Rotavapor

Se observó la escasa formación de cristales amarillos (Figura 4.9) y para tener la certeza de que en efecto éste era el Endosulfán fue llevado a un equipo Electrothermal para determinar el punto de fusión, que en el caso del analito es de 194 a 204°C, sin embargo al hacer la prueba con una pequeña porción e introducirla en un capilar se observó que el punto de fusión del analito recuperado era de aproximadamente 150°C. Es decir, que el analito había sido degradado



Figura 4.9. Formación de cristales amarillos

Con el fin de determinar si el endosulfán se podía obtener a partir de su dilución en otros solventes se realizó el mismo procedimiento con acetona ($\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$), acetato de etilo ($\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_3$), éter etílico ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$) y metanol (CH_3OH); aunque al final se obtuvo el mismo resultado. Mostrando que el endosulfán se degradaba rápidamente en estas pruebas.

Debido a lo anterior y a la rápida degradación del endosulfán, se optó por la cuantificación del principal producto de degradación el Sulfato de Endosulfán (SE). Sulfato Endosulfán está considerado como un compuesto de alto riesgo a la salud por ser una sustancia carcinogénica, mutagénica y teratogénica.

Curva de Calibración

Para la curva de calibración se utilizó el estándar de Sulfato Endosulfán Sigma Aldrich y se prepararon soluciones estándar con concentraciones entre 0.25 y 10 mg/l, como se muestra en la Figura 4.10 mostrando las diferentes áreas bajo la curva en función de la concentración preparada.

Con los datos obtenidos se obtuvo la siguiente curva de calibración con una precisión de 0.9896 (Figura 4.11).

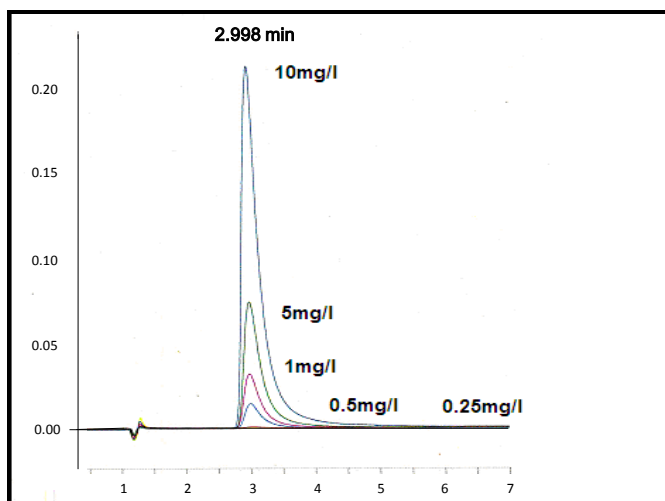


Figura 4.10. Análisis del SE a diferentes concentraciones

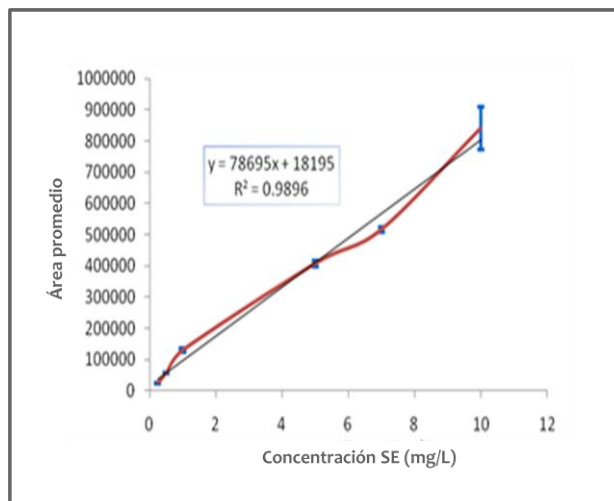


Figura 4.11. Curva estándar de calibración

Adicionalmente se utilizó una cantidad desconocida del Estándar del Endosulfán para probar su solubilidad en agua alcalinizada y ver si podía detectarse a través de la cromatografía y comparar con el SE con lo que se determinó sus tiempos de retención que fueron para el SE de 2.998 minutos y del Endosulfán de 5.005 minutos.

4.7. Caracterización del suelo

Cada suelo se caracteriza por sus propiedades físicas y químicas. El conocimiento de las características físico-químicas de un suelo, nos permite anticipar la dinámica de las sustancias contaminantes.

Así pues tenemos la importancia de algunos parámetros (Chávez-Toledo, 2009):

Procesos ácido-base: Influyen en el grado de descomposición de la materia orgánica y de los minerales, en la solubilidad de algunos contaminantes y en conjunto, los procesos controlados por el pH del suelo. Los contaminantes pueden acidificar el suelo, por vertidos o por oxidación de sulfuros y óxidos nitrosos, con lo que aumenta la vulnerabilidad del suelo.

Materia orgánica del suelo: representa la acumulación de las plantas destruidas y sintetizadas parcialmente y de los residuos animales. Parte de esto cuantifica el humus, que es considerado como el producto final de descomposición de la materia orgánica. Este parámetro contribuye con la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo.

Textura: La textura de un suelo está expresada por la distribución del tamaño de las partículas sólidas que comprenden el suelo. En otras palabras por la composición granulométricas del suelo, previa dispersión de sus agregados. Esta composición permite la oxigenación y lixiviación en el suelo.

Agua en el suelo: El componente líquido de los suelos, denominado por los científicos solución del suelo, es sobre todo agua con varias sustancias minerales en disolución, cantidades grandes de oxígeno y dióxido de carbono disueltos. La solución del suelo es muy compleja y tiene importancia primordial al ser el medio por el que los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas. En este sentido son importantes la determinación de la **capacidad de campo** y la humedad del suelo.

Porosidad, densidad y permeabilidad: Facilitan la circulación de los contaminantes en el suelo y permite eliminar rápidamente los contaminantes y traspasarlos a los niveles freáticos.

Capacidad de intercambio iónico: Corresponde a la cantidad de iones metálicos que una determinada cantidad de suelo es capaz de intercambiar. Estos intercambios son vitales para que los iones metálicos puedan acceder a las plantas. Aumenta la capacidad de autodepuración al fijar los contaminantes sobre la superficie de las partículas.

Nutrientes: la adsorción de nutrientes como nitrógeno, fosforo ayuda al crecimientos de las plantas y a fortalecer la raíces, tallos y formación de bueno granos. Así mismo cuando las plantas mueren devuelven esos elementos al suelo.

La modificación o transformación por contaminación y deforestación de alguno de los factores que conforman un suelo implica un desequilibrio que afecta al resto de los factores y activa normalmente, procesos de regresión en ese suelo. Es así que siguiendo la recomendación de Reyes, 2004, se realizó la caracterización del suelo de la zona de estudio considerando los parámetros citados en la Tabla 4.1. Estos estudios se realizaron en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A) en el Laboratorio de Microbiología y en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la ESIA- IPN.

Las diferentes metodologías para la determinación de estos parámetros se encuentran en el Anexo "a" al final del documento.

Tabla 4.1. Determinación de parámetros del suelo

No.	Parámetro	Método o Técnica utilizada
1	pH	Electrométrico, uso de potenciómetro
2	Materia orgánica	Técnica de Walkley y Black
3	Textura	Técnica del hidrómetro de Bouyoucos
4	Capacidad de campo	Método gravimétrico
5	Humedad	Método gravimétrico desarrollado por Gardner y Klute
6	Densidad real	Con picnómetro
7	Densidad aparente	Método de la parafina
8	Porosidad	Determinación a partir de densidad real y aparente
9	Capacidad de intercambio catiónico	Método de Versenato (EDTA)
10	Nitrógeno	Método Kjeldahl
11	Fósforo	Método de Bray-I

Fuente: Reyes J., 1996.

4.8. Interpretación de los análisis realizados

Después de haber realizado los análisis que nos permitieron cumplir los objetivos planteados obtuvimos los resultados los cuales son las bases para definir el comportamiento de la contaminación en el tiradero y se presentan en el capítulo 5.3 y 5.4

4.9. Discusión de resultados

Al finalizar las actividades planteadas solo queda la discusión de resultados mostrada en el capítulo 6, a partir de la cual se derivan las conclusiones de esta tesis y se establecen las recomendaciones al problema de la disposición de envases de agroquímicos y productos que los contienen en el tiradero a cielo abierto alternativas para mitigar la contaminación resultante del sitio, lo cual se presenta en el capítulo 7.

5. Resultados

5.1. Prácticas agrícolas para el uso de plaguicidas organoclorados en Ayahualulco

Las entrevistas realizadas fueron con dos propietarios, uno con 4 has. de labor y el otro con alrededor de 1,000 has. Los cultivos predominantes para ambos productores son: haba, papa y maíz. Es importante señalar que existe una rotación de cultivos; esto debido a que la papa (Figura 5.1) ofrece un ciclo de producción corto el cual se puede intercalar con el ciclo del haba.



Figura 5.1. Papa mostrada por campesino de Ayahualulco

Para ambos casos los agroquímicos más usados son los plaguicidas que combaten el *tachi*, la *pulguilla*, el *pulgón* y la *rosquilla*²; además de los **fertilizantes foliares**. La frecuencia de aplicaciones por periodo de cultivo varía de un productor a otro, se puede inferir que lo anterior se debe a los costos elevados de los productos.

De la descripción dada por los productores se generó la Tabla 5.1, donde se enlistan los productos usados que contienen Endosulfán:

² Con estos nombres reconocen la llamada catarinita de la papa o "tachi" (*Leptinotarsa decemlineata*); la llamada "Rosquilla" (*Spodoptera sp*); la "pulguilla" de la papa (*Epitrix cucumeris*); y por último el "pulgón" (*Macrosiphum solanifolii* y *Macrosiphum euphorbiae*).

Tabla 5.1. Productos que contienen Endosulfán.

Producto	Concentración de endosulfán	Aplicación
Meteoro 35 CE	35%	Papa, maíz, hortalizas
Endosan	35%	Papa
Endopol	35%	Papa, maíz (dosis de 1-3 l/ha y sin límite en el número de aplicaciones)
Endosulfan 3 CE	33.3%	Papa
Thiodan 35	33%	Maíz, papa (dosis de 1.5-2 l/ha y una aplicación por periodo de cultivo)
Thionex	35%	Maíz, papa (dosis de 1-3 l/ha y sin límite en el número de aplicaciones)

Fuente: Campo complementado con el Diccionario de especialidades agroquímicas, 2008.

A continuación en la Tabla 5.2 se muestran algunos otros agroquímicos que se utilizan en la zona y su **ingrediente activo**:

Tabla 5.2. Otros productos agroquímicos comúnmente usados en Ayahualulco

Nombre comercial	Ingrediente activo
Foley	Paratión Insecticida organofosforado/piretroide
Arribo	Cipermetrina Insecticida piretroide/agrícola
Manzate	Mancozeb Fungicida agrícola/ Gránulos dispersables
Counter	Terbufos Insecticida nematicida/ Granulado
Faena	Glifosato Herbicida/ Solución acuosa
Herbipol	2,4-D AMINA Herbicida/Solución concentrada acuosa
Urea	Fertilizante. Granulado.

Fuente: Campo complementado con el Diccionario de especialidades agroquímicas, 2008.

Los envases de plaguicidas son desechados en el tiradero, quemados y abandonados entre los campos de cultivo. El lavado o enjuagado si bien es una práctica recomendada por la Secretaria de Salud (NOM-232-SSA1-2009) para reducir los residuos de los plaguicidas en los envases, ésta no se realiza de manera generalizada.

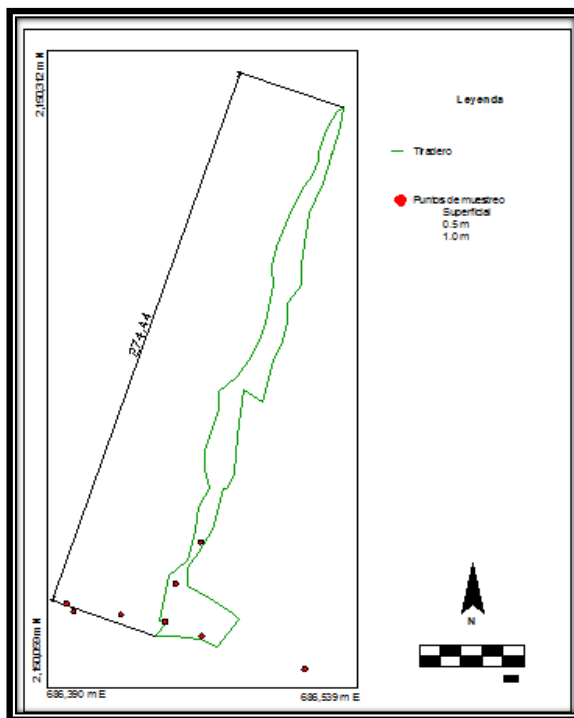
5.2. Topografía del tiradero a cielo abierto y ubicación de los puntos de muestreo

La topografía es un factor importante en la formación de suelos; si bien el suelo es un cuerpo tridimensional, la pendiente es una característica que lo influye, ya que lo afecta debido al escurrimiento, erosión, drenaje y mediación solar. Por estas razones el estudio de las características físicas del tiradero se vuelve importante, pues nos permite analizar la dispersión de la contaminación por plaguicidas.

A través del levantamiento topográfico que se realizó se obtuvo que la superficie total del polígono del tiradero es de 3,141 m²; con un perímetro de 630m. Como se puede apreciar en la Figura 5.2 el tiradero tiene una forma de franja hendida, donde se depositan los residuos peligrosos y no peligrosos de la comunidad de los Altos, Ayahualulco.



Figura 5.2. Tiradero a cielo abierto de Ayahualulco



Tiradero de Residuos Sólidos Municipales. Los Altos, Ayah. Veracruz.

- Área 3,141 m²
- Perímetro 630 m

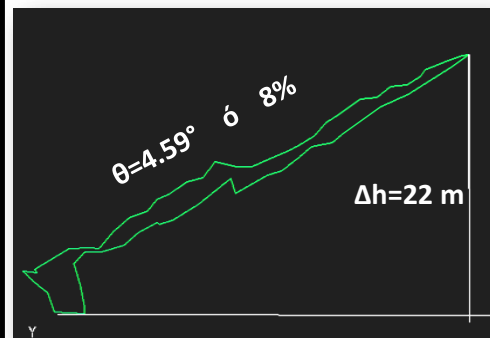


Figura 5.3. Polígono del tiradero a cielo abierto de la comunidad de los Altos.

El polígono que conforma el tiradero (Figura 5.3) tiene a lo largo más de 274m con un ancho promedio de 4.5m y cerca de 12m en la parte más ancha. A través de este levantamiento se calculó un ángulo de inclinación de 4.59°; es decir una pendiente del 8% y una diferencia de altura de 22m entre el punto más alto y la zona más baja que es el sitio de mayor acumulación de residuos.

5.3. Determinación de propiedades de los suelos

A continuación se presentan los resultados de las características físico químicas del suelo del tiradero a cielo abierto de la zona de los Altos, municipio de Ayahualulco, Veracruz.

5.3.1 Textura

De acuerdo con los resultados obtenidos, por el método de Bouyoucos se determinó con la ayuda del triángulo de texturas que el suelo de la zona de del tiradero a cielo abierto es de tipo Andosol (AN), que son típicamente, suelos de paisajes volcánicos con una gran contenido de materiales finos (como se

aprecia en la Tabla 5.3), este suelo es apto para el cultivo de haba y papa; ya que requieren suficiente humedad (Bayer Crop Science, 2010).

Tabla 5.3. Determinación de clase textural de muestras

No.	Coordenadas		Superficie			0.5.m			1.0m			Clase textural
			% arcilla	% limo	% arena	% arcilla	% limo	% arena	% arcilla	% limo	% arena	
	X	Y										
P1	686,405	2,155,675	60.00	22.56	17.44	54.88	7.28	37.84	58.48	0.00	41.52	Arcilla
P2	686,393	2,155,655	57.76	8.00	34.24	60.00	12.00	28.00	54.88	7.28	37.84	Arcilla
P3	686,388	2,155,636	58.88	15.44	25.68	54.48	7.28	38.24	61.12	11.60	27.28	Arcilla
P4	686,367	2,155,640	53.12	3.60	43.28	55.20	7.28	37.52	57.76	0.00	42.24	Arcilla
P5	686,341	2,155,645	56.88	20.36	22.76	76.32	22.96	0.72	62.88	34.56	2.56	Arcilla
P6	686,344	2,155,641	57.12	9.36	33.52	60.00	26.56	13.44	72.00	26.56	1.44	Arcilla
P7	686,406	2,155,629	58.88	10.56	30.56	49.12	3.60	47.28	64.00	22.56	13.44	Arcilla*
P8	686,455	2,155,613	52.88	8.72	38.40	54.16	10.88	34.96	54.88	10.88	34.24	Arcilla

* Principalmente arcilla, con una clasificación de suelo arcilla arenosa en la muestra de 0.5 m

Además los Andosoles (Figura 5.4) son aptos para la agricultura y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua. Cuando son fuertemente hidratados son difíciles de labrar por su baja capacidad de carga y adhesividad. Los Andosoles se siembran con una variedad amplia de cultivos incluyendo caña de azúcar, té, vegetales, trigo y cultivos hortícolas; sin embargo se mantienen mejor bajo bosque (IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007).



Figura 5.4. Suelo de tipo Andosol

El tipo de suelo encontrado en el tiradero tiene una **superficie específica** que podría ser mil veces mayor que la de un suelo conformado por arenas muy gruesas (comparación de los datos de la Tabla 5.4), por lo que presenta una mayor cantidad de microporos, una menor aireación, mayor retención de agua, mayor contenido de materia orgánica y por tanto, mayor capacidad de intercambio catiónico (Cadavid, 2006).

Tabla 5.4. Clasificación de partículas del suelo

Fracción	USA (ϕ mm)	Internacional
Grava	> 2.0	
Arena muy gruesa	2.0 - 1.0	2.0 - 0.2
Arena gruesa	1.0 - 0.5	
Arena media	0.5 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.2 - 0.02
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcillas	< 0.002	< 0.002

Fuente: López-Sánchez, 2009.

Como lo muestra la Tabla 5.4 la arcilla está compuesta de partículas de diámetro menor que 0.002 mm (menos de 2 micrones). Las partículas finas de arcillas tienden a ser de forma plana más que de forma esférica; lo que les confiere una capacidad adsorbente mayor en comparación a las gravas, arenas y limos.

Lo anterior nos muestra que nuestros resultados de materia orgánica y humedad, son congruentes con estos preceptos. Estos resultados eran predecibles porque cuando se realizaron los muestreos destacó el color oscuro de las muestras que es característico de los suelos ricos en nutrientes, y al excavar para la toma de muestras a profundidades de superficie, 0.5, y 1.0 m. la plasticidad del suelo se hizo evidente.

5.3.2 Densidad real, aparente y porosidad

La densidad aparente es menor que la densidad real ya que la primera considera tanto a las partículas del suelo como los espacios del suelos, en tanto que la densidad real sólo considera el espacio ocupado por las partículas. La porosidad está vinculada con la aireación del suelo que es indispensable para la absorción activa del agua.

En la Tabla 5.5 se presentan los valores obtenidos para el parámetro de densidad real, que van de 0.4 a 3.4 g/cm³ en temporada de estiaje y de 1.27 a 3.5 g/cm³.

Considerando los valores medios tenemos para la temporada de estiaje una densidad real de 1.94 g/cm³ y para temporada de lluvias un valor de 2.41 g/cm³, es decir, que no están muy alejados de lo reportado en la literatura, con un rango de 2.5 a 2.7g/cm³ (Maderey, 2005). Estas ligeras variaciones pueden incluso deberse a que en varios de los puntos de muestreo se llegó a encontrar basura enterrada que pudieron influir en los resultados no sólo de este parámetro sino de algunos otros más.

Tabla 5.5. Determinación de Densidad real (g/cm³)

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	1.20	2.00	2.31	1.53	2.02	2.28
P2	686,393	2,155,655	3.40	1.92	1.94	3.50	2.67	2.45
P3	686,388	2,155,636	1.97	2.42	1.68	1.93	2.59	2.49
P4	686,367	2,155,640	2.08	-	2.41	2.48	2.56	2.62
P5	686,341	2,155,645	-	1.75	2.22	3.46	2.45	2.49
P6	686,344	2,155,641	-	1.79	1.89	2.98	1.49	1.50
P7	686,406	2,155,629	0.44	1.57	1.60	1.27	1.75	3.76
P8	686,455	2,155,613	2.02	1.99	2.09	2.28	2.92	2.30

En las Figuras 5.5 y 5.6 se puede observar de forma gráfica los datos de densidad real para cada punto y profundidad específica; sin embargo se observa que en general la densidad real es mayor en la profundidad de 1.0m; así como también que existe mayor variabilidad en los valores a nivel de superficie que pudieron haber sido removidos de forma reciente antes de la toma de muestras.

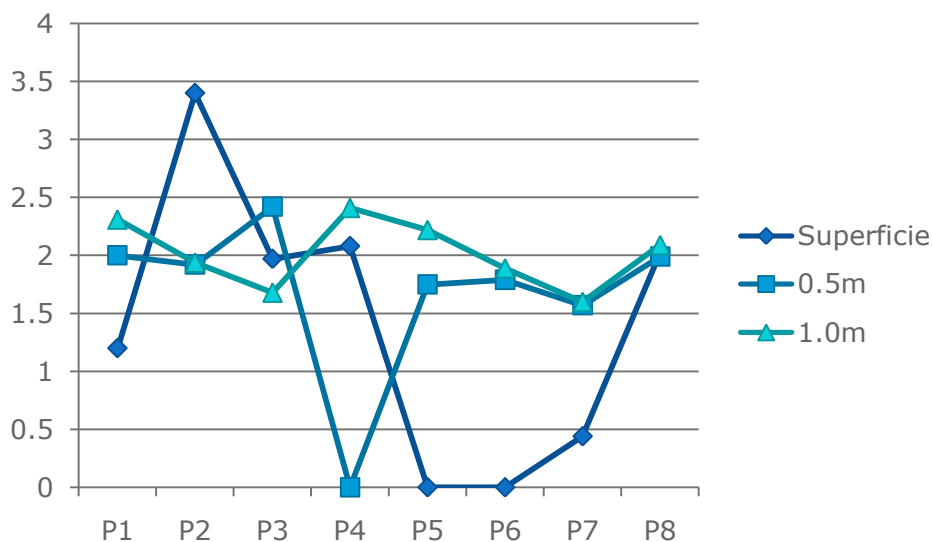


Figura 5.5. Determinación de Densidad real (g/cm³) 1er. Muestreo (estiaje).



Figura 5.6. Determinación de Densidad real (g/cm^3) 2o. Muestreo (lluvias).

La densidad aparente de un Andosol estándar suele ser baja y para suelos arcillosos Quantin y Geissert (s/a) señalan que es de 1,1- 1,3 g/cm^3 . Sin embargo como se observa en la Tabla 5.6 para el punto P5 a 0.5 m de profundidad, en el primer muestreo, el valor obtenido es de 3.07 g/cm^3 , mayor que lo reportado para ese tipo de suelo. En tanto, para el segundo muestreo se obtienen valores promedio de 1.4 g/cm^3 . Cabe señalar que se infiere que los valores elevados pueden deberse a que las muestras obtenidas estaban contaminadas con residuos sólidos que originaron errores en las determinaciones, mismos que se ven reflejados.

Tabla 5.6. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3)

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	1.09	1.22	2.06	1.70	0.68	1.16
P2	686,393	2,155,655	1.99	1.45	1.40	1.51	1.75	1.70
P3	686,388	2,155,636	1.56	2.02	1.06	1.24	1.60	1.54
P4	686,367	2,155,640	1.46	-	2.10	1.37	1.61	1.72
P5	686,341	2,155,645	3.07	1.16	1.34	1.60	1.66	1.78
P6	686,344	2,155,641	-	1.13	1.54	1.17	1.33	1.30
P7	686,406	2,155,629	0.36	0.91	1.00	0.19	1.14	1.70
P8	686,455	2,155,613	1.66	1.67	1.65	1.26	1.46	1.27

A continuación se muestran las Figuras 5.7 y 5.8 que muestran el comportamiento de la densidad aparente de las muestras del tiradero.

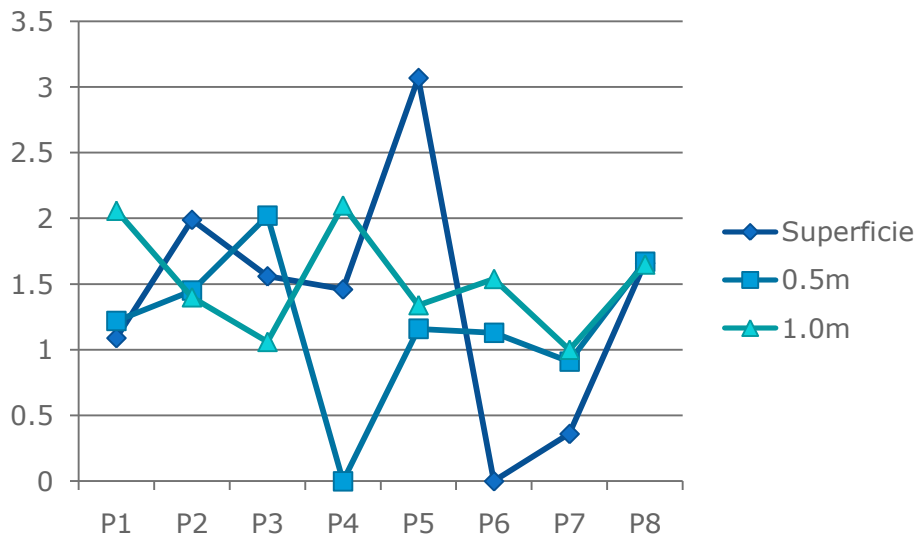


Figura 5.7. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3) 1er. Muestreo (estiaje).

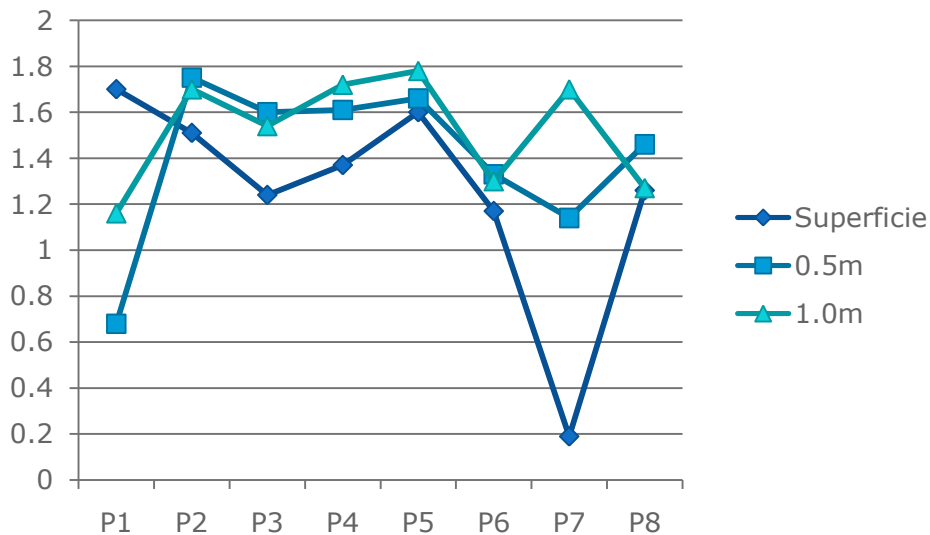


Figura 5.8. Determinación de Densidad aparente (g/cm^3) 2o. Muestreo (lluvias).

Para el caso de porosidad se obtienen valores del 9.06 al 75.6% en algunos casos, pero en general se cumple con lo señalado en bibliografía para este tipo de suelos que en el primer muestreo tienen un valor medio de 28.5% y en el segundo muestreo es de 41.82%. Maderey (2005), señala que para este tipo de suelo puede ir de 31-39%.

Tabla 5.7. Determinación de Porosidad (%)

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	9.06	38.88	10.89	32.74	66.53	49.11
P2	686,393	2,155,655	41.51	24.80	27.46	39.74	34.36	30.47
P3	686,388	2,155,636	20.99	16.71	36.79	51.01	38.45	38.09
P4	686,367	2,155,640	29.71	-	13.00	44.68	36.88	34.28
P5	686,341	2,155,645	75.60	33.85	39.41	60.55	32.19	28.52
P6	686,344	2,155,641	-	37.10	18.45	35.05	46.50	47.96
P7	686,406	2,155,629	17.20	42.45	37.71	27.71	34.77	54.64
P8	686,455	2,155,613	17.96	16.30	21.14	44.78	49.91	44.71

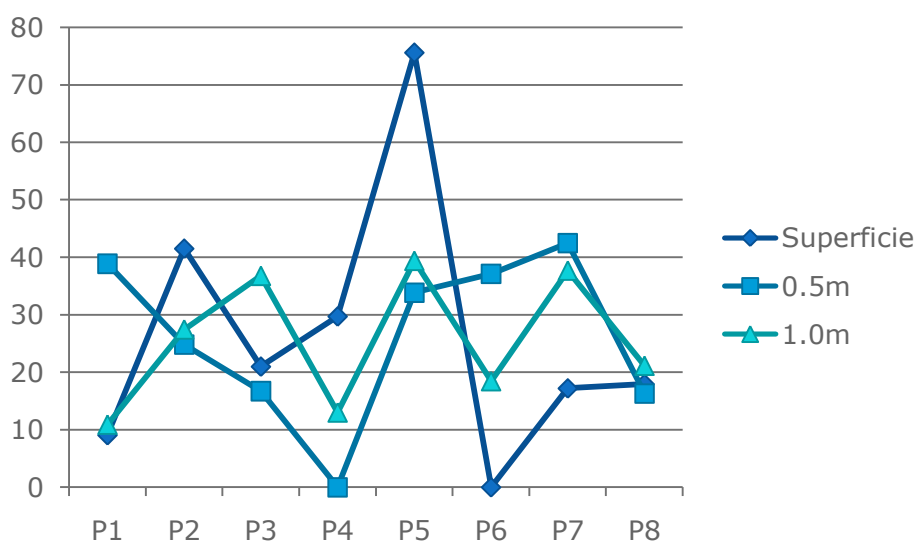


Figura 5.9. Determinación de porosidad (%) 1er. Muestreo (estiaje).

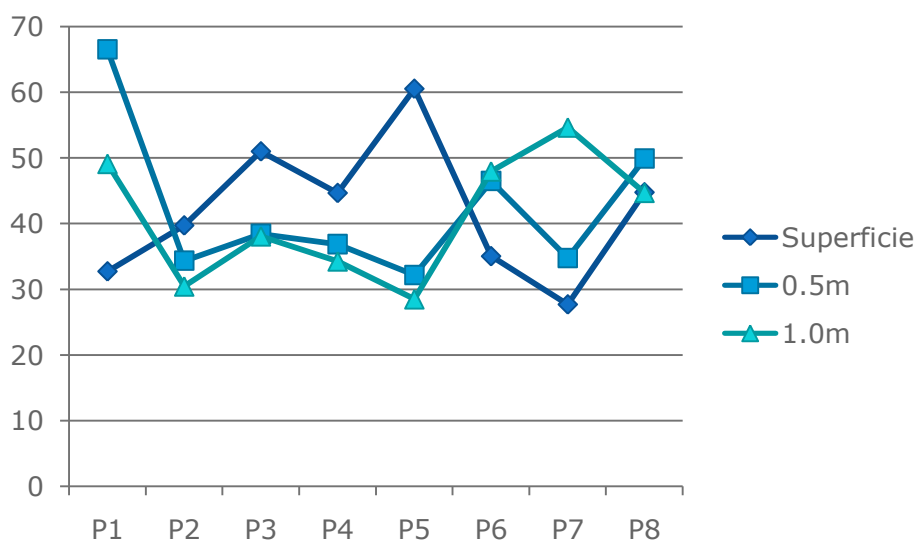


Figura 5.10. Determinación de porosidad (%) 2o. Muestreo (lluvias).

En la página anterior se muestran de forma grafica los resultados de porosidad (Figura 5.9 y 5.10) que presentan menor número de poros en el primer muestreo (estiaje) comparado con el segundo (lluvias).

5.3.3 Humedad a capacidad de campo

El agua molecular presente en los suelos es esencial para las reacciones metabólicas celulares, ya que es un solvente y portador de nutrimentos desde el suelo hasta las plantas y dentro de ellas; intemperiza las rocas y los minerales, ioniza los macro y micronutrientes que las plantas toman del suelo y permite que la materia orgánica sea fácilmente **biodegradable**.

La **capacidad de campo** (CC) de los suelos, es decir, la cantidad de humedad que un suelo retiene contra la gravedad, cuando se deja drenar libremente (INE-a, s/a).

El porcentaje de humedad a capacidad de campo es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la de succión de las raíces, al mismo tiempo que el suelo está lo suficientemente aireado para permitir la respiración radicular, para el caso de los suelos arcillosos pueden tener porcentajes del 34.1 al 38.7% (Quantin y Geissert, s/a). Como se observa en la Tabla 5.8 los resultados obtenidos no coinciden con lo reportado en literatura esto puede deberse básicamente a que durante los muestreos el clima y los fenómenos meteorológicos fueron muy irregulares, hubo escasa precipitación y altas temperaturas y los residuos sólidos enterrados en algunos puntos de muestreo, que originaron errores en la determinación.

Tabla 5.8. Resultados de % de humedad a capacidad de campo

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	30.15	42.42	9.66	11.91	20.07	23.40
P2	686,393	2,155,655	18.69	49.75	44.68	21.91	13.16	12.73
P3	686,388	2,155,636	30.88	11.47	70.83	13.61	9.43	8.46
P4	686,367	2,155,640	29.41	19.59	12.60	14.66	7.28	5.36
P5	686,341	2,155,645	43.97	40.09	18.04	21.87	8.63	5.03
P6	686,344	2,155,641	34.15	55.88	32.53	8.35	7.62	6.93
P7	686,406	2,155,629	35.96	44.20	64.61	25.17	7.69	3.94
P8	686,455	2,155,613	40.35	13.07	17.67	3.66	2.80	8.20

La cantidad de agua en los suelos puede ser benéfica o perjudicial, ya que cuando los suelos tienen agua en exceso favorecen la lixiviación de sales y otros nutrientes naturales de los mismos; entonces el agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas en el suelo (IMP,

SEMARNAT-INE, 2006). La capacidad de campo (CC) de los suelos analizados de forma gráfica se puede ver en las Figuras 5.11 y 5.12.

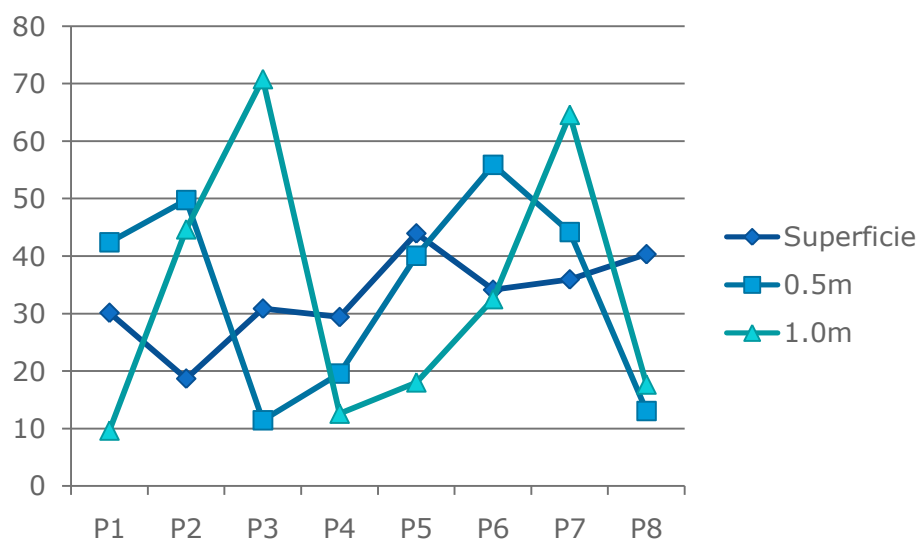


Figura 5.11. Determinación de Capacidad de Campo (%) 1er. Muestreo (estiaje).

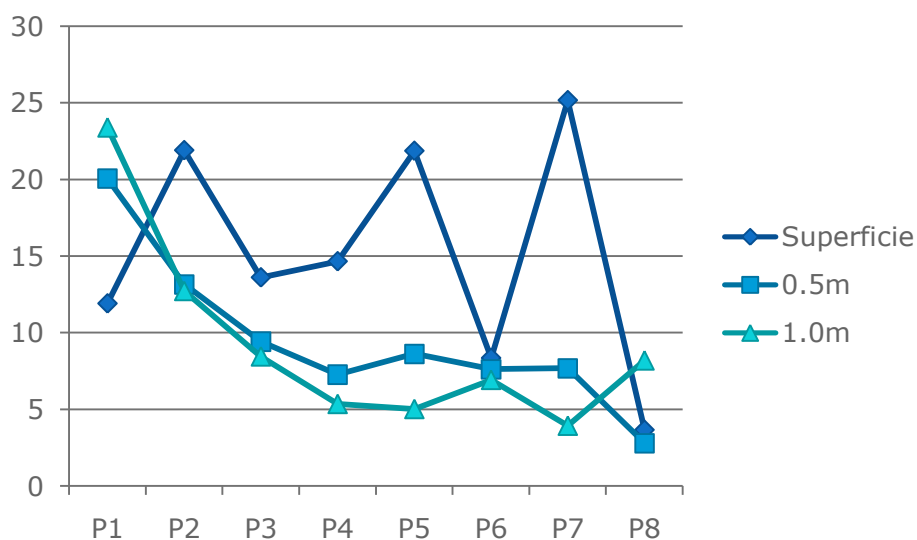


Figura 5.12. Determinación de Capacidad de Campo (%) 2o. Muestreo (lluvias).

5.3.4 Materia orgánica

La materia orgánica (MO) contenida en los suelos indica su nivel de fertilidad. Constituye una reserva de nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) que son liberados en forma gradual. Influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La materia orgánica favorece la formación de agregados y la estructura de los suelos, evita la erosión; favorece la retención de cationes lo que evita que se pierdan los nutrimentos por lavado de los suelos, actúa como **agente quelante** y como **solución buffer**. Además los compuestos de carbono presentes en la materia orgánica son fuente de energía para los organismos del suelo. Es uno de los factores más importantes para determinar la productividad de este recurso, sobre todo en lugares donde la elevada temperatura y humedad aceleran la descomposición.

Ahora bien, de acuerdo con la Tabla 5.9 las muestras de suelo que fueron analizadas indican que la zona en estudio es relativamente pobre en materia orgánica. Los valores obtenidos en la determinación de este parámetro van en el primer muestreo de 1.22 a 9.91% ($\bar{x}_1= 3.60\%$), en el segundo muestreo las determinaciones van de 0.23 a 13.43% ($\bar{x}_2= 5.33\%$). Al igual que en otros parámetros el segundo muestreo brinda un panorama homogéneo de la zona de estudio, teniendo mayores porcentajes de MO a nivel de superficie que descienden a medida que la profundidad se incrementa (excepto P1).

Tabla 5.9. Resultados de materia orgánica contenida en las muestras (%)

No	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	1.80	*9.91	2.47	6.51	*13.43	9.72
P2	686,393	2,155,655	3.75	7.02	*8.08	*7.32	2.25	0.70
P3	686,388	2,155,636	2.63	*3.43	1.25	*7.01	2.48	0.23
P4	686,367	2,155,640	*3.56	2.95	3.53	*9.14	3.72	2.28
P5	686,341	2,155,645	*3.75	1.67	2.18	*6.93	5.19	3.60
P6	686,344	2,155,641	*4.62	2.21	1.22	*8.10	7.11	4.34
P7	686,406	2,155,629	*2.44	1.47	1.35	*7.28	3.79	2.91
P8	686,455	2,155,613	4.90	*6.73	3.43	*7.28	3.44	3.20

* Valores máximos de MO para cada punto de muestreo

Tomando los valores medios de MO y comparándolos con la Tabla 5.10 que hace referencia a la MO en suelos volcánicos característicos de la zona de estudio tenemos que, en temporada de estiaje el suelo tiene un contenido “muy bajo” de MO; mientras que en la temporada de lluvias el contenido de MO es considerada “bajo”.

Se reportan valores más elevados (mayores de 10.9% de MO), que definirían un suelo rico en MO, pero pueden ser datos falsos positivos ya que en esos puntos se encontraron residuos sólidos enterrados e incluso bolsas de plástico del mismo plaguicida que se utiliza para el control de las plagas presentes en la región.

Tabla 5.10. Interpretación del contenido de MO en suelo

Clase	Materia orgánica % Suelos volcánicos
Muy bajo	<4.0
Bajo	4.1-6.0
Medio	6.1-10.9
Alto	11.0-16.0
Muy alto	>16.1

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000

A continuación se muestran las Figuras 5.14 y 5.15 con los valores de MO para cada muestreo.

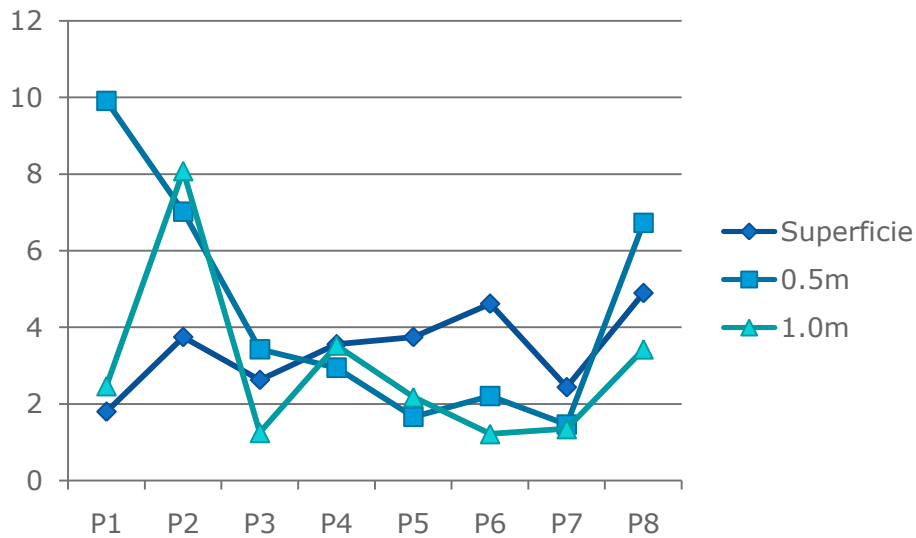


Figura 5.13. Determinación de Materia Orgánica (%) 1er. Muestreo (estiaje).

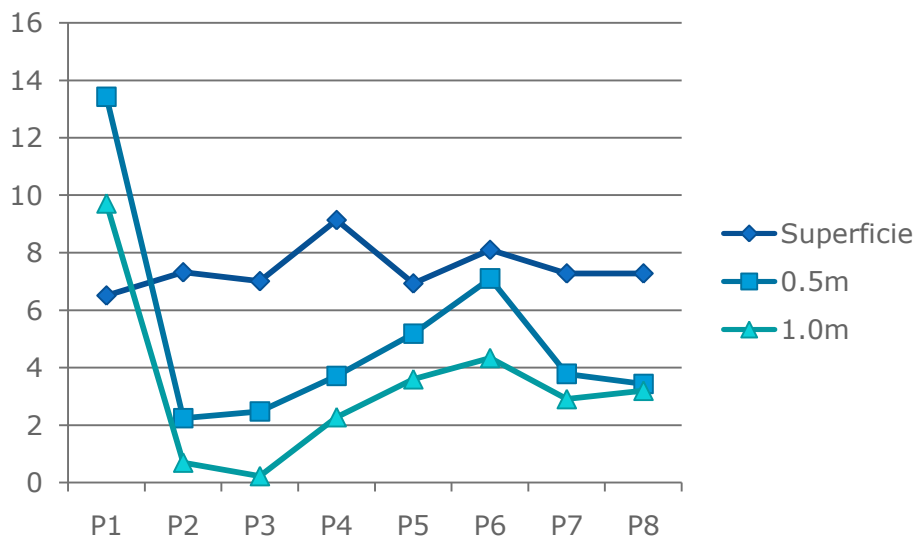


Figura 5.14. Determinación de Materia Orgánica (%) 2o. Muestreo (lluvias).

5.3.5 Nitrógeno orgánico

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Este ciclo es complejo e involucra una serie de reacciones y organismos con diferentes metabolismos. Siempre comienza con compuestos orgánicos sencillos (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2 , NH_3) y termina con compuestos orgánicos complejos; que a través de la descomposición regresan a la etapa de compuestos sencillos (INE-a, s/a).

En los microorganismos la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, por lo que la población microbiana no tendrá un desarrollo óptimo. En contraste, demasiado nitrógeno permite el crecimiento microbiano rápido y acelera la descomposición; pero puede crear problemas de olor en condiciones anaerobias. Además, el exceso de nitrógeno puede ser liberado como amoníaco; en tanto que el nitrógeno aprovechable escapará en forma de gas. Para la mayoría de los materiales una relación C/N cercana a 10:1 mantendrá estos elementos en equilibrio aproximado. En los suelos normalmente el contenido de nitrógeno varía de 0.05 a 2% en sus diferentes formas (INE-a, s/a).

Para el caso de las muestras analizadas, de acuerdo con la Tabla 5.11 tenemos que los suelos tienen un elevado contenido de nitrógeno a nivel superficial y éste disminuye a mayor profundidad lo que es congruente con los datos reportados en literatura para el tipo de suelos agrícolas que al ser fertilizados tienden a acumular mayor cantidad de nitrógeno en la superficie.

Tabla 5.11. Determinación de Nitrógeno (mg kg^{-1}).

No	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	*33.60	17.92	13.83	19.18	*49.7	27.02
P2	686,393	2,155,655	*30.52	16.52	7.84	*30.38	9.24	5.46
P3	686,388	2,155,636	*27.16	18.20	8.12	*24.22	6.44	5.88
P4	686,367	2,155,640	8.12	*13.16	7.28	*32.06	10.92	4.9
P5	686,341	2,155,645	*23.24	11.20	15.12	*26.18	13.3	8.4
P6	686,344	2,155,641	22.10	*30.00	17.73	31.10	*36.20	32.00
P7	686,406	2,155,629	*28.40	24.90	24.90	29.20	*31.20	24.90
P8	686,455	2,155,613	*47.60	31.50	34.70	*36.40	32.60	32.60

* Valores máximos de N para cada punto de muestreo

Además se observa, como en los parámetros anteriores, que para algunos puntos se presentan factores que alteran los resultados.

Los valores medios para el primer y segundo muestreo respectivamente son: $\bar{x}_1 = 21.40$ y $\bar{x}_2 = 23.31$ con lo que se puede determinar que el contenido de nitrógeno en la zona de estudio es medio (referidos al contenido de N en la NOM-021-SEMARNAT-2000)

En las Figuras 5.15 y 5.16 se observa el comportamiento del nitrógeno en las dos épocas del año: estiaje (1er. Muestreo) y lluvias (2o.).

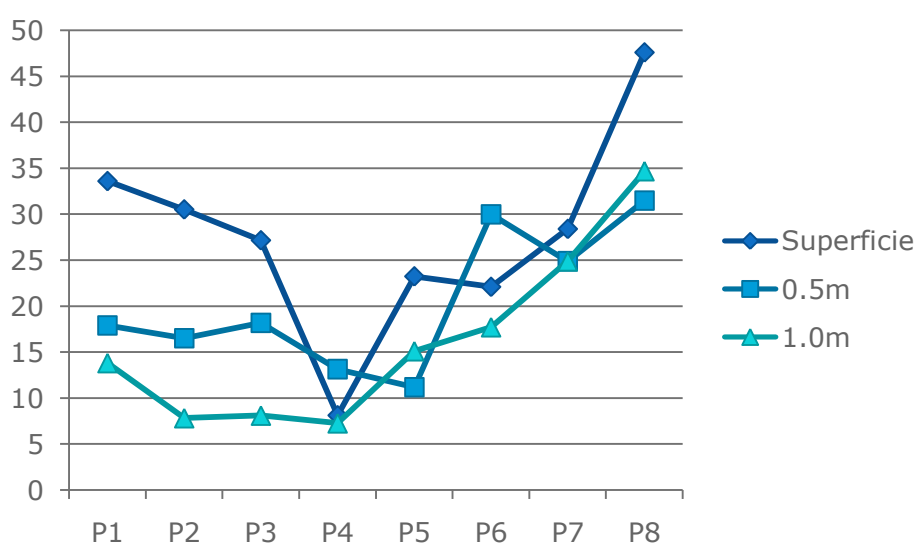


Figura 5.15. Determinación de Nitrógeno Orgánico (mg kg^{-1}) 1er. Muestreo (estiaje).

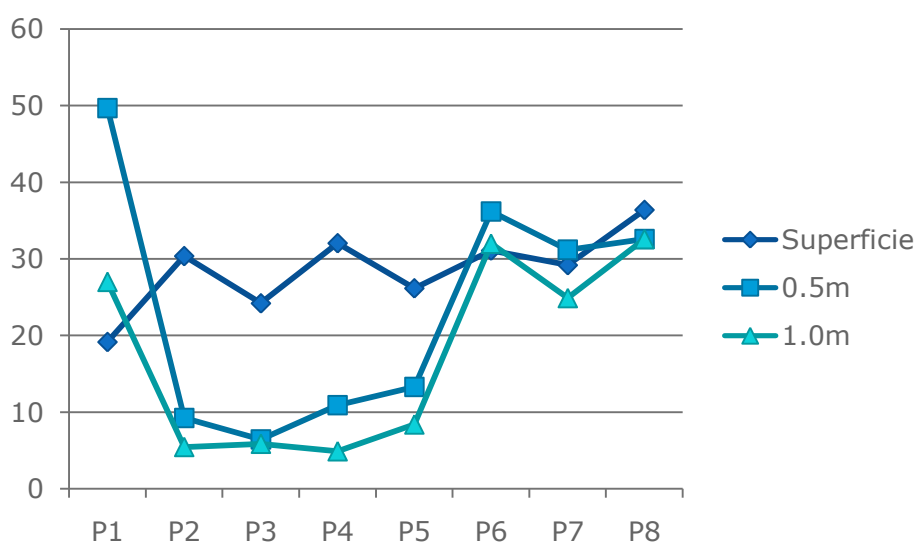


Figura 5.16. Determinación de Nitrógeno Orgánico (mg kg^{-1}) 2o. Muestreo (lluvias).

5.3.6 Fósforo disponible en suelos (P)

En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos que forme. La forma orgánica se encuentra en el humus y la materia orgánica, y sus niveles en el suelo pueden variar desde 0 hasta mayores que 0.2%. La fracción inorgánica está constituida por compuestos de hierro, aluminio, calcio y flúor, entre otros, y normalmente son más abundantes que los compuestos orgánicos. Solo una pequeña parte del fósforo aparece en solución en suelo (< 0.01-1 mg l⁻¹).

El fósforo es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutriente limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Los análisis de fósforo sirven fundamentalmente para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua o suelos, o como un medio para determinar que un sistema presenta contaminación por exceso de este compuesto (Muñoz, 2000).

Con la aplicación del Método de Bray, se obtiene el fósforo aprovechable en suelo con pH neutro como es el caso, para el análisis de las muestras del suelo de la zona agrícola en estudio, indican que la concentración de fósforo es media.

En la Tabla 5.12 se presentan los resultados y se observa que a nivel superficial se tienen valores de contenido de fósforo más elevados, que van de 12.15 a 12.34 mg kg⁻¹ y estos valores descienden a medida que se incrementa la profundidad.

Tabla 5.12. Determinación de Fósforo mg kg⁻¹

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	*19.77	11.20	-	*16.43	8.46	11.8
P2	686,393	2,155,655	*6.31	3.80	3.26	4.49	*5.48	4.03
P3	686,388	2,155,636	*10.06	4.13	3.80	*11.25	6.08	3.80
P4	686,367	2,155,640	*6.18	2.18	1.27	*12.02	4.66	3.59
P5	686,341	2,155,645	*4.08	1.66	2.73	*6.05	1.66	3.95
P6	686,344	2,155,641	*9.00	5.60	3.0	*10.50	6.50	2.50
P7	686,406	2,155,629	*14.00	7.00	2.6	*10.10	5.80	2.60
P8	686,455	2,155,613	*29.33	21.02	12.6	*26.34	18.64	18.1
Promedio			12.34	7.07	4.18	12.15	7.16	6.30

* Valores máximos de P para cada punto de muestreo

En la Tabla 5.13 se muestran los valores de fósforo que determinan la calidad de un suelo fértil. Tomando las medias de ambos muestreos tenemos que $\bar{x}_1=8.03$ y $\bar{x}_2=8.53$ con lo que se considera que el contenido de fósforo nos da una calidad media en este parámetro.

Tabla 5.13. Criterios para determinar la calidad de un suelo en cuanto a su contenido de Fósforo

Categoría	Valor (mg kg^{-1})
Bajo	<5.5
Medio	5.5-11
Alto	>11

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000

De forma gráfica los datos de fósforo se presentan en las Figuras 5.17 y 5.18, donde se puede observar que el punto P8 muestra los valores más altos de fósforo en la zona del tiradero.

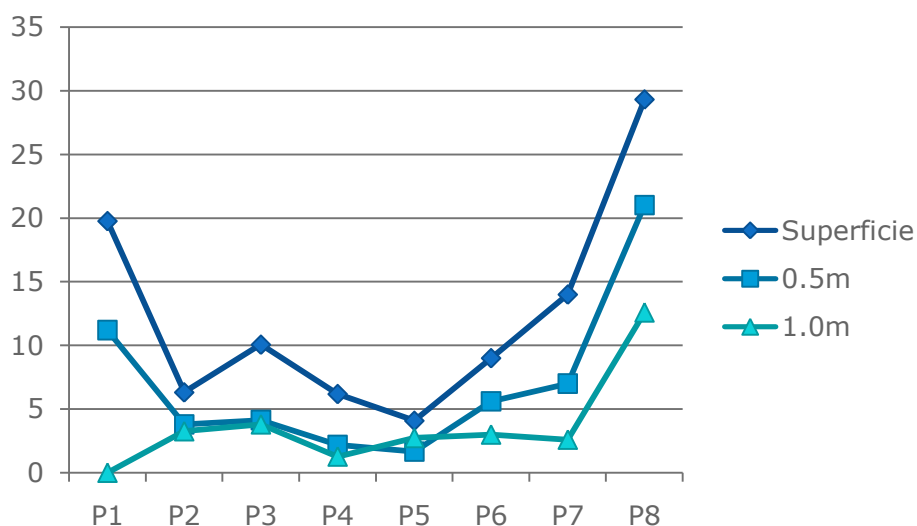


Figura 5.17. Determinación de Fósforo (mg kg^{-1}) 1er. Muestreo (estiaje).

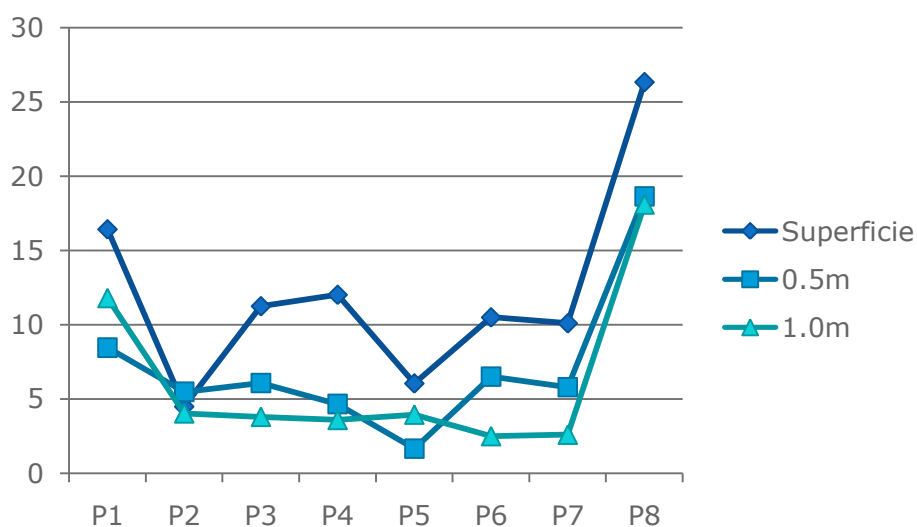


Figura 5.18. Determinación de Fósforo (mg kg^{-1}) 2o. Muestreo (lluvias).

5.3.7 Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica, y podría decirse que es la base de lo que llamamos fertilidad del suelo.

La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. En general, entre más arcilla y materia orgánica esté presente en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor. El contenido de arcilla es importante, debido a que estas pequeñas partículas tienen una relación alta de área superficial a volumen.

Algunos ejemplos de valores de capacidad de intercambio catiónico para diferentes texturas de suelo se mencionan en la Tabla 5.14 (IMP, SEMARNAT-INE, 2006).

Tabla 5.14. CIC para diferentes texturas

Textura de suelo	CIC (meq/100 g suelo)
Arenas (color claro)	3 - 5
Arenas (color oscuro)	10 - 20
Franco	10 - 15
Franco limoso	15 - 25
Arcilla y franco arcilloso	20 - 50
Suelos orgánicos	50 - 100

En general, en la mayoría de los suelos la CIC aumenta cuando se presentan incrementos en el pH.

Las determinaciones de CIC de las muestras analizadas (Tabla 5.15), caen precisamente en los rangos señalados por el documento emitido por el Instituto Nacional de Ecología para la textura de suelo arcilla y franco arcilloso que van de los 20-50 meq/100 g.

Tabla 5.15. Determinación de capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	22.10	30.00	-	31.10	36.20	32.00
P2	686,393	2,155,655	28.40	24.90	24.90	29.20	31.20	24.90
P3	686,388	2,155,636	47.60	31.50	34.70	36.40	32.60	32.60
P4	686,367	2,155,640	29.00	29.60	33.00	30.50	30.50	28.50
P5	686,341	2,155,645	31.00	32.00	32.60	30.10	30.80	24.60
P6	686,344	2,155,641	34.85	21.86	36.92	35.96	34.52	30.05
P7	686,406	2,155,629	20.74	26.81	24.91	30.07	33.33	46.08
P8	686,455	2,155,613	47.81	21.62	29.78	40.01	45.65	24.64

Los rangos de CIC presentados en las muestras para el primer muestreo van de 20.74 a 47.81 meq/100 g y para el segundo muestreo van de 24.60 a 46.08 meq/100 g que son valores totalmente acordes a la literatura (Figuras 5.19 y 5.20).

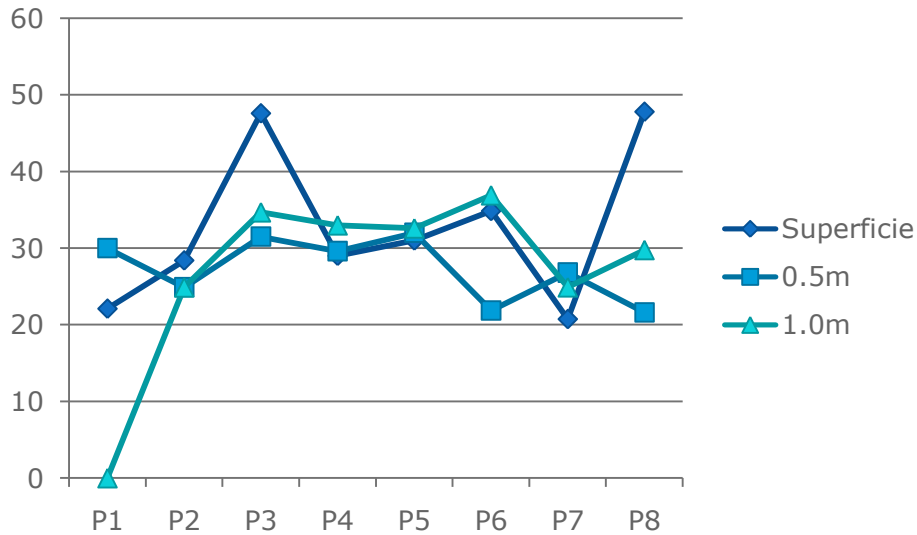


Figura 5.19. Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico en (meq/100g) 1er. Muestreo (estiaje).

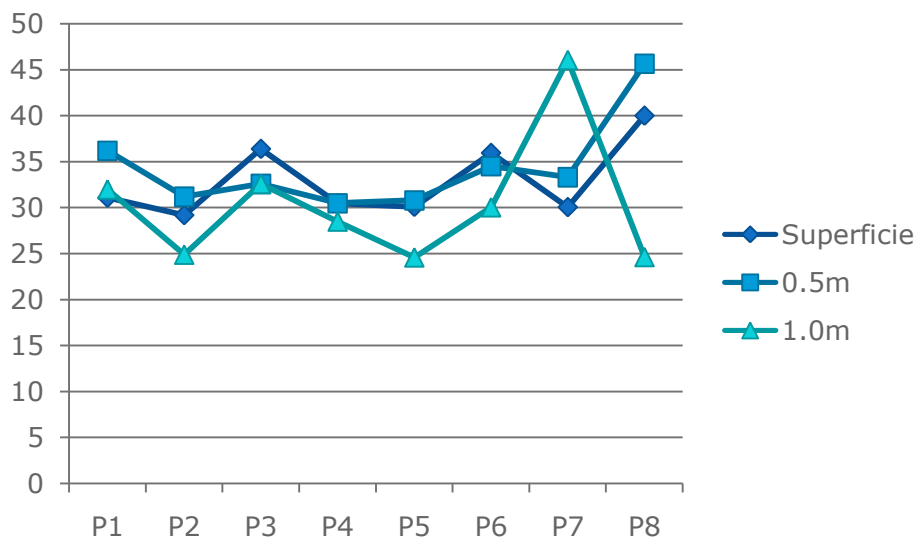


Figura 5.20. Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g) 2o. Muestreo (lluvias).

5.3.8 pH, técnica de Bates

El pH es una propiedad química del suelo que propicia el desarrollo de los microorganismos y plantas, la lectura de pH nos indica la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en la interfase líquida del suelo. Esta concentración de iones de hidrógeno es indicativa de la manera en que se dan los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.

En el caso de las muestras sometidas a análisis de pH con la técnica de Bates se observó que estas muestras de suelo, en su totalidad, tienen un pH cercano a neutro pero con tendencia moderadamente ácida (Tabla 5.16), que coincide con lo establecido en literatura para los suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica y gran capacidad de intercambio catiónico (IMP, SEMARNAT-INE, 2006).

Tabla 5.16. Determinación de pH

No.	Coordenadas		1er. Muestreo (estiaje)			2o. Muestreo (lluvias)		
			Profundidad			Profundidad		
	X	Y	Superficie	0.5m	1.0m	Superficie	0.5m	1.0m
P1	686,405	2,155,675	6.71	6.83	7.29	6.99	6.54	6.82
P2	686,393	2,155,655	6.88	7.25	7.55	7.7	7.21	7.69
P3	686,388	2,155,636	7.62	7.47	6.96	7.43	8.01	7.10
P4	686,367	2,155,640	6.77	6.84	7.00	6.98	6.79	7.11
P5	686,341	2,155,645	5.83	7.28	7.39	6.02	6.49	6.92
P6	686,344	2,155,641	6.04	7.18	7.38	6.31	6.84	6.66
P7	686,406	2,155,629	6.87	6.80	6.85	6.69	6.31	6.12
P8	686,455	2,155,613	6.01	6.86	6.50	5.97	6.46	6.57

Las Figuras 5.21 y 5.22 muestran el comportamiento de las mediciones en cada uno de los puntos y en las distintas profundidades que se realizaron para la obtención de las muestras.



Figura 5.21. Determinación de pH 1er. Muestreo (estiaje).

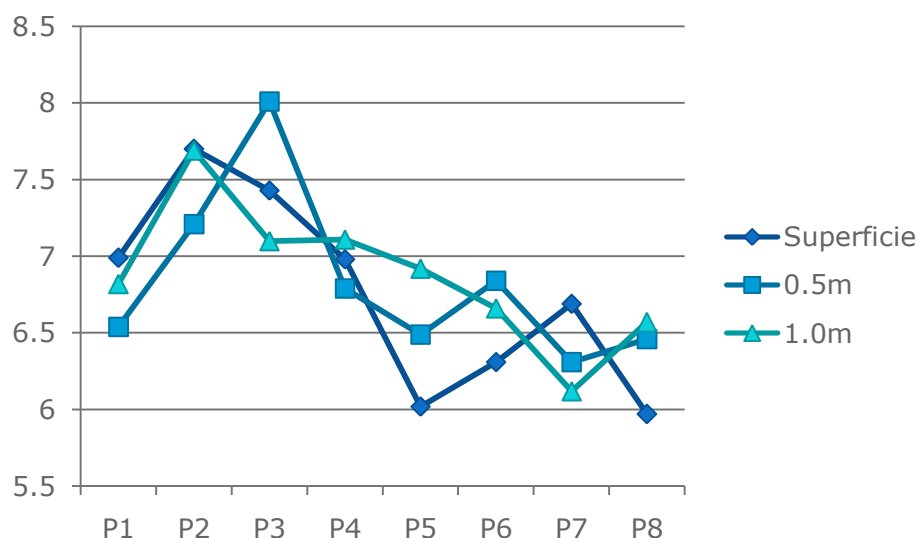


Figura 5.22. Determinación de pH 2o. Muestreo (lluvias).

5.4. Determinación de plaguicidas en suelo

La determinación de porcentajes de recuperación descritos en la metodología de esta tesis, que fueron indicativo de que la técnica se tenía que adecuar por lo que se consideró que las primeras muestras de suelo tomadas en enero de 2009 ya no eran viables para su análisis y éstas se utilizaron como blanco para evaluar los porcentajes de recuperación del Sulfato Endosulfán (SE).

Para verificar si estaba o no presente la SE en las muestras del primer muestreo se analizaron utilizando suelo seco de algunos puntos al azar (Tabla 5.17). Se observa que en las pruebas realizadas a estas muestras se presenta un compuesto con un tiempo de retención similar al del Endosulfán que es de 5.005 min., aunque ligeramente desfasado pero que en los duplicados no aparece, por lo que no se puede asegurar que en realidad sea Endosulfán.

Tabla 5.17. Resultados de análisis de muestras de suelo del primer muestreo

Muestra	Tiempo de retención (min)	Área (unidades)
Solución estándar de SE, 0.001 mg/ml	2.998	135,621
Solución de Endosulfán de concentración desconocida	5.005	343,544
Pruebas del 1er. Muestreo		
Suelo Seco, molido	5.065	138,809
Suelo Seco, molido, duplicado	3.748	3,934
Suelo seco, con solución estándar de SE	4.020	45,012
Suelo seco, con solución estándar de SE, duplicado	3.858	2,948
	5.065	138,809

También para algunas muestras del segundo muestreo se hizo lo mismo, pero con el fin de realizar una comparación, a una muestra del mismo suelo se le agregó un volumen de solución estándar del SE y a la otra no, para determinar sus niveles de detección (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Análisis de suelos del segundo muestreo.

Pruebas del 2º Muestreo		
Muestra	Tiempo de Retención (min)	Área (unidades)
Punto 5-Superficie (solución de SE)	4.174	362,128
Punto 5-Superficie	4.079	4,067

Para el análisis de las muestras colectadas en el segundo muestreo se procesó el suelo lo más rápidamente posible y se trabajó con el suelo húmedo para evitar las pérdidas del compuesto al exponerlo a secar a temperatura ambiente y en vez de pesar 1.5 g se pesaron 3 g. Adicionalmente, se realizaron los análisis con suelo seco y molido con mortero (Tabla 5.19).

Tabla 5.19. Análisis de suelo seco y molido del segundo muestreo

Punto	Profundidad (m)	Peso de suelo húmedo (g)	Tiempo (min)	Área (unidades)
1	0	3.129	FS	0
	0.5	2.991	FS	0
	1	3.145	FS	0
2	0	3.081	4.753	571,366
	0.5	3.466	FS	0
	1	3.107	4.145	13,735
3	0	2.830	FS	0
	0.5	3.195	4.231	5,632
	1	3.278	FS	0
4	0	2.963	3.082	11,523
	0.5	2.551	4.170	42,659
	1	3.293	4.994	670,094
5	0	4.171	FS	0
	0.5	3.042	4.775	605,185
	1	3.256	4.115	15,985
6	0	3.820	4.873	532,823
	0.5	3.195	4.231	5,632
	1	3.827	4.782	65,782
7	0	3.799	4.320	307,500
	0.5	3.581	4.745	83,238
	1	3.742	4.522	713,440
8	0	4.208	FS	0
	0.5	4.044	4.658	150,093
	1	3.579	4.502	45,655

FS: Frente de solvente: Solvente utilizado para la extracción, en este caso Agua desionizada con pH de 10.5

6. Discusión

Al respecto de la determinación del plaguicida tenemos que los análisis realizados a los suelos del segundo muestreo mostraron la presencia de compuestos desconocidos en cantidades nada despreciables, pero que no correspondían al tiempo de retención del SE o del Endosulfán, por lo que no fue posible identificar el compuesto presente en las muestras con los datos experimentales obtenidos.

Se compararon los cromatogramas de algunas muestras del segundo muestreo con el del estándar del SE y, se puede observar que ninguna de las muestras coincide con el tiempo de retención del SE y aunque no son cantidades despreciables no se pueden cuantificar ya que no sabemos cuál es el compuesto presente (Figura 6.1).

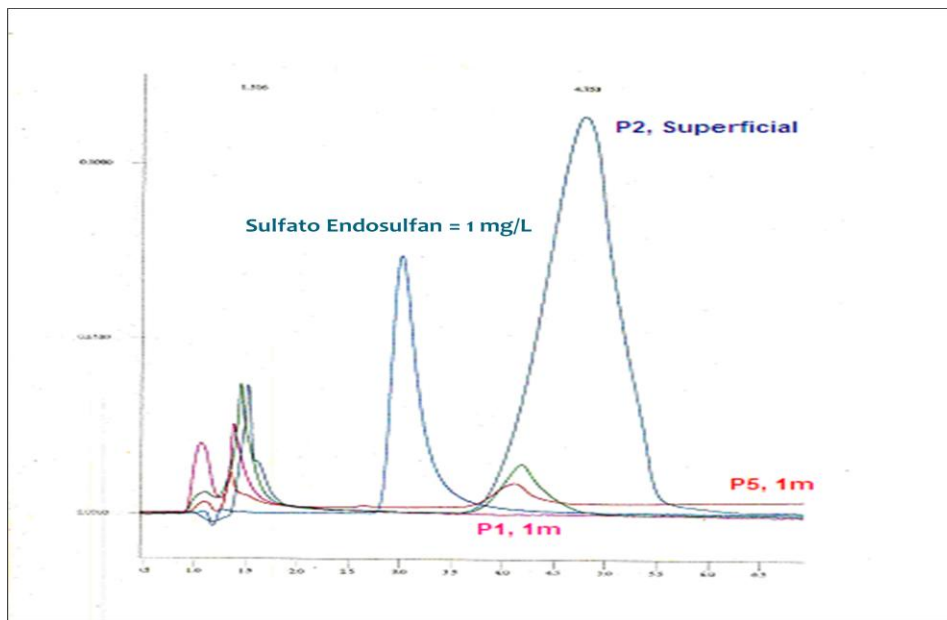


Figura 6.1. Análisis de algunas muestras de suelo comparadas con el estándar del SE

En cuanto a los parámetros físico-químicos tenemos que las mediciones por punto en sus tres profundidades presentan cierta similitud, por lo que se procedió a promediar los parámetros obtenidos a nivel de superficie, 0.5 y 1.0m. por punto, lo cual se muestra a manera de resumen en las Tablas 6.1 y 6.2. Esta decisión se basó en la desviación estándar de los datos, comparando el desvío que existe entre los puntos y de igual forma entre las profundidades de muestreo.

En el capítulo de resultados se mostró que la textura del suelo es de tipo arcillosa en el 96% de las muestras; por lo que, se infiere que el suelo del tiradero tiene las siguientes propiedades:

- Una alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): La CIC elevada se debe a la carga negativa que poseen las arcillas, lo cual es resultado de su composición de agregados de silicatos de aluminio hidratados. Además la CIC favorece en un momento dado la adsorción de metales. En este suelo con textura arcillosa según la literatura se podrían tener iones de calcio y magnesio en relación Ca/Mg de 5:1
- Presenta un bajo porcentaje de materia orgánica: esta MO puede estar adherida en la superficie de las arcillas. debido a las cargas negativas de las arcillas
- Tiene una capacidad de campo grande: La capacidad de campo es grande en un suelo arcilloso pues, al ser las partículas más pequeñas, la porosidad entre las arcillas es menor, favoreciendo así la retención de agua, pues ésta no podrá filtrarse.

Tabla 6.1. Resumen de resultados del primer muestreo

	Densidad real (g/cm ³)	Densidad aparente	Porosidad	Capacidad de campo	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno orgánico (mg/kg)	Fósforo (mg/kg)	CIC (Cmol(+)/kg)	pH
P1	1.837	1.457	19.610	27.410	4.727	21.783	15.485	26.050	6.943
P2	2.420	1.613	31.257	37.707	6.283	18.293	4.457	26.067	7.227
P3	2.023	1.547	24.830	37.727	2.437	17.827	5.997	37.933	7.350
P4	2.245	5.577	21.355	20.533	3.347	9.520	3.210	30.533	6.870
P5	1.985	1.857	49.620	34.033	2.533	16.520	2.823	31.867	6.833
P6	1.840	1.335	27.775	40.853	2.683	23.277	5.867	31.210	6.867
P7	1.203	0.757	32.453	48.257	1.753	26.067	7.867	24.153	6.840
P8	2.033	1.660	18.467	23.697	5.020	37.933	20.983	33.070	6.457

Tabla 6.2. Resumen de resultados del segundo muestreo

	Densidad real (g/cm ³)	Densidad aparente	Porosidad (%)	Capacidad de campo	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno orgánico (%)	Fósforo	CIC (Cmol(+)/kg)	pH
P1	1.943	1.180	49.460	18.460	9.887	31.967	12.230	33.100	6.783
P2	2.873	1.653	34.857	15.933	3.423	15.027	4.667	28.433	7.533
P3	2.337	1.460	42.517	10.500	3.240	12.180	7.043	33.867	7.513
P4	2.553	1.567	38.613	9.100	5.047	15.960	6.757	29.833	6.960
P5	2.800	1.680	40.420	11.843	5.240	15.960	3.887	28.500	6.477
P6	1.990	1.267	43.170	7.633	6.517	33.100	6.500	33.510	6.603
P7	2.260	1.010	39.040	12.267	4.660	28.433	6.167	36.493	6.373
P8	2.500	1.330	46.467	4.887	4.640	33.867	21.027	36.767	6.333

Correlación de los parámetros físico-químicos

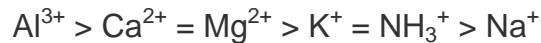
1) Capacidad de Intercambio Catiónico:

La propiedad del suelo de poder intercambiar iones en la interface sólido-líquido, y en concreto el tipo y clase de intercambio, tiene grandes repercusiones en el comportamiento del suelo:

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, entre otros.

- Interviene en los procesos de floculación-dispersión de las arcillas y, por consiguiente, en el desarrollo de estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

La adsorción de los cationes aumenta con una polivalencia y tamaño pequeño de la molécula, en el orden descendente como sigue:



Estos cationes son los más importantes para el crecimiento vegetal. Recordando que el suelo del tiradero en un momento fue utilizado para agricultura.

2) Materia orgánica

La MO interfiere en la capacidad de intercambio catiónico debido a la disociación que esta puede sufrir, los protones que libera en esta disociación, se convierten en cationes capaces de intercambiarse en el suelo. Además en la materia orgánica también pueden intercambiarse los cationes presentes en el suelo.

En los poros en donde hay una poca o nula concentración de oxígeno, los microorganismos presentes pueden fermentar la materia orgánica produciendo ácidos que pueden disminuir el pH del suelo.

El nitrógeno y el fósforo son componentes de algunas especies orgánicas, por lo que a mayor contenido de MO, aumentará el contenido de éstos elementos.

3) pH

El suelo del tiradero presenta un pH ligeramente ácido, por lo que podemos deducir que contiene especies tales como: Aluminio ++, hierro, manganeso, cobre, cinc.

7. Conclusiones y recomendaciones

No se ha detectado presencia de Endosulfán y Sulfato de Endosulfán (SE), sin embargo se encontró presencia de otras sustancias no identificadas en cantidades considerables. El avance de la contaminación no pudo ser demostrado, ya que no se encontró evidencia de una relación de concentración de Endosulfán y SE con la pendiente del terreno. Es decir que no se pudo observar un gradiente de contaminación en el suelo del tiradero.

De acuerdo a las visitas de campo es claro que existe un problema de contaminación por Endosulfán y algunos otros organoclorados y organofosforados, sin embargo la metodología de cuantificación de Endosulfán y SE no fue acertada, por lo que se sugiere que futuras investigaciones se centren en la búsqueda de otros metabolitos de este plaguicida.

Considerando en su conjunto las muestras de los suelos analizados se observa que la determinación de los parámetros mostro resultados muy dispersos, lo que estuvo influenciado por la toma de muestras; ya que en varias ocasiones el suelo tenía residuos incrustados, que debieron ser removidos de la muestra, alterándola física y químicamente.

En general los suelos analizados presentan un nivel medio de nutrientes y con una CIC buena (34 meq/100g), que junto con los demás parámetros analizados sugiere que en estos suelos puede llevarse a cabo un proceso de autodepuración en un mediano plazo, siempre y cuando no se siga realimentando el problema.

La porosidad y textura muestran que el avance de la contaminación por infiltración es lento; debido a la textura arcillosa del suelo y su baja permeabilidad (1×10^{-9} m/seg), lo que limita la afectación en la zona.

La inadecuada legislación y normatividad inducen a los campesinos a abusar de los plaguicidas pues en la actualidad contempla en su mayoría aspectos muy generales y se enfoca más a normar el registro y comercialización de estas sustancias que los efectos secundarios no deseados.

Hay una limitada capacitación y divulgación hacia los campesinos de las especificaciones técnicas de los productos con especial énfasis en el **manejo de plaguicidas**, almacenamiento y aplicación adecuada de los productos.

Existe desconocimiento de los volúmenes actuales de residuos de plaguicidas en el tiradero de residuos de los municipios de Ayahualulco, y la dificultad para deshacerse de los desechos de plaguicidas y sus envases, el cual es un problema extendido en Veracruz y en México.

Recomendaciones

Basado en los argumentos anteriores es necesario inducir en la toma de conciencia del empresario agrícola y campesino sobre el riesgo a la salud y el ambiente por el uso inadecuado de los envases de plaguicidas. Por lo que se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Se exhorta a las instituciones educativas a destinar mayor cantidad de recursos económicos y personal técnico para el desarrollo de técnicas analíticas, con el fin de hacer viable la evaluación de sustancias tóxicas y en particular de plaguicidas organoclorados.

2. Garantizar una eliminación racional y segura de los envases como lo promueve la campaña "Campo Limpio", lo cual brindará los siguientes beneficios

- Aprovechamiento del 100% el plaguicida.
- Manejar con menor riesgo los envases
- No representarían una fuente de contaminación dispersa para el medio ambiente
- Evita la contaminación de mantos acuíferos y canales de riego
- Al evitarse la acumulación de envases en el tiradero se reduce la contaminación de suelo y agua.

En México, existe el antecedente documentado de recolección, tratamiento y disposición final de más de 12 mil envases vacíos de plaguicidas, a través del Programa de "Campo Limpio".

3. **Sustitución** del Endosulfán: a pesar de que no fue identificado de forma analítica en las muestras de suelo, el uso extendido de este organoclorado ha dado claras muestras de su peligrosidad en otros lugares del mundo, por lo que se requiere aplicar un plan alternativo de sustitución adoptando los siguientes lineamientos:

- Emplear al mínimo pesticidas organoclorados y no usar aquellos que no posean una indicación clara de sus componentes activos.
- Utilizar pesticidas de alta degradabilidad y escaso efecto tóxico ambiental, dando preferencia a los componentes organofosforados.
- En el uso agrícola no realizar un uso excesivo de una sola familia de insecticidas ya que podría generarse resistencia. Intercalar productos que tengan un distinto modo de acción.
- Fomentar el manejo integrado de plagas: consiste en utilizar la información actual y completa sobre los ciclos vitales de las plagas y su interacción con el medio ambiente. Esta información, en combinación con los métodos de control de plagas, se utiliza para gestionar los daños de plagas por el medio más económico, y con el menor riesgo posible para las personas, los bienes y el medio ambiente.
- Impulsar una introducción lenta al mercado de productos orgánicos

4. Elaborar un programa de gestión de envases de plaguicidas en Ayahualulco participando a los involucrados con las siguientes acciones

Agricultores

- Participación en cursos de capacitación
- Participación en campañas informativas sobre triple lavado y de recolección de envases.

Municipio

- Terreno para la construcción de centro de acopio.
- Vehículos para el transporte de envases.
- Incentivos para agricultores (abonos orgánicos).
- Personal técnico y de seguridad para atención del centro de acopio.

Autoridades ambientales

- Adjudicar la responsabilidad de los fabricantes de plaguicidas y otros agroquímicos a hacerse responsables de los residuos que generan sus productos.
- Promover centros de acopio y promover el reciclaje de envases de agroquímicos.

Anexos

Procedimientos de laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos en las muestras de suelo

a.1 Determinación del pH del suelo

Para la determinación del pH se utiliza el método potenciométrico AS-02 (NOM-021-SEMARNAT-2000)..

Reactivos

Los reactivos utilizados en esta determinación deben ser grado analítico y el agua utilizada en la preparación de soluciones deber ser destilada o desionizada.

Material y equipo

- Potenciómetro o medidor de pH equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia.
- Balanza con 0.1 g de sensibilidad.
- Frascos de vidrio o plástico transparente de boca ancha con capacidad de 50 a 100 ml.
- Pipeta volumétrica de 20 ml.
- Varilla de vidrio que sirva como agitador manual.
- Piceta.
- Cinta métrica.

Procedimiento

- 1) Pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio de boca ancha.
- 2) Adicionar 20 ml de agua destilada al frasco conteniendo el suelo
- 3) Con una varilla de vidrio, agitar manualmente la mezcla del suelo: agua a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos
- 4) Dejar reposar durante 15 minutos.
- 5) Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladoras de pH 4.0 y 7.0 ó 7.0 y 10.0 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
- 6) Agite nuevamente la solución e introduzca el electrodo en la suspensión.
- 7) Registre el pH al momento que la lectura se haya estabilizado.

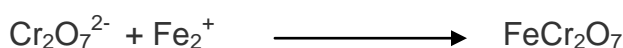
a.2 Determinación de MO del suelo método de Walkley & Black

Determinada como carbono total (UNLPAM, s/a):

La técnica consiste en la **oxidación del carbono por vía húmeda**, utilizando dicromato de potasio como oxidante, con el agregado de ácido sulfúrico para favorecer las condiciones de oxidación. La reacción química es la siguiente:



El Cr(VI) no usado en la oxidación se valora luego por titulación con sulfato ferroso amoniacal (Sal de Mohr):



Reactivos:

1. Dicromato de potasio 4 N: Pesar 49,04 g de la sal pura y llevar a 1 litro.
2. Sulfato ferroso amoniacal 0,5 N: Se disuelven 196,1 g de la sal en 800 ml de agua dest. en matraz aforado de 1 l, se agregan 20 ml de ác. sulfúrico conc. y se lleva a volumen.
3. Difenilamina: Se disuelven 0,5 g en 20 ml de agua dest. y se agregan 100 ml de ác. sulfúrico concentrado.
4. Acido sulfúrico concentrado.
5. Fluoruro de sodio.
6. Acido fosfórico concentrado.

Procedimiento:

- Se pesa 1 g de suelo seco y tamizado y se lleva a un erlenmeyer de 500 ml. Se agrega exactamente 10 ml de solución de dicromato de potasio con pipeta de doble aforo. Se añaden 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se deja enfriar 30 min.
- Paralelamente se prepara un blanco en idénticas condiciones pero sin la muestra de suelo.
- Una vez enfriado, se agregan 170 ml de agua destilada, una pizca de fluoruro de sodio y 10 ml de ácido fosfórico concentrado.
- Se agita, se agregan 10 gotas de difenilamina y se titula con Sal de Mohr. En primer lugar se titula el blanco y luego las muestras. El color de la solución antes de titular es pardo amarillento o oscuro, al comenzar la titulación pasa a azul oscuro, y el punto final se caracteriza por un color verde intenso.

Cálculos:

1. Carbono total:

$$\% C = \frac{1.3 * 0.003 \text{ g/meq} * 0.5 \text{ meq/ml} * (B - P) \text{ ml}}{\text{peso de la muestra (g)}} * 100$$

Donde:

- 1.3 - factor de corrección por la incompleta oxidación.
- 0.003 - peso de un miliequivalente de C en g.
- 0.5 - normalidad de la Sal de Mohr.
- B - ml de Sal de Mohr gastados con el blanco.
- P - ml de Sal de Mohr gastados con la muestra.

2. Materia orgánica:

$$\% MO = \frac{1}{0.58} * \% C = \% C * 1.72$$

Donde: 0.58 surge de que se considera un contenido promedio de C del 58 % en la materia orgánica

a.3 Textura

Técnica del densímetro de Bouyoucos (Juárez-Juárez, 2009).

Experimentalmente se determina que, cuando se utiliza un densímetro del tipo Bouyoucos, la concentración de sólidos totales en la suspensión (en g/litro), indicada por la escala del densímetro a los cuarenta segundos después de la agitación, corresponde a partículas de diámetro < 20 μ (< 0,02 mm) (arcilla y limo) y la indicada a las dos horas corresponde a partículas de diámetro < 2μ (arcilla). (E. Primo Yúfera y J. M. Carrasco Dorrién, 1973).

Material:

- Densímetro Bouyoucos
- Un cronómetro
- Un vaso metálico
- Un frasco lavador
- Un agitador con soporte
- Dos termómetros
- Una pipeta de 10 ml

Reactivos y soluciones:

- Hexametáfosfato de sodio
- Agua destilada
- Solución de NaHCO_3 1N
- 50 g de suelos

Procedimiento:

- a) Se pesan 50 g de suelo, desecado al aire y tamizado a través de una malla de 2 mm.
- b) Se coloca el suelo en la copa de la batidora o licuadora y se añaden 10 ml de solución dispersante y agua destilada hasta que la superficie del líquido quede a unos 6 cm sobre el fondo de la copa o por encima de las aspas.
- c) Se dispersa mediante la batidora durante 2 minutos.
- d) Se vierte el contenido en una probeta de 1 litro, arrastrando con agua de la piseta todas las partículas. Se completa con agua destilada hasta 1 litro.
- e) Se agita la probeta, tapada, durante un minuto a fin de homogeneizar el contenido.
- f) Se coloca la probeta en la mesa al mismo tiempo que pone a correr el cronómetro. Se introduce el densímetro cuidadosamente dentro de la dispersión, y a los cuarenta segundos del cese de la agitación se anota:
 - i) Medida del densímetro.....(c y c')
 - ii) Temperatura en grados centígrados..... (t y t')
- g) Se saca el densímetro de la suspensión y se deja sedimentar ésta.
- h) Al cabo de ciento veinte minutos del momento del cese de la agitación se vuelve a introducir el densímetro y se anota los datos.

a.4 Capacidad de campo

Procedimiento (INE-a, s/a).

Prepare una muestra de suelo (más o menos 150 g) sobre papel de diario, moliendo el material terroso y usando aquella porción que pase por la malla de 2mm.

Introduzca un plato de cerámica para presión en un recipiente con agua y déjelo embeberse por 15 minutos o más. Coloque los anillos de goma de retención sobre el plato en algún orden sistemático. Dentro de cada anillo vierta suelo tamizado (más o menos 25 gr) y sobre este un terrón del mismo suelo. El plato puede tener una capa de agua delgada sobre él, pero no tanta que llegue a cubrir la muestra. El terrón (la muestra) se humedecerá suficientemente por acción capilar.

Ponga el plato en la olla a presión, coloque el tapón de salida del agua en su lugar y agregue una pequeña cantidad de agua al plato para prevenir la evaporación y absorción por las muestras. Ponga la tapa de la olla a presión en su lugar y después deje que las muestras se embeban durante la noche.

Al día siguiente, aplique presión en cantidad que usted estime representativa del potencial capilar necesario para determinar el contenido de humedad a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (1/3 y 15 atmósferas, respectivamente).

Observe si hay filtración de aire en el sistema y asegúrese que el agua está saliendo por el tubo de salida. El flujo de agua se mantendrá hasta que se alcance el equilibrio estático, en cuyo momento (dos días para mayor seguridad) cierre el tubo de salida, quite la presión y saque las muestras para la determinación de humedad.

Cálculos

1. Determine el contenido de humedad, base peso seco, para Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.
2. Asuma que la densidad aparente es 1.2 g/cc y la densidad real es igual a 2.65 g/cc. Calcule la cantidad de agua en m³ que una ha de suelo puede retener a saturación y a capacidad de campo en 30 cm de profundidad.

a.5 Humedad

El método (INE-a, s/a) utilizado para esta medición es el gravimétrico, para determinar únicamente la cantidad de agua de los suelos.

La humedad del suelo se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra húmeda, y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante.

Material y equipo

- Muestras de suelo.
- Balanza analítica.
- Espátula.
- Charolas o papel aluminio a peso constante.
- Estufa.

Procedimiento

- 1) Pesar 1 g de muestra sobre un papel o charola de aluminio a peso constante.
- 2) Colocar la muestra dentro de la estufa a 80°C de 12 a 24 horas.
- 3) Sacar la muestra de la estufa y colocarla dentro de un desecador para que se enfríe.
- 4) Pesar la muestra con todo y papel.
- 5) Calcular los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos.

% Humedad del suelo = (Peso inicial – Peso final)/ Peso inicial * 100

a.6 Densidad real

A través del Método AS-04 con el picnómetro (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Pretratamiento de la muestra

1. Destrucción de la materia orgánica.

Materiales y equipo

1. Picnómetros o matraces aforados de 25mL
2. Desecador de vacío
3. Bomba de vacío
4. Balanza analítica
5. Suelo seco tamizado con tamiz de 2mm
6. Agua destilada y hervida (fría)
7. Embudo de plástico
8. Termómetros

Procedimiento

1. Pesar un matraz o picnómetro limpio y perfectamente seco (1)
2. Colocar en el interior del picnómetro 5g de suelo usando un embudo plástico
3. Anotar el peso del matraz con suelo, manteniendo el matraz completamente limpio (evitar humedad y/o grasa en las manos) (2)
4. Adicionar agua destilada hervida recientemente y fría hasta la mitad del volumen del matraz; girar este entre los dedos con mucha suavidad y colocarlo en el desecador de vacío
5. Hacer vacío durante 15 minutos para eliminar todo el aire retenido en el suelo. La succión de la bomba deberá aumentarse paulatinamente para evitar pérdidas del material por formación de espuma
6. Dejar reposar dentro del desecador por 30 minutos y eliminar el vacío del desecador paulatinamente, sacar el matraz y llenar hasta aforo con agua destilada hervida y fría, secar perfectamente el exterior y pesar en la balanza analítica (3).
7. Tomar la temperatura de la suspensión
8. Vaciar el matraz, enjuagarlo perfectamente y llenarlo hasta aforo con agua destilada, hervida y fría.
9. Pesar el matraz con agua y tomar la temperatura, anotarla (4).

Cálculos

Peso de las partículas del suelo (p_s)

$$p_s = (2) - (1).$$

Volumen de las partículas del suelo (V_s)

$$V_s = \frac{(4) - (1)}{\rho_w} - \frac{(3) - (2)}{\rho_w} = \frac{\text{Peso del agua desplazada por partículas del suelo}}{\text{Densidad del agua}}$$
$$\text{Densidad real } (\rho_s) = \frac{p_s}{V_s}$$

Comentarios

Corregir el valor de la densidad del agua por efecto de temperatura.

a.7 Densidad aparente

A través del Método AS-03 utilizando parafina (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Materiales y equipo

1. Terrones de suelo con un diámetro máximo de 2cm
2. Hilo de algodón para cocer ropa
3. Parafina a punto de fusión (56-60°C)
4. Vaso de precipitados de 550mL
5. Termómetro
6. Estufa
7. Balanza analítica

Procedimiento

1. Secar don o tres terrones de 2 cm a la estufa a 105°C hasta peso constante
2. A uno de estos terrones atarle un hilo procurando que quede bien sujeto y en el otro extremo del hilo hacer una lazada para sujetarla al brazo del platillo de la balanza
3. Pesar el terrón sujetando la lazada al brazo del platillo de la balanza, éste será el peso del terrón al aire (Pt)_a
4. Sumergir el terrón rápidamente en la parafina derretida a 60°C cuidando que quede totalmente cubierto por una capa delgada y uniforme
5. Pesar el terrón parafinado al aire que será: (Ptp)_a
6. Pesar el terrón parafinado sumergido en el agua adecuando al interior de la balanza para que se registre únicamente el peso del terrón sumergido en el agua, que será: (Ptp)_w.

Cálculos

1. Volumen de H₂O desplazada por el terrón
(Ptp)_a – (Ptp)_w = considerando una p_w = 1 g/cm³ que es igual (V_t + V_p)
2. (Ptp)_a – (Pt)_a = Peso de la parafina (Pp)
3. Pp = Vp = Volumen de la parafina (Vp)
4. (V_t + V_p) – Vp = Volumen del terrón (V_t)

$$\frac{(Pt)_a}{V_t} = \text{Densidad aparente}$$

NOTA: la porosidad se determina a través de la densidad real y la aparente.

a.8 Capacidad de Intercambio Catiónico

Usando el Método AS-12, con acetato de amonio (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Método

Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) de los suelos, empleando acetato de amonio.

Principio y aplicación

El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio, y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con

alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.

Material y equipo

- Tubos de centrífuga de 50 ml con fondo redondo.
- Agitador mecánico.
- Centrífuga con capacidad para 8 o 16 tubos.
- Matraces volumétricos de 100 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
- Aparato de destilación.

Soluciones

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa. Cuando se hable de agua se debe entender agua desionizada o destilada. Las soluciones para este análisis deben almacenarse en recipientes de polietileno.

- 1) Solución de acetato de amonio 1.0 N, pH 7.0. Diluir 57 ml de ácido acético glacial (99.5%) con agua a un volumen de aproximadamente 500 ml. Agregar 60 ml de hidróxido de amonio concentrado, diluir con agua a un volumen de 990 ml, mezclar, ajustar a pH 7.0 y diluir a un volumen final de 1 L con agua.
Una alternativa consiste en pesar y disolver 77 g de acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) en 900 ml de agua y de ser necesario ajustar a pH 7.0 y entonces completar a 1 L con agua.
- 2) Alcohol etílico grado industrial.
- 3) Solución de cloruro de sodio al 10%. Pesar 100 g de cloruro de sodio grado analítico y disolver en 1 L de agua, empleando un matraz aforado.
- 4) Solución de cloruro de amonio 1N. Pesar 53.50 g de NH_4Cl y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 L empleando un matraz aforado.
- 5) Solución de cloruro de amonio 0.25N. Pesar 13.38 g de NH_4Cl y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 L empleando un matraz aforado.
- 6) Indicador mixto. Mezclar volúmenes iguales de rojo de metilo al 0.66% y de verde de bromocresol al 0.99%. Ambos disueltos en etanol al 95%.
- 7) Solución de ácido bórico. Usar H_3BO_3 al 2% en agua destilada que contenga 10 ml del indicador por litro.
- 8) Acido clorhídrico 0.01 N, valorado.
- 9) Hidróxido de sodio al 40%. Disolver 400 g de NaOH en agua destilada y llevar a 1 000 ml.
- 10) Nitrato de plata 0.1 N. Disolver 16.98 g de AgNO_3 en agua destilada y llevar a 1 000 ml.

- 11) Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en un matraz volumétrico de 250 ml con agua destilada añadir 17.5 ml de HNO_3 concentrado y aforar.
- 12) Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua destilada.

a.9 Nitrógeno

Método:

La determinación de nitrógeno total se realiza con el método Micro-Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965).

Material y equipo

- Muestra de suelo seco y molido con un mortero
- Balanza analítica
- Matraces Kjeldahl
- Vasos de precipitados
- Probetas
- Digestor
- Matraz aforado de 1L
- Matraces Erlenmeyer de 1L
- Perlas de ebullición
- Pipeta
- Destilador
- Bureta
- Soporte universal con pinza.

Soluciones y reactivos:

- Solución de ácido bórico con indicador. Pesar 20g de ácido bórico (H_3BO_3) y disolver en 750mL de agua destilada. Calentar para la completa disolución del ácido. Dejar enfriar y agregar 20mL de la siguiente mezcla de indicadores: 0.099g de verde de bromocresol y 0.066g de rojo de metilo disueltos en 100mL de alcohol etílico al 96%. El pH de la mezcla debe ser de 5.0, si es más ácido agregar gotas de solución de hidróxido de sodio 0.1N, hasta que la solución adquiera una coloración púrpura o alcance el pH indicado. Completar el volumen a 1L con agua destilada y mezclar.
- Solución de hidróxido de sodio 0.1N: Pesar 4g de hidróxido de sodio (NaOH), disolver en agua destilada y aforar a 1L
- Mezcla de catalizadores: Pesar 62.5g de sulfato de potasio (K_2SO_4) y 6.25g de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Homogeneizar la mezcla
- Solución de hidróxido de sodio 10N: Pesar 200g de hidróxido de sodio (NaOH), disolver en agua destilada y aforar a 500mL. El agua para preparar

la solución debe ser hervida previamente, dejándola enfriar antes de agregarla.

- Solución de ácido sulfúrico 0.01N: Diluir 0.28mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) hasta completar un volumen de 1L con agua destilada. La concentración del ácido debe ser estandarizada con la solución valorada de carbonato de sodio.
- Solución valorada de carbonato de sodio: Pesar 0.25g de carbonato de sodio ($NaCO_3$), previamente secado en la estufa durante 2 horas a $105^\circ C$, disolver en agua destilada y aforar a 50mL
- Solución de anaranjado de metilo: Pesar 0.1g de anaranjado de metilo, disolver en agua destilada y aforar a 100mL.
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Granallas de zinc.

Procedimiento

A. Digestión.

- 1) Pesar una muestra de suelo de 0.25 a 1 g, que dependen de la materia orgánica del suelo; entre más materia orgánica tenga el suelo, menos serán los gramos de muestra
- 2) Colocar la muestra de suelo en un matraz Kjeldahl seco
- 3) Adicionar 2g de mezcla de catalizadores
- 4) Agregar 5mL de ácido sulfúrico concentrado
- 5) Poner a calentar en el digestor a una temperatura media, hasta que la muestra se torne clara. La temperatura debe ser regulada de modo que los vapores de ácido sulfúrico se condensen en el tercio inferior del matraz Kjeldahl.
- 6) Hervir la muestra por una hora a partir de ese momento
- 7) Una vez terminada la digestión, apagar el digestor y tapar con un frasco los matraces para dejar enfriar.

B. Destilación

- 1) Añadir al matraz Kjeldahl frío 25mL de agua destilada y mezclar vigorosamente hasta una disolución completa
- 2) Transferir el líquido a un matraz Erlenmeyer de 500mL. Colocar de 5 a 6 perlas de ebullición.
- 3) Adicionar 3 granallas de zinc. Añadir 15mL de la solución de hidróxido de sodio 10N, sosteniendo el matraz inclinado de modo que se deposite en el fondo
- 4) Colocar en la salida del aparato de destilación un vaso de precipitados de 50mL, que contenga 10mL de la solución de ácido bórico más indicador
- 5) Conectar el flujo de agua e iniciar la destilación. Destilar hasta que el volumen alcance la marca de 20mL en el vaso de precipitados de 50mL. Una vez alcanzado dicho volumen, retirar el matraz y apagar el aparato.

- 6) Titular el nitrógeno amoniacal con la solución de ácido sulfúrico 0.01N hasta que vire de verde a rosado fuerte
- 7) Realizar un blanco siguiendo los pasos del 3 al 15.

Cálculos.

Calcular la concentración de nitrógeno, sustituyendo en la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(T - B) \times N \times 1.4}{S}$$

Donde:

T = mL de ácido sulfúrico valorado gastados en la muestra.

B = mL de ácido sulfúrico valorado gastados en el blanco.

N = normalidad exacta del ácido sulfúrico.

S = peso de la muestra de suelo.

a.10 Fosforo

Método

La determinación del fósforo extraíble en suelos neutros y ácidos se realizara a través del método AS-11, por el procedimiento de Bray-1 (NOM-021-SEMARNAT-2000)

Principio y aplicación

Este método, es ampliamente utilizado en estudios de fertilidad de suelos para la determinación de fósforo disponible en suelos ácidos. El fósforo determinado con este procedimiento ha mostrado una estrecha relación con la respuesta de los cultivos. La solución extractora de P consiste de una combinación de HCl y NH₄F la cual remueve formas de P ácido solubles como los fosfatos de calcio y una porción de fosfatos de aluminio y hierro. El NH₄F disuelve los fosfatos de aluminio y hierro al formar un ion complejo con estos iones metálicos en solución ácida.

Reactivos

1. Solución de fluoruro de amonio 1N. disolver 37g de NH₄F en agua destilada y diluir hasta un litro. Conservar esta solución en una botella de polietileno.
2. Acido clorhídrico 0.5N. diluir 20.4 mL de HCl concentrado hasta 500mL con agua destilada.
3. Solución extractora Bray-Kurtz 1. Mezclar 30mL de la solución de fluoruro de amonio 1N con 50mL de la solución de ácido clorhídrico 0.5N y diluir a un litro con agua destilada. La solución resultante es 0.03N en NH₄F y 0.025N en HCl y es estable por más de un año si se conserva en frasco de polietileno.
4. Solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. pese 0.5g de K(SbO)C₄H₄O₆.1/2 H₂O, transfíeralo a un matraz volumétrico de 100mL disuélvalo y afore con agua destilada.
5. Solución de molibdato de amonio [(NH₄)₆Mo₇O₂₄ . 4H₂O]. disolver 20g de molibdano de amonio [(NH₄)₆Mo₇O₂₄ . 4H₂O] en 300mL de agua

destilada. Agregue lentamente bajo constante agitación y con cuidado, 450mL de H₂SO₄ (14N) (194.4mL H₂SO₄ concentrado, diluido a 500mL con agua da una concentración de aproximadamente 14N). Agregue 100mL de una solución al 0.5% (p/v) de tartrato de antimonio y potasio. Diluya las mezclas a 1L con agua destilada. Este frasco se debe mantener tapado y con papel aluminio y protegido de la luz.

6. Solución reductora con ácido ascórbico. Disolver 0.50g de ácido ascórbico con un poco de solución patrón de molibdato de amonio y aforar a 100mL con la misma solución. Esta solución es preparada cada vez que se vaya a formar color.
7. Solución patrón de 200mg/L de P. Disolver 0.8786 g de fosfato dihidrógeno de potasio (KH₂PO₄), seco al horno, en agua y diluirla a un litro. Esta solución contiene 200mg/L y debe guardarse refrigerada en frasco de plástico o de vidrio blando (no Pyrex) para evitar contaminación con arsénico. Algunos autores recomiendan agregar antes de enrasar 25mL de H₂SO₄ 7N, lo cual ayudará a su conservación indefinida.
8. Solución patrón de 10mG/L de P. Diluir 10mL (medidos con bureta) de la solución de 200mg/L P en 200mL con agua destilada

Material y equipo

- Tubos de polietileno de 50mL
- Papel Whatman No. 42
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro para hacer lecturas a 880 nm y celdas
- Agitador mecánico recíproco ajustado a 180 oscilaciones por minuto
- Bureta de 10mL
- Matraces volumétricos de 50mL

Procedimiento

1. Pesar 2.5g de suelo previamente tamizado por malla de 2mm y colocarlo en un tubo de polietileno de 50mL
2. Adicionar 25mL de la solución extractora, taparlo
3. Agitar la suspensión en agitador de acción recíproca regulado a 180 oscilaciones por minuto, por 5 min.
4. El extracto se filtra a través de papel Whatman No. 42 u otro de calidad similar. Debe recordarse que algunos papeles filtro pueden contener cantidades altas de fósforo.
5. Tomar una alícuota de 2 a 40mL del extracto, dependiendo de la concentración de P en solución (alícuotas de 5 a 10 mL son en general adecuadas para suelos bajos y medios en P) y colocarla en un matraz aforado de 50mL
6. Adicionar agua hasta completar aproximadamente 40mL. Si es que se usa una alícuota inferior a este volumen

7. Agregar 5mL de la solución reductora, agitar y completar a volumen
8. Esperar 30 minutos y leer la intensidad de la absorción de luz a 882 nm
9. Preparar blancos siguiendo el mismo procedimiento que en las muestras
10. Preparar una curva de calibración que contenga puntos correspondientes a 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5 mg L⁻¹ de P. Para ello colocar en matraces aforados de 50mL 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mL de la solución de 10mg L⁻¹ de P y proseguir en la forma descrita para las muestras
11. Adicionar un volumen de solución extractante igual a la alícuota empleada para medir en las muestras conocidas
12. Llevar a aproximadamente 40mL con agua y adicionar 5mL de la solución reductora, agitar y completar a volumen.
13. Esperar 30 minutos y leer la intensidad de la absorción de luz a 862 nm (nanómetros).

Cálculos

$$P \text{ (mg/kg de suelo)} = CC \times V_f/A \times V_i/p$$

Donde:

CC = mg L⁻¹ de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L⁻¹) e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha restado el valor promedio de los blancos o por medio de una regresión simple

V_f = volumen final de la solución colorimétrica, mL

A = alícuota del extracto usado colorimetría, mL

V_i = volumen de la solución empleada para hacer el extracto, mL

P = peso de la muestra seca al aire.

Informe de la prueba

Los resultados del contenido de P disponible en el suelo se reportan en miligramos por kilogramo de suelo (mg/kg). Se recomienda el uso de una cifra decimal.

Bibliografía

- **Adebayo et al. 2007.** Research Journal of Biological Sciences. Effect of Two Insecticides Karate and Thiodan on Population Dynamics of Four Different Soil Microorganism. Documento web disponible en: <http://www.medwelljournals.com/fulltext/rjbs/2007/557-560.pdf> [Septiembre de 2008]
- **Albert Lilia, 2004.** Panorama de los plaguicidas en México. 7° Congreso de Actualización en Toxicología Clínica 2005. Disponible en: <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf> [Noviembre 2009]
- **ATSDR -Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2000.** Toxicological profile for endosulfán. Página web disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=609&tid=113> [Octubre de 2010]
- **Bayer Crop Science, 2010.** Ficha Técnica de cultivo. Papa y haba. Disponible en: <http://www.bayercropscience.cl/soluciones/cultivos.asp> [Noviembre de 2010]
- **Bejarano Fernando, 2008.** INE. Presentación disponible en: http://www.ine.gob.mx/dgicur/sqre/descargas/foro_cops_3_pon_f_bejarano.pdf [Diciembre de 2009]
- **Bremner, 1965.** Inorganic forms of nitrogen. Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- **Cadavid, 2006.** Facultad de ingenierías. Mecánica de suelos. Colombia.
- **CAMEO Chemicals, 2009.** National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). US Government. Database of Hazardous Materials. Página web disponible en: <http://cameochemicals.noaa.gov/> [Mayo de 2009]
- **Cárdenas Beatriz, 2001.** Revisión y análisis de las experiencias nacionales respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de pilas, baterías, lubricantes y envases vacíos de plaguicidas. <http://mx.geocities.com/manejoderesiduos/anexos/PresentacionCArdenasenvases.ppt#1> [Junio de 2009]

- **CEPIS-OPS-OMS, 2000.** Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas de FAO. Pagina wen disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial2/e/unidad9/anexo1.html> [Mayo de 2009]
- **Chávez-Toledo Carlos, 2009.** Contaminación del suelo. Presentación disponible en: <http://www.urs.uson.mx/Diplomado%20Responsables%20Ambientales/VIII.%20Contaminacion%20del%20suelo/1.%20Introduccion.pdf> [Marzo 2009]
- **Diccionario de especialidades agroquímicas, 2008.** Disponible en: http://filsa.com.mx/filsa/index.php?option=com_wrapper&Itemid=40 [Junio de 2009]
- **Domínguez, 2009.** “Método Analítico para la determinación del (SE) subproducto del Endosulfán”
- **EPA, 2009.** Plaguicidas. Página web disponible: <http://www.epa.gov/pesticides/> [Mayo de 2009]
- **EPA, s/a.** Capitulo 6 Insecticidas de cloruros orgánicos. Disponible en: <http://www.epa.gov/pesticides/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch6.pdf> [Julio 2009]
- **Farrera René, 2004.** Acerca de los plaguicidas y su uso en la agricultura. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. Número 6. septiembre-diciembre 2004. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n6/arti/farrera_r/arti/farrera_r.htm [Mayo 2009]
- **GEV (Gobierno del Estado de Veracruz), 2005.** Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Ayahualulco. Página web disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30025a.htm> [Marzo de 2009]
- **Gutierrez Aguirre, 2000.** Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Tendencia de 1988 a 1998 de los niveles de plaguicidas organoclorados persistentes en tejido adiposo humano en Veracruz, México. Documento web disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=37016102> [Septiembre de 2008]

- **Harikrishnan y Usha, 2004.** Endosulfán – Hoja informativa y Respuestas a preguntas frecuentes. Thanal. Disponible en: http://www.rapaluruaguay.org/endosulfan/hoja_informativa.pdf [Abril de 2008]
- **IMP, SEMARNAT-INE, 2006.**
- **INE, 1995.** Gaceta Ecológica no. 36. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/gaceta36/g9536092.html> [Junio de 2009]
- **INE, 2000.** Informe de CICOPLAFEST. www.ine.gob.mx/dgmrar/mt/cicoplafest/index.html [Junio de 2009]
- **INE, s/a.** Datos de identificación. Endosulfán. Documento web disponible en: <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/plaguicidas/pdf/endosulfan.pdf> [Junio 2008]
- **INE-a, s/a.** Manual de técnicas de análisis de suelos. Análisis Físicos y Químicos del suelo. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf> [Noviembre de 2010]
- **INEGI, 2008.** Sistema para la Consulta del Anuario Estadístico de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2008. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=aee&edi=2008&ent=30> [Mayo de 2009]
- **IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007.** Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0510s/a0510s00.pdf> [Noviembre de 2010]
- **Jiménez Clementina et al., 2007.** Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. Pagina web disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=37023401> [Septiembre de 2008]
- **Juárez-Juárez Minerva; 2009.** Instituto Politécnico Nacional-UPIBI. Departamento de ciencias básicas. Manual de prácticas de laboratorio de química ambiental II.

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.** Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf> [Noviembre de 2010]
- **Ley que crea el organismo descentralizado 'fertilizantes de Veracruz.** Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/VERACRUZ/Leyes/VERLEY84.pdf> [Abril de 2008]
- **Ley que Crea la Comisión de Comercialización de Productos Agrícolas en el Estado de Veracruz.** Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/VERACRUZ/Leyes/VERLEY86.pdf> [Abril de 2008]
- **LGPGIR.** Disponible en: <http://74.125.95.132/search?q=cache:-3ri0htUdroJ:www.profepa.gob.mx/NR/rdonlyres/ECB13E70-FB0C-4C35-B042-5FE59545AF09/6266/LGPGIR.pdf+LGPGIR&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx> [Junio de 2009]
- **López-Sánchez Felipe, 2009.** Apuntes de Contaminación del suelo. Bases teóricas. Maestría en Ingeniería Civil. ESIA-IPN.
- **Lucas Viñuela, Enedina, 2009.** Características generales de los plaguicidas principios para el establecimiento de los LMR de plaguicidas según la reunión conjunta FAO/OMS sobre residuos de plaguicidas (JMPR). FAO-OMS. Documento web disponible en: www.rlc.fao.org/es/nutricion/codex/pdf/plagui.pdf [Mayo de 2009]
- **Maderey, 2005.** UNAM. Instituto de Geografía. México. 139 p.
- **Muñoz I. et al, 2000.** Manual de análisis de suelo. Edafología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México.
- **Nasehi Fatemeh et al. 2007.** Research Journal of Biological Sciences. Measurement Residue of Two Current Used Pesticides (Endosulfan and Fosalon) in Colorado Potato Beetle Control. Documento web disponible en: <http://www.medwelljournals.com/fulltext/rjbs/2007/670-673.pdf> [Diciembre de 2008]
- **NOM-021-SEMARNAT-2000.** Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.
- **NOM-044-SSA1-1993.** Norma Oficial Mexicana, envase y embalaje. requisitos para contener plaguicidas.

- **NOM-045-SSA1-1993.** Norma Oficial Mexicana, plaguicidas. productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. etiquetado.
- **NOM-052-SEMARNAT-2005.** Norma Oficial Mexicana, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- **NOM-232-SSA1-2009.** Norma Oficial Mexicana. Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y domestico.
- **Olivera Silvia y Rodríguez-Ithurralde Daniel, s/a.** Pesticidas, salud y ambiente. Artículos de divulgación científica publicados en la revista Posdata. Disponible en: <http://www.iibce.edu.uy/posdata/drit.htm> [Octubre de 2010]
- **PIMUDES, 2008.** Programa de investigación multidisciplinaria para un desarrollo sustentable
- **Quantin y Geissert, s/a.** Características químicas y mineralógicas de un Andosol y de un suelo Ferralítico en Xalapa Veracruz. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Bióticos-INIREB.
- **RAAA, 2009.** Aspectos técnicos del proceso de gestión de envases de plaguicidas en la provincia de Concepción y Chupaca, Valle del Mantaro <http://www.raaa.org.pe/documentos/sgp-D-2.pdf> [Junio de 2009]
- **REMEXMAR, 2008.** Proyecto Temático nacional de la REMEXMAR. Reporte final. Disponible en: <http://mx.geocities.com/manejoderesiduos/default.htm> [Junio de 2009]
- **Reyes J., 1996.** Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo.
- **SEMARNAT, 2008.** Programa de recolección de envases vacíos de agroquímicos (campo limpio). <http://www.semarnat.gob.mx/estados/bajacalifornia/noticias/eventos/Pag es/agroquimicos.aspx> [Junio de 2009]
- **Seoáñez Calvo, Mariano et al., 2000.** Capítulo 21 Procesamiento general y reciclado de otros residuos que se aportan con frecuencia al suelo. Tratado y recuperación de los productos de los residuos. Editado por Mundi-Prensa. 179-201 pp.

- **Textos científicos, 2006.** Importancia del Análisis de suelos. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/quimica/suelos/analisis> [Junio de 2009]
- **Tricárico Fabián, 2009.** Centro Científico Tecnológico (CCT) Argentina,. Enciclopedia del ambiente. Organoclorados. Argentina. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Organoclor.htm> [Junio de 2009].
- **UNLPAM, s/a.** Argentina. Universidad Nacional de la Pampa. Facultad de ciencias exactas y naturales. Catedra de Edafología. Materia organica en el suelo. Disponible en: <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practic os/mo-04.htm> [noviembre de 2010]
- **UNLP, s/a.** Departamento de Ciencias Biológicas. Guia de Seminario: Plaguicidas. Argentina. Pagina web disponible en: http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_2/plaguicidas.html [Mayo de 2009]
- **Villemuir, 2008.** Cátedra de Residuos Tóxicos. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Bs. As.
- **Wikipedia.** Endosulfán. Enciclopedia disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Endosulf%C3%A1n> [Septiembre de 2008]

Glosario

Absorción: Proceso mediante el cual se puede incorporar o introducir en el organismo una sustancia (p. ej., a través de la piel).

Agente quelante: Un **quelante**, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se les conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega *chele* que significa "garra". Una de las aplicaciones de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos.

Analito: En química analítica un analito es el componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra. Son especies químicas cuya presencia o concentración se desea conocer. El analito es una especie química que puede ser identificado y cuantificado, es decir, determinar su cantidad y concentración en un proceso de medición química, constituye un tipo particular de mensurando en la metrología química.

Bioacumulación: Proceso de acumulación neta, con el paso del tiempo, de sustancias químicas en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas como abióticas.

Biodegradable. Algunos organismos vivos pueden transformar el material biodegradable en materia que vuelva a entrar en el ciclo biológico.

Biotecnología. Nuevas técnicas que utilizan procesos de fabricación con organismos vivos o que manipulan procesos biológicos para producir cosas que no se producirían necesariamente de manera natural.

Capacidad de Campo: es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el Potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas luego de la lluvia o riego).

Carbamato: Plaguicida químico derivado del ácido carbámico. Los carbamatos son compuestos biodegradables mediante la exposición a los rayos solares, tienen un nivel bajo de bioacumulación y son liposolubles.

Contaminación. Sustancias sintéticas o energía que representan un peligro para la salud humana y para las plantas, los animales y los ecosistemas y que pueden dañar estructuras, edificios y monumentos.

Cucurbitáceas: Familia de plantas oriundas, normalmente herbáceas, ampliamente distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales.

DDT: El DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano) o más exactamente 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano , de fórmula $(ClC_6H_4)_2CH(CCl_3)$ es un compuesto organoclorado principal de los insecticidas.

Dosis: El peso del ingrediente activo o el volumen de la preparación aplicada.

Epóxido: Radical formado por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, que a su vez están unidos entre sí mediante un solo enlace covalente.

Fertilizante: Producto que aplicado al suelo o a las plantas, suministra a éstas uno o más nutrientes, necesarios para su crecimiento y desarrollo.

Fertilizantes foliares: La fertilización foliar es una técnica de nutrición instantánea, que aporta elementos esenciales a los cultivos mediante la pulverización de soluciones diluidas aplicadas directamente sobre las hojas.

Hidrocarburos. Productos químicos compuestos de hidrógeno y carbono. La mayor fuente de hidrocarburos es el petróleo

Inducción de las enzimas microsomales hepáticas: Las enzimas microsomales pueden ser inducidas a una actividad elevada por exposición continua a ciertos fármacos o xenobióticos. La inducción enzimática se entiende como un estímulo de las enzimas microsomales a un grado que hay aumento de actividad enzimática, resultando en un aumento en la tasa del metabolismo de un fármaco. Este efecto ha sido estudiado con más profundidad en el hígado, pero existe también en otros tejidos.

Ingrediente activo: El componente del producto agroquímico que produce el efecto deseado, por ejemplo destruir una plaga.

Lipídico: Pertenece o relativo a los lípidos

Manejo de plaguicidas: La tecnología que se ocupa del uso seguro, eficiente y económico de los plaguicidas, así como del manejo de éstos desde el momento de su fabricación hasta el de su uso final y disposición. En este proceso se incluyen la formulación, el empaque, la transferencia, el almacenamiento, el registro oficial, el etiquetado para el uso y la venta, la selección para el uso, la aplicación y la disposición de contenedores y materiales indeseables. Además, el manejo de plaguicidas se ocupa del problema de residuos en los alimentos y en el ambiente, así como del impacto total de éstos en el hombre.

Metabolito: Molécula producida durante el metabolismo

Mezcla: Mezcla constituida por dos o más plaguicidas.

Neurotropa: Es decir que interviene en el metabolismo de las neuronas

Organoclorados (OC): Compuestos orgánicos que contienen cloro. La mayoría de los plaguicidas son OC. Son relativamente persistentes y se acumulan en la cadena alimentaria; de algunos se sospecha que causan cáncer y todos, al quemarse, producen dioxinas.

Organofosforados (OP): Plaguicidas que contienen el grupo fosfato. Son menos persistentes que los organoclorados, pero más tóxicos para las personas, ya que pueden afectar el sistema nervioso.

Persistente/Persistencia: Capacidad de un compuesto para sostenerse inalterado en un medio a lo largo del tiempo. Es la longitud de tiempo en la que un compuesto está en el ambiente, una vez introducido en él.

Plaga: Proliferación súbita de especies biológicas que afectan a comunidades, a la agricultura, a la ganadería o a bienes perecederos almacenados, por ejemplo ratas, langosta, abeja africana.

Plaguicidas. Productos químicos que se utilizan para matar las plagas - incluidos los insectos y las malas hierbas - que destruyen los alimentos y otros cultivos agrícolas.

Solución buffer o amortiguadora: Un **tampón**, *buffer* o solución amortiguadora es la mezcla de un ácido débil y su base conjugada. Su función es la de mantener estable el pH de una disolución. Cuando un *buffer* es empleado en un sistema, generalmente una disolución acuosa, el primer cambio que se produce es que el pH se vuelve constante. De esta manera, ácidos o bases (álcalis = bases) adicionados posteriormente no podrán tener efecto alguno sobre el sistema, ya que esta siempre se estabilizará de inmediato.

Superficie específica: Área de las partículas por unidad de masa de material.

Sustitución: La sustitución de productos químicos o procedimientos de trabajo especialmente peligrosos por otros más seguros.

Tóxico. Sustancias tóxicas son aquellas que pueden causar daño a la salud de los organismos vivos por contacto físico, al tragarlas o inhalarlas.

Volátil: Término empleado para describir un líquido que se evapora o vaporiza con facilidad. Es importante conocer esta circunstancia porque las concentraciones en el aire se pueden acumular rápidamente si se utiliza el material en su forma líquida.