

**EVALUACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD HUMANA DE UNA POBLACIÓN
VECINA A UN ENTERRAMIENTO DE PLAGUICIDAS EN LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE INDIAS**

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO

**Universidad
del Valle**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CALI-COLOMBIA
2012

**EVALUACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD HUMANA DE UNA POBLACIÓN
VECINA A UN ENTERRAMIENTO DE PLAGUICIDAS EN LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE INDIAS**

Presentada por:

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO

Tesis para optar por el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS-QUÍMICA

Dirigida por:

**MARTHA ISABEL PÁEZ, Ph. D.
PROFESORA**

**Universidad
del Valle**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CALI-COLOMBIA
2012**

Comité Evaluador

Boris G. Johnson Restrepo, Ph.D.
Universidad de Cartagena
Cartagena, Colombia

Jaime Restrepo Osorio, Ph.D.
Universidad del Valle
Cali, Colombia

Santiago de Cali, Septiembre 2012

Dedicatoria

A mi Cristo, el Gran Maestro, quien guía mis pasos y me instruye con su amor

A mi esposo, Juan Sebastián Ramírez-Navas, quien con su amor, ejemplo, paciencia y entusiasmo me motiva a dar cada día más

A mis padres, Francisca Echeverry y Ubaldina Prieto, por su apoyo incondicional, su comprensión ilimitada y su ánimo inagotable

Agradecimientos

- ✓ A la profesora Martha Isabel Páez por su compromiso y respaldo
- ✓ Al Ministerio de la Protección Social por su apoyo financiero
- ✓ A la Universidad del Valle por su gestión
- ✓ A los miembros del grupo de epidemiología: Fabián Méndez, Olga Gómez, Janeth Mosquera, Jenny Ordoñez y Daniel Cuartas, trabajar con ustedes ha sido una de las experiencias más enriquecedoras en mi camino profesional
- ✓ A las estudiantes del grupo GICAMP que estuvieron involucrados en este proyecto: July Manquillo, Mónica Ramos, Julieth Banguera, Angélica Varón y en especial a Martha Villamizar por sus enseñanzas y apoyo
- ✓ A los auxiliares que nos acompañaron en Cartagena: Rafael, Gamaliel, Berledis y Luis y que permitieron que el duro trabajo de campo fuera menos agotador
- ✓ Al laboratorio de la PTAR-C de EMCALI, especialmente a Alexandra Lucero, por la colaboración prestada
- ✓ Roberto Bravo, Químico de CDC (Atlanta), por toda la ayuda y gestión en el análisis de matrices biológicas y a Charles Dodson. Coordinador logística de muestras CDC.
- ✓ Al CDC en Atlanta, por realizar los análisis de muestras biológicas sin costo.
- ✓ A toda la comunidad de Colegio Ciudadela 2000 que estuvieron muy receptivos y permitieron realizar las actividades relacionadas con este trabajo de investigación en sus instalaciones
- ✓ A los líderes del barrio Ciudadela 2000 quienes nos prestaron instalaciones y nos colaboraron mucho en la socialización con los habitantes
- ✓ A toda la comunidad quienes estuvieron muy receptivos y colaboraron en la medida de lo posible en el proyecto
- ✓ En Cartagena a los líderes y comunidad de barrio Conquistador, Las lomas, Andalucía, Junín, Villa Corelca, San Fernando y la Sierrita, Colegio Las lomas.
- ✓ Al Laboratorio Clínico Eduardo Fernández y la Alcaldía localidad Industrial de la Bahía.

CONTENIDO

Lista de Tablas	7
Lista de Figuras	8
Lista de Ecuaciones	10
Abreviatura	11
Resumen	12
1 Introducción	13
1.1 Objetivos de investigación	15
2 Marco teórico y estado del arte	16
2.1 Evaluación del riesgo en salud humana	16
2.2 Paso I: Recolección de datos- Proceso de muestreo	18
2.3 Paso II: Evaluación de los datos -Condiciones de análisis	21
2.4 Paso III: Evaluación de la exposición	25
2.5 Paso IV: Evaluación de la toxicidad-Plaguicidas	30
2.6 Paso V: Caracterización del riesgo- Modelos de riesgo	33
3 Metodología	37
3.1 Área de estudio	37
3.2 Paso I: Recolección de la información-Planeación y diseño de muestreo	38
3.3 Paso II: Evaluación de los datos-Estandarización de las técnicas de análisis multiresiduos en muestras de suelo	47
3.4 Paso III: Evaluación de la exposición-Modelo Conceptual	52
3.5 Paso IV: Evaluación de la toxicidad – Búsqueda Base Datos	52
3.6 Paso V: Caracterización del riesgo – Evaluación de riesgo (datos del año 2005)	53
4 Resultados y discusión	55
4.1 Paso I: Información recolectada –Diseño de toma de muestras	55
4.2 Paso II: Evaluación de los datos -Condiciones de análisis	68
4.3 Paso III: Evaluación de la exposición-Modelo Conceptual	76
4.4 Paso IV: Evaluación de la toxicidad-Manejo de datos	77
4.5 Paso V: Caracterización del riesgo- Evaluación de riesgo (datos del año 2005)	79
5 Conclusiones	94
6 Referencias Bibliográficas	96
7 Anexos	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Criterios de aceptación para cuantificar la selectividad	23
Tabla 2.2	Datos de toxicidad de los plaguicidas encontrados en Colombia ^a	32
Tabla 2.3	Toxicidad de los plaguicidas por grado de inhalación	32
Tabla 2.4	Variables consideradas por los modelos RISC y SADA.....	36
Tabla 3.1.	Pesticidas organoclorados y organofosforados de interés para análisis en Univalle	47
Tabla 3.2	Características de la columna cromatográfica seleccionada para la estandarización	49
Tabla 3.3	Numeración de las soluciones inyectadas para determinar la precisión.	51
Tabla 3.4	Tabulación de las inyecciones en orden aleatorio, para medir los parámetros de validación.....	51
Tabla 3.5	Base de datos empleadas para aplicación de modelos	52
Tabla 3.6	Metodología seguida en el uso del software RISC 4.0	53
Tabla 4.1	Plaguicidas reportados en los análisis de suelos para muestras del antiguo lote de la Federación Nacional de Algodoneros.	55
Tabla 4.2	Características de las diferentes texturas encontradas en el predio	58
Tabla 4.3	Descripción de los colores de las diferentes texturas.....	58
Tabla 4.4	Tamaño de la grilla calculada.....	59
Tabla 4.5	Muestra con presencia de plaguicidas tomadas con muestreador activo	65
Tabla 4.6	Resultados de procesamiento de muestras en sangre para detección de pesticidas en niños del barrio Ciudadela 2000.....	66
Tabla 4.7	Condiciones cromatográficas de análisis para los plaguicidas organoclorados y organofosforados de interés.	69
Tabla 4.8	Rango de curvas de calibración preparadas para los plaguicidas organoclorados y organofosforados	70
Tabla 4.9	Concentraciones de cada uno de los plaguicidas presentes en la solución para medir el parámetro selectividad	72
Tabla 4.10	Valores para la cuantificación de la selectividad calculada para el plaguicida DDE	72
Tabla 4.11	Resultados de las inyecciones realizadas para evaluar la precisión.	73
Tabla 4.12	Resultados de la aceptabilidad para la reproducibilidad del plaguicida DDE	74
Tabla 4.13	Resultados de la aceptabilidad para la repetitividad del plaguicida DDE	74
Tabla 4.14	Porcentajes de error de las soluciones estándar medio y alto del DDE para medir el parámetro exactitud.....	74
Tabla 4.15	Límites de detección y cuantificación del equipo, porcentajes de recuperación de muestras de suelo y límite de detección del método de análisis para plaguicidas organoclorados analizados en laboratorio GICAMP y límites de detección reportados por el laboratorio SGS.....	75
Tabla 4.16	Concentraciones encontradas en muestra de suelo del lote colombiatón para el plaguicida DDTy sus metabolitos	76
Tabla 4.17	Límites de detección utilizados para las evaluaciones de riesgo.....	78
Tabla 4.18	Concentraciones 95%UCL obtenidas para cada plaguicida.	79
Tabla 4.19	Niveles de limpieza a que se deben llevar las concentraciones de los diferentes contaminantes	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Rutas de entrada de sustancias químicas y residuos peligrosos en el ambiente	13
Figura 2.1 Pasos que se debe seguir para realizar una adecuada evaluación	17
Figura 2.2 Cuadriculas para aplicar en zonas residenciales	19
Figura 2.3 Muestrador de alto volumen con diagrama de partes	20
Figura 2.4 Muestrador pasivo diseño de platillo volador, con discos de espuma de poliuretano (PUF)	20
Figura 2.5 Factores que influyen en la persistencia de los plaguicidas en el suelo	27
Figura 2.6 Posibles mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente	29
Figura 2.8 Estructura general de los compuestos organofosforados	31
Figura 2.9 Logotipos RISC – BP	35
Figura 2.10 SADA	35
Figura 3.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio denominada lote Santa Elena	37
Figura 3.2 Mapa ubicación de la zona control en relación con la zona de estudio	38
Figura 3.3 (a) Área de estudio organizada por zonas. (b) Ubicación de la zona control en relación a la zona de estudio	39
Figura 3.4 Algunas zonas elegidas para muestreo de suelos	40
Figura 3.5 Partes del muestrador activo de aire.	41
Figura 3.6 Programación de los muestreos de aire con muestradores pasivos	42
Figura 3.7 Registro grafico del trabajo realizado en campo: (a)Apertura de hoyo (b)Homogenización (c)Toma de muestra (d)Muestra empacada y rotulada	42
Figura 3.8 Registro fotográfico de la preparación de muestras en el laboratorio: (a)Maceración (b)Tamizado (c)Pesaje (d)Almacenaje	43
Figura 3.9 Fotografía del montaje experimental para limpieza de PUF	43
Figura 3.10 (a) Insumos proporcionados por el CDC para toma de muestras de sangre y orina. (b) Toma de muestra de sangre.	44
Figura 3.11Fotos de embalaje de muestras de sangre y orina para envío a laboratorio de CDC	45
Figura 3.12 Registro de extracción de muestras de suelo en el laboratorio	49
Figura 3.13 Interface del programa RISC 4.0 (izq.) e Interface del programa SADA 5.0 (der.)	53
Figura 4.1 Mapa de Curvas de Nivel de la Zona	57
Figura 4.2 Mapa de Información sobre la distribución estratigráfica del lote Santa Elena	57
Figura 4.3 Semivariograma obtenido para el plaguicida 4,4 DDE	59
Figura 4.4 (a) Puntos de muestreo y presencia de plaguicidas en suelo superficial. (b) Distribución del plaguicida 4,4 DDE en el suelo superficial	60
Figura 4.5.(a) Mapa con puntos preliminares de muestreo en suelos. (b) Mapa con indicación geográfica de los puntos de toma de muestras en el muestreo de suelos final	61
Figura 4.6 Descripción grafica de la posición de los muestradores (a)Activos (b) Pasivos	62
Figura 4.7 Fotos descriptivas de la localización del punto 1 del muestrador de aire pasivo	63
Figura 4.8 Fotos descriptivas de la localización del Punto2 del muestrador de aire pasivo dentro del aula de clase en el colegio Ciudadela 2000	63
Figura 4.9 Fotos descriptivas de la localización del Punto 3 del muestrador de aire pasivo	63
Figura 4.10 Fotos descriptivas de la localización del Punto 4 del muestrador de aire pasivo dentro de una de las bodegas del lote Colombiaton	64
Figura 4.11 Fotos descriptivas de la localización del Punto 5 del muestrador de aire pasivo al interior de la casa de un residente de la Ciudadela 2000.	64
Figura 4.12 Fotos descriptivas de la localización del Punto 6 del muestrador de aire pasivo en la zona control.	65

Figura 4.13 Mapa de presencia de plaguicidas en muestras de aire tomadas con muestreador activo y muestreo de suelo preliminar.....	65
Figura 4.14 (a) Distribución de las concentraciones de pp-DDE (ng/g de lipido) en los grupos expuesto (n=80) y control (n=20). (b) Cajas y bigotes del logaritmo de las concentraciones de pp-DDE (ng/g de lipido) en los grupos expuesto y control	67
Figura 4.15 (a) Distribución de las concentraciones de DED, DEP, DMD, DMP, DMT, DTP en los grupos expuesto y control. (b) Cajas y bigotes del logaritmo de las concentraciones de DED, DEP, DMD, DMP, DMT, DTP (ng/g de lipido) en los grupos expuesto y control	68
Figura 4.16 Plaguicida Trifluralin. Patrón Interno.....	69
Figura 4.17 Cromatograma de la mezcla de plaguicidas organoclorados y organofosforados.....	70
Figura 4.18 Curvas de calibración preparadas para el plaguicida DDE en rango: a) alto, b) medio y c) bajo	71
Figura 4.19 Modelo conceptual	77
Figura 4.20 Riesgo cancerígeno por receptor	80
Figura 4.21 Riesgo cancerígeno por ruta de exposicion.	80
Figura 4.22 Riesgo cancerígeno por plaguicida para niño y adulto	81
Figura 4.23 Efectos no cancerigenos. Indice de peligro por receptor	81
Figura 4.24 Efectos no cancerigenos. Indice de peligro por ruta de exposicion	82
Figura 4.25 Efectos no cancerigenos. Indice de peligro por plaguicida.....	82
Figura 4.26 Mapa de riesgo cancerígeno por ingestión de suelo	84
Figura 4.27 Mapa de riesgo cancerígeno por contacto dérmico.....	84
Figura 4.28 Mapa de riesgo cancerígeno por inhalación	85
Figura 4.29 Mapa de riesgo cancerígeno por ingesta de verduras	85
Figura 4.30 Mapa de riesgo cancerígeno total	86
Figura 4.31 Mapa de riesgo no cancerígeno por ingestión de suelo	86
Figura 4.32 Mapa de riesgo no cancerígeno por contacto dérmico de suelo.....	87
Figura 4.33 Mapa de riesgo no cancerígeno por inhalación de vapores.....	87
Figura 4.34 Mapa de riesgo no cancerígeno por ingestión de vegetales	88
Figura 4.35 Mapa de riesgo no cancerígeno total	88

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Riesgo como función de H (exposición), E (elementos expuestos) y V (vulnerabilidad).....	16
Ecuación 2.2 Aceptabilidad de la reproducibilidad	24
Ecuación 2.3 Aceptabilidad de la repetibilidad	24
Ecuación 2.4 Prueba de Cochran.....	24
Ecuación 2.5 Prueba de Grubbs.....	24
Ecuación 2.6 Exactitud.....	24
Ecuación 2.7 Límite de detección	24
Ecuación 2.8 Ecuación para el cálculo del valor de la exposición o consumo (I)	33
Ecuación 2.9 Ecuación de riesgo para sustancias cancerígenas.....	33
Ecuación 2.10 Ecuación de riesgo para sustancias NO cancerígenas	33

ABREVIATURAS

CDC	Centers for disease control and prevention
DDD	1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethane
DDE	1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethylene
DDT	Dichlorodiphenyltrichloroethane
EPA	Environmental Protection Agency
GC	Gas chromatography
OC	Plaguicidas organoclorados
OP	Plaguicidas organofosforados
PUF	Polyurethane foam

RESUMEN

En este estudio se realizó una evaluación de riesgo para la salud de una población vecina a un enterramiento de plaguicidas en la ciudad de Cartagena. La zona de estudio corresponde a un lote llamado Santa Elena, ubicado al sur de la ciudad de Cartagena, donde se encuentran ubicados un barrio residencial llamado Ciudadela 2000, un Colegio, una Cancha de Beísbol y un lote denominado Colombiatón sin ningún tipo de uso en la actualidad, de propiedad privada y perteneciente a Bancolombia, que suman en total 44 hectáreas. La evaluación se realizó en cinco etapas: 1) recolección de datos; 2) evaluación de los datos; 3) evaluación de la exposición; 4) evaluación de la toxicidad y 5) caracterización del riesgo.

En la primera etapa se investigaron los antecedentes de la zona y se realizaron muestreos de suelo superficial y aire con muestreadores activos y pasivos. Para la segunda etapa se validó un método analítico multiresiduo para 26 plaguicidas organofosforados y organoclorados, se hicieron análisis de muestras en laboratorio local y se enviaron duplicados a un laboratorio acreditado. El método analítico validado cumplió con los criterios de linealidad, selectividad, precisión y exactitud aceptables y se alcanzaron límites de detección comparables con los de laboratorios acreditados (organoclorados (0.06-0.11 ppm) y organofosforados (0.06-0.64 ppm)). En la tercera etapa se planteó un modelo conceptual que describe las probables vías y rutas de la exposición. En la cuarta etapa se realizó una búsqueda exhaustiva de propiedades químicas y toxicológicas de los compuestos de interés y finalmente se realizó la caracterización de riesgo empleando software de modelación ambiental RISC 4.0 y SADA 5.0.

Los resultados de la evaluación para el lote Colombiatón mostraron que las principales rutas de riesgo para la población que pueda estar expuesta directamente en el lote son ingestión de suelo, contacto dérmico con el suelo e ingestión de verduras; las evaluaciones de riesgo cancerígeno y no cancerígeno totales del lote muestran la existencia de valores de riesgo significativamente altos y no es apto para uso residencial, agrícola, industrial, recreacional y para excavaciones de construcción. Se calcularon los niveles de limpieza adecuados para que no exista riesgo, por lo que se recomienda realizar una remediación de suelos antes de iniciar cualquier tipo de proyecto en el área, se sugiere la técnica Fenton. Por otra parte en las muestras analizadas de la zona vecina al lote Colombiatón (Barrio Ciudadela 2000, Cancha de Beísbol, Colegio Ciudadela 2000) no se reportó contaminación superior a los límites de cuantificación y se encontró que existe una capa de recebo que actúa como una barrera aislante o lentejón, de tal manera que el compartimento aire no se ve comprometido, así que se puede decir que no hay riesgo para los habitantes de la Ciudadela 2000 directamente por el suelo en el cual está construida.

Con los resultados de ésta investigación se entregan argumentos científicos para la toma de decisiones con respecto a las acciones preventivas o de mitigación, con el fin de corregir la problemática ambiental y mejorar las condiciones de salud de la población.

Palabras clave: Evaluación de Riesgo en Salud Humana, Plaguicidas, Método Cromatográfico multiresiduo

1 INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas se emplean en el control de vectores que hacen parte del abordaje integrado de prevención de enfermedades como malaria, chagas, dengue, oncocercosis y leishmaniasis [WHO, 2003] y su disposición final ocupa un lugar relevante dentro del conjunto de problemáticas relacionadas, ya que muchos de éstos han sido catalogados como obsoletos y su uso ha sido evaluado como una amenaza para el ambiente y la salud humana. En este sentido, ciertas prácticas de eliminación de residuos, antiguamente comunes y aceptadas por las empresas, el gobierno y la comunidad, hoy son consideradas inadecuadas, debido al riesgo que significan para la salud y para el ambiente. Por ejemplo, el enterramiento de residuos en canteras naturales o excavaciones, sin aplicar ninguna medida de prevención o contención, era un procedimiento común y rutinario para muchas actividades agropecuarias e industriales hasta la década de 1980. Dicha práctica se llevaba a cabo, bajo el supuesto de que el suelo tenía una capacidad ilimitada de degradación de sustancias [Canales y Leckie, 2006], sin embargo los plaguicidas enterrados pueden desplazarse en el ambiente generando contaminación en los alrededores, cómo se muestra en la Figura 1.1).



Figura 1.1 Rutas de entrada de sustancias químicas y residuos peligrosos en el ambiente

En Colombia existe un caso particular de enterramiento de plaguicidas, considerado un posible foco de contaminación para sus alrededores. Éste se encuentra ubicado en la ciudad de Cartagena de Indias, en el Departamento de Bolívar, al norte de Colombia, allí se localiza el lote llamado Santa Elena, que perteneció a la desaparecida Federación Nacional de Algodoneros, que era el mayor importador y distribuidor de plaguicidas del país. Dicho foco de contaminación se estudió en este proyecto.

El predio comprende un total de 44 hectáreas y sobre él se han construido dos proyectos urbanísticos: el barrio Ciudadela 2000 (terminado de construir por el Distrito en los últimos meses del año 2005) y el Colegio Ciudadela 2000 (inaugurado en el año 2005).

Adicionalmente, sobre el resto del lote se inició en el año 2004 la construcción de una urbanización de viviendas de interés social llamada Colombiatón.

En éste trabajo se presenta el desarrollo de una Evaluación de Riesgo para dicha zona, con el fin de correlacionar la contaminación en los efectos para salud humana y conocer el estado de la exposición de la población vecina al lote Santa Elena.

En estudios previos de contaminación, realizados al suelo del lote Santa Elena, se han encontrado altas concentraciones de plaguicidas organoclorados y organofosforados. Ambos grupos de plaguicidas, no sólo pueden causar un impacto ambiental negativo sobre el ecosistema contiguo, sino también efectos nocivos sobre la salud humana, como dolores de cabeza, efectos teratogénicos e inclusive la muerte. La gravedad de la exposición depende de factores como el tiempo de exposición, la toxicidad del plaguicida y la vulnerabilidad de la población expuesta.

Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora no han sido consistentes, debido a varios factores, tales como: 1) se han reportado deficiencias en las técnicas de muestreo y en el análisis de las muestras no evaluadas que aún existen en ciertas zonas del lote; 2) la comunidad reporta la presencia de efectos en salud y olores a químicos en la zona; y 3) no se han realizado investigaciones sobre los posibles efectos en salud de estos plaguicidas enterrados, por tanto, fue necesario llevar a cabo un estudio que, de manera integral, evalúe el impacto de los plaguicidas enterrados en suelo y aire, y su relación con la salud de la población aledaña a la zona contaminada.

Conocida esta información se planteó realizar una Evaluación de Riesgo que puede definirse como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud probable de los efectos adversos en salud durante un lapso específico. Este tipo de evaluación se realiza en estudios ambientales ya que permite estimar el riesgo asociado a los contaminantes de interés por diferentes matrices. La ventaja de realizar evaluación de riesgos es que proporciona un marco sistemático basado en principios científicos para comprender y administrar diversos riesgos; es decir, proporciona una guía para la aplicación de recursos nacionales para proteger la salud pública y el medio ambiente.

Este estudio hace parte de un macro proyecto en conjunto del Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental por Metales y Plaguicidas (GICAMP) y del Grupo de Epidemiología y Salud Poblacional (GESP) de la Universidad del Valle, como ente neutral, en el que se evaluó el estado de la contaminación en suelo y aire, y la salud de la población dentro del estudio. Este proyecto fue financiado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

1.1 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Generales

Evaluar el riesgo para la salud humana de una población vecina a un enterramiento de plaguicidas por las posibles rutas de exposición (aire y suelo) en la ciudad de Cartagena de Indias.

1.1.2 Específicos

- Evaluar la concentración y distribución de los diferentes tipos de plaguicidas presentes en el suelo superficial del lote Santa Elena y sus emisiones al aire.
- Validar una técnica cromatográfica para el análisis multiresiduo de plaguicidas organoclorados y organofosforados.
- Aplicar modelos de evaluación de riesgo a los datos encontrados para el lote Santa Elena que permitan caracterizar el riesgo en la zona.

2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SALUD HUMANA

El riesgo, es una función de la naturaleza del peligro, su facilidad de acceso, vía de contacto (posibilidad de exposición), características de la población expuesta (receptora), la posibilidad de que ocurra y la magnitud de exposición y consecuencias; es decir, es una variable cuantitativa que se puede representar como sigue:

$$R: f(H, E, V)$$

Ecuación 2.1 Riesgo como función de H (exposición), E (elementos expuestos) y V (vulnerabilidad)

Fuente: Kolluru [1999]

La exposición del organismo receptor al contaminante varía según los procesos bioquímicos y su distribución en el agua (subterránea o superficial), aire, suelo y alimentos, por tanto, para realizar una evaluación del riesgo de los efectos en salud en el ser humano por exposición a contaminantes como plaguicidas en un área geográfica delimitada, se deben identificar: las fuentes de contaminación, las rutas de exposición, es decir, las formas en que un agente ingresa al ser humano: ya sea por vía oral, por ingestión de comida, agua o suelo, por inhalación o dérmica [Evans, 2003]; concentración de contaminante en el ambiente (biodisponibilidad), las características químicas y su nivel de toxicidad; las dosis ingeridas y el tiempo de exposición a estas dosis, es decir la frecuencia con la que el contaminante entra al organismo (tiempo de exposición) que, de acuerdo con la magnitud del periodo de exposición se clasifica en crónica (exposiciones entre 10 -100% del tiempo de vida), subcrónica (menores al 10% del tiempo de vida) y aguda (un día o menos y sucede en un único evento) [Evans, 2003]; y, finalmente las condiciones físicas de las personas (nutrición y estado de salud) [Canales y Leckie, 2006], es decir, del metabolismo del organismo receptor para que sea bio-acumulado o excretado [EPA, 2007a].

Es evidente la necesidad de realizar evaluaciones de riesgo para la salud humana de sitios contaminados cuando existe o existirá la presencia de seres humanos en dicho sitio, para esto existen diferentes guías de evaluación, una de las más utilizadas es la Risk Assessment Guidance for Superfund de la EPA [EPA, 1989]. Sin embargo, es debido a que estos fenómenos ocurren en un espacio determinado es necesario aplicar algoritmos espaciales para una mayor caracterización de la situación del sitio. Para esto existe una gran cantidad de metodologías y técnicas complejas para el tratamiento de estos datos, algunas de ellas se muestran estudios como el de Carlon *et al.* [2008] sobre una metodología propuesta y aplicada en un caso de estudio para consolidar la formulación de un proceso de remediación, Korre *et al.* [2002] aplicando geoestadística y ERA para describir la distribución espacial de riesgo humano asociada a la contaminación por plomo; Gay y Korre [2006] en un trabajo similar para identificar las áreas residenciales más sensibles expuestas. Entre las metodologías espaciales también se encuentra la interpolación o kriging para generar superficies a partir de datos puntuales y los sistemas de información geográfica que permiten una visualización gráfica de los fenómenos.

La importancia de realizar esta delineación es: 1) en caminar acciones de remediación en estos sitios y 2) cuantificar el efecto de esta remediación en el riesgo de la salud humana [Sinha *et al.*, 2007]. Debido a los diferentes factores involucrados, cuando se realiza una **Evaluación de Riesgo en Salud Humana** se hace necesario establecer un orden que permita darle una coherencia a la información y asegurar que los resultados obtenidos realmente retratan de una manera clara una problemática a tratar. En la Figura 2.1 se listan los pasos que se deben seguir para realizar una adecuada evaluación.

PASO	CARACTERÍSTICAS
I Recolección de los datos	• Recolectar datos existentes • Recolectar datos primarios • Diseñar una estrategia para recolectar las muestras • Identificar los parámetros necesarios para la modelación • Identificar las necesidades analíticas especiales • Desarrollo del plan de trabajo y recolección de los datos
II Evaluación de los datos	• Combinar datos disponibles de investigaciones del sitio • Evaluar los métodos analíticos • Evaluar los límites de cuantificación • Evaluar datos cualificados y codificados • Evaluar blancos • Evaluar compuestos tentativamente identificados • Comparar los datos del sitio con los datos primarios • Identificar las sustancias de riesgo potencial
III Evaluación de la exposición	• Caracterización física • Identificar la población potencialmente expuesta • Identificar las rutas potenciales de exposición • Estimar las concentraciones de exposición • Estimar la ingesta de las sustancias
IV Evaluación de la Toxicidad	• Reunir la información de toxicidad cualitativa y cuantitativa para las sustancias a evaluar • Identificar los periodos de exposición para los cuales son necesarios los valores de toxicidad • Determinar los valores de toxicidad para efectos no cancerígenos • Determinar los valores de toxicidad para efectos cancerígenos
V Caracterización del Riesgo	• Tomar los resultados de la evaluación de la exposición y de la toxicidad • Cuantificar el riesgo para las sustancias individuales • Cuantificar el riesgo para múltiples sustancias • Combinar riesgos a través de las diferentes rutas de exposición • Considerar estudios humanos específicos en el sitio

Figura 2.1 Pasos que se debe seguir para realizar una adecuada evaluación

Fuente: Adaptado de Ize Lema *et al.* [2010]

En este estudio se siguen estos pasos para la **Evaluación de Riesgo en Salud Humana** en una población vecina a un enterramiento de plaguicidas en la ciudad de Cartagena de Indias.

2.2 PASO I: RECOLECCIÓN DE DATOS- PROCESO DE MUESTREO

El primer paso en la evaluación de riesgo es la obtención de datos de primarios y de fuentes secundarias, esto implica revisión bibliográfica y además toma de muestras directamente de la zona a evaluar. Todo el proceso de muestreo debe seguir directrices metodológicas establecidas, que deben convenirse antes del comienzo de cualquier actividad en una región, las muestras deben numerarse siguiendo una codificación preestablecida, siempre debe incluir blancos de campo o viaje y, en la medida de lo posible, muestras duplicadas a efectos de compartirlas y realizar análisis de varianza. La toma de muestras depende de un número imprevisible de factores naturales y de la logística que pueden requerir la modificación de los procedimientos, tales como factores relacionados, por ejemplo, con las condiciones atmosféricas, el acceso a la estación de muestreo, entre otros [PNUMA, 2008].

Según el Manual del Programa del Monitoreo Costero [PNUMA, 2008], “la calidad de los datos generados en el laboratorio depende en gran medida de la integridad de las muestras que arriban a éste”. En otras palabras, la mayor fuente de errores en el análisis de muestras ambientales reside en una mala práctica en la toma de muestra. Los factores a considerar durante este procedimiento son:

- La seguridad personal de quienes toman las muestras
- La obtención de una muestra representativa según su análisis
- La prevención de la contaminación de la muestra
- El mantenimiento de documentación legal
- La protección de la muestra de cambios químicos, físicos y biológicos antes de su análisis

2.2.1 Área de estudio

El área de estudio (sitio contaminado) se define como la unidad geográfica muestreada [PNUMA, 2008]. Se considera sitio contaminado, a aquel predio donde existe acumulación de sustancias tóxicas persistentes o residuos que las contienen, provocado por el uso, depósito, enterramiento, infiltración o vertido, en forma planificada o accidental, lo cual ha ocasionado el aumento de su concentración en suelo y/o agua subterránea por encima de niveles de seguridad recomendados para un determinado uso [Salvarrey y Gristo, 2005].

2.2.2 Zona Control

Se debe seleccionar una zona con características similares al área de estudio (socio-económico y geográfico) pero que no esté cerca de un foco de los contaminantes en evaluación, en esta zona se toman muestras que serán los blancos de muestreo.

2.2.3 Toma de muestras de suelo

La muestra de suelo puede proceder de un muestreo puntual, que consiste en una muestra individual sin composición con muestras de otros puntos del mismo o de muestra compuesta que consisten en una combinación de submuestras puntuales, éste último se realiza muchas veces para optimizar costos, ya que proporciona resultados rápidos del promedio del contaminante de interés en el área en estudio [Ferrari *et al.*, 2003]. En este caso también puede realizarse un muestreo residencial, las cuadrículas de este tipo de muestreo se detallan en la Figura 2.2 y los criterios de selección para lograr una selección homogénea se describen a continuación.

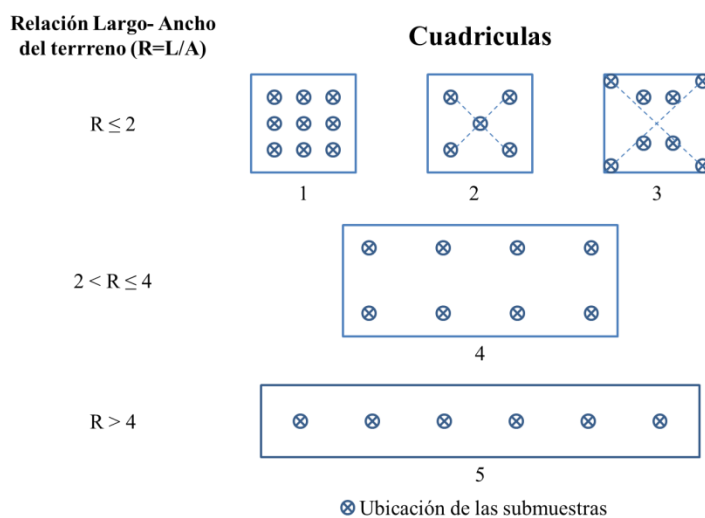


Figura 2.2 Cuadrículas para aplicar en zonas residenciales

2.2.4 Toma de muestras de aire

Las metodologías para muestreo dentro del monitoreo atmosférico pueden ser divididas en cinco tipos genéricos: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos en línea, sensores remotos y bioindicadores [Martínez y Romieu, 1997].

Para la determinación de plaguicidas en el aire, se emplean ampliamente muestreadores activos convencionales o de alto volumen (ver Figura 2.3), los cuales necesitan una bomba de succión, que hace que tengan altos costos y que debido a toda la logística que acompaña su utilización, no sea posible su implementación en todas las zonas del mundo donde se desee realizar un monitoreo del aire; y, los muestreadores pasivos (ver Figura 2.4), los cuales funcionan por una diferencia de potencial entre dos medios, lo que significa que no necesitan electricidad para su funcionamiento haciendo que tengan un económico costo de operación. Además su pequeño tamaño hace que sean fáciles de instalar. Es por esto, que su uso se ha incrementado. Sin embargo, cuando estas dos técnicas se han usado conjuntamente los resultados de la cuantificación de los contaminantes mejora por ser las dos técnicas complementarias [Bohlin, 2010; PNUMA, 2007].

Estos muestreadores de aire, utilizan para la recolección de los contaminantes diversos materiales como: membranas semipermeables, vidrios cubiertos con polímeros, discos de espuma de poliuretano (PUF-*Polyurethane Foam*-), resinas absorbentes y otros materiales para diferentes tiempos de exposición. Sin embargo, son los discos de espuma de poliuretano (PUF) los más recomendados debido a su fácil preparación y extracción y a los buenos porcentajes obtenidos en la recuperación de contaminantes [PNUMA, 2007]. Se han usado para cartografiar la variabilidad espacial de COP en estudios regionales y a escala continental en América del Norte y Europa. Los primeros resultados del estudio de Muestreo Pasivo Atmosférico Mundial (GAPS) han demostrado la viabilidad de estos muestreadores para la cartografía espacial global en más de 60 sitios en todo el mundo. Un aspecto clave de los GAPS es la transferencia de tecnología y la creación de capacidad – especialmente en regiones que carecen de datos sobre COP [Bohlin, 2010].

Con base en estos antecedentes, se estableció que la metodología más apropiada para la medición de pesticidas en el lote de Santa Elena era la de Muestreo Pasivo de Aire (PAS) y se complementó con muestreos activos de aire. Se seleccionó este tipo de muestreo debido a que está en capacidad de indicar variaciones espaciales, según la estación climática, de las concentraciones ambientales de compuestos pesticidas orgánicos persistentes cerca de los focos de contaminación [Klánová, 2008]. Este tipo de metodología para muestreo de plaguicidas en aire no se ha implementado en el país hasta la fecha.

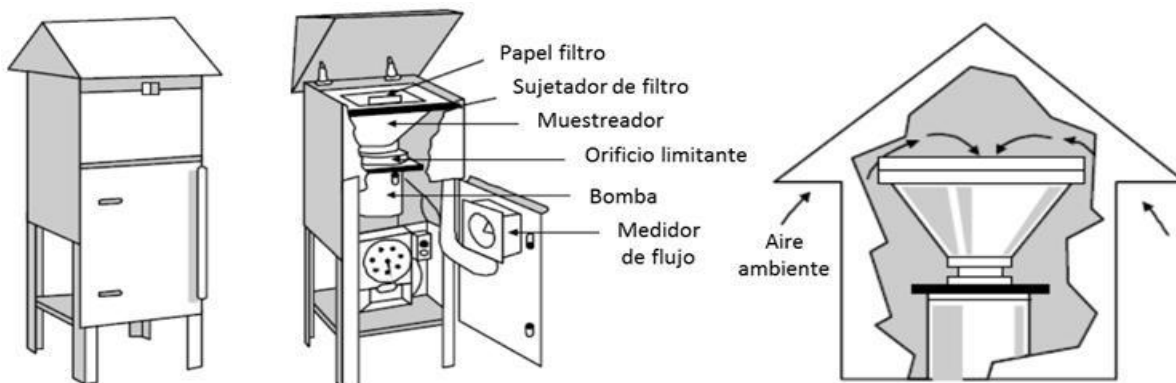


Figura 2.3 Muestreador de alto volumen con diagrama de partes

Fuente: Martínez y Romieu [1997]

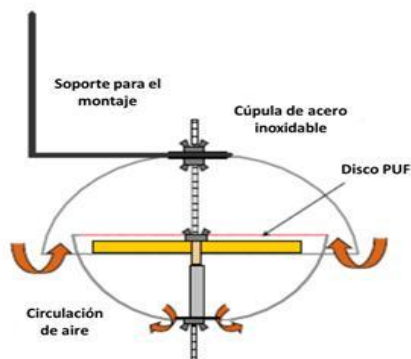


Figura 2.4 Muestreador pasivo diseño de platillo volador, con discos de espuma de poliuretano (PUF)

2.3 PASO II: EVALUACIÓN DE LOS DATOS -CONDICIONES DE ANÁLISIS

2.3.1 Cromatografía

Las características químicas del grupo de plaguicidas de interés, como peso molecular, volatilidad y termoestabilidad determinan que la técnica de análisis a emplear debe ser la *Cromatografía de Gases (GC)*. En el uso de ésta técnica instrumental se debe tener especial cuidado con la elección de la columna, la temperatura del horno y el detector. Para seleccionar la columna se deben considerar los siguientes factores y cómo influirían en el tiempo de retención y en la resolución: tipo de fase estacionaria, espesor de la película de fase estacionaria, longitud y diámetro interno de la columna. La temperatura de la columna es una variable importante, ya que de ella va a depender el grado de separación de los diferentes analitos. Dicha temperatura depende del punto de ebullición del analito o analitos, y por lo general, se ajusta a un valor igual o ligeramente superior a él [McNair y Miller, 2009].

Por otra parte, el detector de captura de electrones (ECD) ha llegado a ser uno de los detectores más ampliamente utilizados para el análisis de muestras medioambientales, debido a su selectividad para detectar compuestos que contienen halógenos, tal es el caso de los plaguicidas organoclorados y organofosforados. Este tipo de detector es de respuesta selectiva, siendo muy sensible a las moléculas que contienen grupos funcionales electronegativos tales como halógenos, peróxidos, quinonas y grupos nitro; en cambio, no es sensible a grupos funcionales como aminas, alcoholes e hidrocarburos [Skoog *et al.*, 2008].

2.3.2 Métodos de extracción

Existen diferentes métodos de extracción de multiresiduos de plaguicidas en la matriz suelo los más comunes son la extracción tipo Soxhlet y la extracción por ultrasonido, el primero tiene la desventaja de un tiempo de extracción muy elevado y requiere alta cantidad de solvente, es por esto que es este trabajo se elige la extracción por ultrasonido.

2.3.2.1 Extracción por ultrasonido para muestras de suelo

Los métodos 3550B y 3550C de la EPA [1996c, 2007b], son procedimientos para la extracción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles de los sólidos como los suelos, lodos y desechos. Utilizan sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender el compuesto buscado del suelo. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente. El proceso ultrasónico asegura contacto íntimo de la matriz de la muestra con el disolvente de extracción.

La ventaja de este método es la poca cantidad de muestra, solventes y tiempo de extracción que se requieren para el desarrollo del método. Para esta investigación son adecuados por su rapidez y eficacia, las cuales se obtienen debido al aumento de temperatura favoreciendo

la solubilidad y el aumento de presión (dentro del sistema) que produce una mejor permeabilidad del disolvente al interior del sólido y la formación de un medio reactivo que ataque a la muestra.

2.3.2.2 Extracción Soxhlet para muestras de aire

La extracción de tipo soxhlet se emplea para compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, este proceso de extracción Soxhlet asegura contacto íntimo de la matriz de la muestra con el disolvente de extracción [EPA, 1996b].

Consiste en el lavado sucesivo de una mezcla sólida con un determinado solvente, que va “extrayendo” de la mezcla, los componentes más solubles en ella. Mediante este proceso, se pueden extraer componentes cuya solubilidad en el solvente extractante es muy baja, debido al efecto acumulado de las múltiples extracciones.

2.3.3 Validación de técnicas de análisis

2.3.3.1 Validación

Es el establecimiento de la evidencia documental que un procedimiento analítico conducirá, con un alto grado de seguridad, a la obtención de resultados precisos y exactos dentro de las especificaciones y atributos de calidad previamente establecidos.

2.3.3.2 Características de desempeño

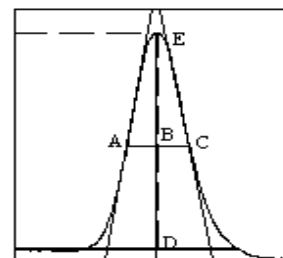
Las características de desempeño que convencionalmente se evalúan para establecer la validez de un procedimiento analítico y sus parámetros de calidad se definen a continuación:

2.3.3.2.1 Selectividad

Es la capacidad de un método analítico para medir y/o identificar simultánea o separadamente los analitos de interés de forma inequívoca sin interferencias de impurezas, productos de degradación, compuestos relacionados, excipientes u otras sustancias presentes en la matriz de la muestra [Boqué, 2005]. En Tabla 2.1 se presentan los criterios de aceptación recomendables, propuestos por la Asociación Farmacéutica Española, para evaluar la selectividad de un método:

Tabla 2.1 Criterios de aceptación para cuantificar la selectividad

Parámetro	Ecuación	Criterio de aceptación
Resolución cromatográfica entre picos cercanos	$\text{Resolución} = \frac{T_{R2} - T_{R1}}{\frac{1}{2}(W_2 + W_1)}$ $= \frac{\text{Separación de picos}}{\text{Ancho medio del pico}}$	> 1,5
Factor de cola cromatográfica	$\text{Factor de cola} = \frac{BC}{BA}$	< 2,0
Nº de platos teóricos cromatográficos	$N = 16 \left(\frac{T_R}{W_B} \right)^2$	> 2000



T_R : Tiempo de retención del analito; W_B : Ancho del pico; N : Número de platos teórico.

El número de platos teóricos N , está asociado con la eficiencia de la separación, los valores de resolución representan la cuantificación del grado de mezcla de las sustancias contenidas en las bandas eluidas y determinan la calidad de la separación. El factor de cola es una medida de la desigualdad del equilibrio entre la fase móvil y la fase estacionaria,

2.3.3.2.2 Linealidad

Capacidad del método para proporcionar resultados que son directamente (o por medio de transformaciones matemáticas) proporcionales a la concentración del analito en la muestra dentro de un rango establecido. El parámetro de linealidad es el coeficiente de correlación (r), valores cercanos a 1 indican linealidad y cuando se obtienen valores mucho menores es necesario emplear el contraste estadístico t [Miller y Miller, 2002].

2.3.3.2.3 Precisión

La precisión expresa el grado de concordancia entre una serie de mediciones analíticas obtenidas de una misma forma y a partir de una misma muestra homogénea en las condiciones prescritas. La precisión mide el error aleatorio o indeterminado de un análisis. Los parámetros de calidad de la precisión son la desviación estándar absoluta, la desviación estándar relativa, la desviación estándar relativa de la media, el coeficiente de variación y la varianza. Para obtener los valores de precisión por repetibilidad y reproducibilidad se utilizó la herramienta estadística análisis de la varianza (ANOVA) y se obtuvo el estadístico F . Para evaluar la aceptabilidad de la reproducibilidad se aplica el criterio del límite de reproducibilidad, que establece que la diferencia entre dos resultados obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad es menor o igual al límite de reproducibilidad calculado según la Ecuación 2.2, entonces la reproducibilidad cumple.

Para evaluar la aceptabilidad de la repetibilidad se aplica el criterio del límite de repetibilidad, que establece que la diferencia entre dos resultados obtenidos bajo

condiciones de repetibilidad es menor o igual al límite de repetibilidad calculado según la Ecuación 2.3, entonces la repetibilidad cumple [EURACHEM, 1998].

$$R = t_{\infty} \cdot \sqrt{2} \cdot S_R$$

Ecuación 2.2 Aceptabilidad de la reproducibilidad

$$r = t_{\infty} \cdot \sqrt{2} \cdot S_r$$

Ecuación 2.3 Aceptabilidad de la repetibilidad

Dado que el estadístico F del ANOVA de un factor se basa en el cumplimiento de dos supuestos fundamentales: Normalidad y Homocedasticidad; se optó por utilizar las siguientes dos pruebas de rechazo de datos para detectar grandes desviaciones de la homogeneidad de varianza [Cochran y Cox, 1995]:

Prueba de Cochran (Rechazo de datos dentro de ensayos)	Para indicar un dato como dudoso ó atípico dentro de un ensayo para un mismo nivel de concentración. Prueba el valor más alto en un conjunto de desviaciones estándar	$C = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^p S_i^2}$	$S_{\max}^2$: Varianza más alta en el conjunto de i días (ensayos).
Prueba de Grubbs (Rechazo de datos entre ensayos)	Para determinar si un resultado distante (más alto o más bajo que) es un valor atípico. Se arreglan en orden ascendente el conjunto de datos $\bar{x}_i$ para $i = 1, 2, \dots, p$	$G_p = \frac{ \bar{x}_p - \bar{x} }{s}$	$\bar{x}_i$ = promedios de cada ensayo

Fuente [Massart et al., 1997]

2.3.3.2.4 Exactitud

Es la capacidad del método analítico para proporcionar resultados los más cercanos posibles al valor teórico (valor nominal). Normalmente se expresa en términos de error, teniéndose como referencia los patrones preparados en el laboratorio. La exactitud expresada como porcentaje de error, se calcula según la Ecuación 2.6, teniendo en cuenta la diferencia entre el valor hallado ($\bar{x}$) y el teórico (μ).

Recuperación de la extracción

La recuperación, también denominada recuperabilidad, se define como la eficacia en la extracción del analito a partir de la matriz biológica. Su cálculo se basa en la comparación entre la respuesta del analito y/o patrón interno, extraído de una muestra biológica (suelo) y la respuesta de la misma cantidad de analito y/o patrón interno sin extraer (recuperación 100%).

$$\%E = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\mu} \times 100$$

Ecuación 2.6 Exactitud

$$C_D = k \frac{S_B}{b} \quad k = 3$$

Ecuación 2.7 Límite de detección

Donde:

S_B : Desviación estándar de los blancos

C_D : Límite de detección

k : Constante

b : Pendiente de la curva de calibración

2.3.3.2.5 Límite de detección

Mínima cantidad de analito que puede ser detectado aunque no necesariamente cuantificado con precisión y exactitud, ésta proporciona una señal en el instrumento significativamente diferente de la señal del blanco o ruido de fondo y se determina mediante la Ecuación 2.7

2.3.3.2.6 Límite de cuantificación

Mínima cantidad de analito que puede determinarse cuantitativamente con una adecuada exactitud y precisión. Se calcula mediante la Ecuación 2.7, reemplazando el valor de k por 10 unidades en lugar de 3 [Miller y Miller, 2002].

2.4 PASO III: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

2.4.1 Contaminación y salud humana

Henry y Heinke [1999] definen a la contaminación como cualquier cambio indeseable de las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua o suelo, que afectan de manera adversa la salud, la supervivencia o las actividades de los humanos o de otros organismos vivos. El aire, agua y suelo son los medios mediante los cuales ésta se produce y propaga, generando el deterioro progresivo de los ecosistemas y atentando al equilibrio biológico [Devic Luengo, 2001].

La disposición de desechos industriales (materiales de construcción, equipos obsoletos, desechos químicos, etc.) se ha realizado, por muchos años, en rellenos contruidos por industrias de todo tipo, lamentablemente muchos de éstos no fueron diseñados bajo especificaciones técnicas para contener desechos peligrosos, lo que ha generado que los lixiviados de los productos químicos hayan contaminado al suelo, las aguas subterráneas, y el aire [Watts, 1998].

Actualmente los residuos de plaguicidas han sido identificados en todas las regiones geográficas incluyendo aquellas muy remotas al lugar de su liberación al ambiente, como océanos, desiertos y zonas polares. Igualmente se ha demostrado su presencia en organismos de todos los niveles tróficos, desde el plancton hasta las ballenas y los animales del ártico [Malato Rodríguez *et al.*, 2001; Weinberg, 2009b]. Algunos de estos productos son persistentes en el ambiente, se bioacumulan en numerosas especies, pudiendo alcanzar dosis letales, y se han biomagnificado a través de todas las redes tróficas del mundo [Devic Luengo, 2001].

Los seres humanos no están exentos de esta contaminación y los plaguicidas se han podido identificar en diversos tejidos y secreciones humanos, inclusive de los habitantes de regiones muy aisladas. Un informe reciente del Banco Mundial estima que 355.000 personas mueren cada año en el mundo debido a envenenamiento no intencional con plaguicidas [Weinberg, 2009b].

Existen diferentes productos que generan la contaminación, sin embargo por la naturaleza de esta investigación, solo se considerara la contaminación de aire y suelos por plaguicidas los plaguicidas identificados en el área de interés (enterrados). A continuación se presentan algunos tópicos de interés sobre esta temática, se profundiza en la contaminación de suelos, aire y matrices biológicas por plaguicidas y se describen las características de estos plaguicidas.

2.4.2 Contaminación de suelos por plaguicidas

Después de la liberación de los plaguicidas en el medio ambiente, éstos pueden tener diferentes destinos. Los plaguicidas que son aplicados por aspersores se mueven a través del aire y puede acabar en los cuerpos de aguas superficiales o el suelo. Los plaguicidas aplicados directamente al suelo pueden sufrir procesos como la adsorción, la difusión y así terminar en las capas inferiores del suelo o en las aguas subterráneas mediante los procesos de lixiviación, o cerca a las masas de agua superficial por escorrentía [FAO, 2000].

El plaguicida en el suelo puede sufrir degradación o por el contrario presentar resistencia a la degradación biológica, como es el caso de los organoclorados que mantienen su actividad por largo tiempo, o puede ser incompleta y sus metabolitos persistir en el ambiente. Los plaguicidas pueden cambiar las propiedades químicas del suelo ya que éstos se acumulan y pueden causar diversas alteraciones [Kumar, 2001].

2.4.2.1 Persistencia de los plaguicidas en el suelo

El suelo es un sistema dinámico biótico y abiótico. Los plaguicidas depositados en o sobre él tienen distinta capacidad para ser adsorbidos a la arcilla mineral y a la materia orgánica. Tal adsorción reduce tanto el movimiento como la actividad biológica del plaguicida.

El término “persistencia” se emplea para definir el tiempo que permanece un plaguicida en el suelo manteniendo su actividad biológica [Kerle *et al.*, 2007]. En la bibliografía se encuentran interesantes revisiones sobre la persistencia de plaguicidas en el suelo [Arias-Estévez *et al.*, 2008; Gevaio *et al.*, 2000].

2.4.2.2 Factores que influyen en la persistencia de pesticidas en el suelo

En general, los residuos de plaguicidas se producirán en la parte superior de 6 pulgadas del suelo, que es también la región de mayor actividad de la fauna y la flora del suelo [Yu, 2008]. El comportamiento de los plaguicidas en el suelo se rige por una serie de complejos

procesos dinámicos físicos, químicos y biológicos, incluyendo adsorción-desorción, volatilización, degradación química y biológica, absorción por las plantas, escorrentía y lixiviación [Arias-Estévez *et al.*, 2008]. En la Figura 2.5 se muestran algunos de los factores que influyen en la persistencia de los plaguicidas en el suelo.

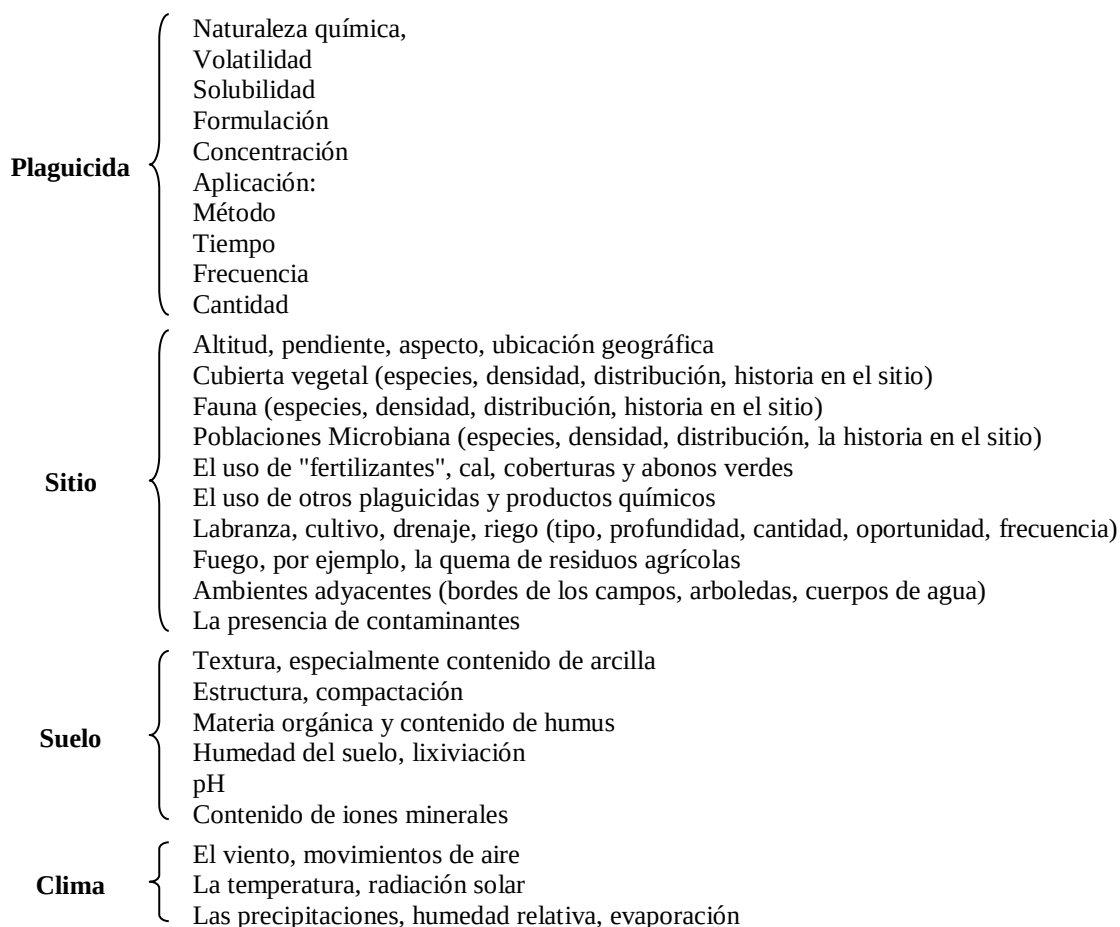


Figura 2.5 Factores que influyen en la persistencia de los plaguicidas en el suelo

Modificado de Arias-Estévez et al. [2008]

2.4.2.3 Las fuerzas de adsorción

La adsorción juega un papel fundamental en el transporte dinámico (convección-dispersión), transformación, bioacumulación, y persistencia de plaguicidas [Arias-Estévez *et al.*, 2008]. El efecto de la composición del suelo en la adsorción se ha estudiado observando el efecto de la eliminación de uno o varios constituyentes del suelo, y determinando las correlaciones posibles entre las características de la adsorción y el contenido de los diversos constituyentes [Sánchez Martín y Sánchez Camazano, 1984]. La absorción de pesticidas no iónicos depende de la naturaleza molecular de la materia orgánica del suelo [Ahmad *et al.*, 2006]. Existen tres tipos de adsorción que se producen entre la macromolécula del suelo y los compuestos de plaguicidas: Enlaces químicos, físicos y de puentes de hidrógeno.

Para entender mejor las fuerzas de adsorción es importante caracterizar el suelo, porque así se logra obtener información de los siguientes aspectos: Textura, que determina la proporción de tres tamaños de partículas de suelo, arena (grande), limo (medio) y arcilla (pequeño). Tamaño de las partículas del suelo, a su vez, afecta tanto los rasgos del suelo como a la capacidad de retención de agua y la aireación. Color, es un indicador de las condiciones del mismo, como infiltración y procesos que actúan. Consistencia, se refiere al comportamiento del suelo cuando se le aplica presión y se relaciona con el grado con que las partículas se pegan entre sí.

2.4.3 Contaminación de aire por plaguicidas

De las matrices suelo, agua y aire, el impacto de los plaguicidas sobre el aire es el menos investigado y evaluado. Las guías para el monitoreo de aire son escasas y la legislación al respecto mínima, comparada con la existente respecto al impacto de los plaguicidas sobre ambientes acuáticos [Siebers *et al.*, 2003].

Los plaguicidas pueden introducirse a la atmósfera siguiendo diferentes rutas [EPA, 1994]; en el caso de Cartagena de Indias, por estar los plaguicidas enterrados, la volatilización se convierte en la única ruta de contaminación del aire.

La tasa de flujo de plaguicidas hacia el aire está influenciada por diversos factores. Entre los factores externos, se encuentran las condiciones meteorológicas, los procesos de disipación, la cantidad de materia orgánica en el suelo y las partículas meteorológicas sobre las que se adsorbe el plaguicida. Sin embargo, el factor más importante son las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas dispuestos en el sitio.

La volatilización del plaguicida está determinada por su presión de vapor, temperatura del medio, volatilidad intrínseca y la velocidad de difusión a la superficie de evaporación. La volatilidad tiene en cuenta la tendencia del plaguicida de convertirse en un gas y se mide a través de la constante de la ley de Henry, la cual depende de la presión de vapor en estado líquido y la solubilidad en el agua.

Se ha encontrado que cuando la presión de vapor del plaguicida es inferior a $1,0 \cdot 10^{-8}$ Pa, la afinidad del plaguicida por el suelo es alta y tiene bajo potencial para volatilizarse lo cual indica que puede ser retenido en el suelo. Si, por el contrario, es superior a $1,0 \cdot 10^{-3}$ Pa, su afinidad por suelo baja y el potencial de volatilización es alto [Jenkins y Thomson, 1999].

Se ha reportado que bajo condiciones de campo, para plaguicidas con presión de vapor entre $5,0 \cdot 10^{-3}$ y $5,0 \cdot 10^{-2}$ Pa, la volatilización puede representar hasta 22.6 % del destino total en el ambiente, afectando la calidad del aire [Ferrari *et al.*, 2003].

2.4.4 Bioacumulación

Aunque los contaminante orgánicos persistentes, dentro de los cuales se encuentran gran parte de los plaguicidas, tienen el potencial para saltar de un lado a otro del mundo y de viajar desde las regiones más cálidas a las regiones más frías, éstos entran generalmente al medio ambiente en lugares bastante cercanos a su fuente original. Cuando éstos caen desde el aire, pueden aterrizar en lugares que les permitan formar parte de la red alimentaria, como por ejemplo los campos agrarios o las pasturas. Cuando un organismo vivo ingiere alimentos que han sido contaminados con estos compuestos, el contaminante no se excreta, metaboliza o descompone con facilidad, sino que más bien se acumula en los tejidos corporales del organismo. Este proceso se denomina bioacumulación, que puede contribuir también a un proceso llamado biomagnificación, estos es, cada vez que una criatura más grande se come a una criatura más pequeña, la especie depredadora ingiere todos los compuestos contaminantes que se hallan presentes en su presa. Por lo tanto, cuando un ecosistema es contaminado por estos compuestos, las personas que viven en ese ecosistema también se contaminarán [Weinberg, 2009a]. Para evidenciar la presencia de bioacumulación se toman muestras biológicas de los organismos directamente afectados, en el caso de este estudio se toman muestras de sangre y orina en un grupo vulnerable de la población vecina al enterramiento.

2.4.5 Modelo Conceptual



Figura 2.6 Posibles mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente

Una manera eficiente de realizar una evaluación a la exposición es la aplicación de modelos. Un "modelo" es una expresión matemática que representa una simplificación de los elementos esenciales de los procesos de la exposición. Su función es proporcionar un medio de predecir la exposición humana u otras exposiciones cuando no se cuenta con un monitoreo completo u otros datos. Sin embargo, en cualquier modelo es esencial indicar

claramente las suposiciones hechas y la lógica usada. En la Figura 2.6 se ilustran las rutas que pueden tomar los plaguicidas enterrados hacia el ambiente.

2.5 PASO IV: EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD-PLAGUICIDAS

Los plaguicidas son sustancias creadas para exterminar organismos vivos (plagas), a través de la inhibición de ciertas funciones vitales y son utilizados ampliamente en procesos agrícolas [Rull y Ritz, 2003]

2.5.1 Generalidades químicas y toxicológicas de los plaguicidas

Actualmente existen en el mundo alrededor de 1500 principios activos de plaguicidas y entre 1 y 2 millones de preparados comerciales o formulaciones de los mismos [Arias-Estévez *et al.*, 2008]. De ellos, la mayoría son utilizados en la agricultura. En este sector, los plaguicidas dado su costo-efectividad son elementos útiles para el control o destrucción de insectos, malezas y enfermedades de los cultivos. Debido al aumento de su uso y su posible impacto en la contaminación de suelos y aguas, son un asunto actual de investigación e intervención en el ámbito nacional e internacional [Marcoux y Urpelainen, 2011; Min.Ambiente, 2004; Recena *et al.*, 2006]

Los plaguicidas obsoletos son stocks de plaguicidas que no pueden ser usados debido a que se han deteriorado, han sido prohibidos, no son adecuados para su uso original y no pueden ser usados para otro propósito [Davies, 1984].

2.5.1.1 Plaguicidas organoclorados

Bajo el nombre de plaguicidas organoclorados se agrupa un número considerable de compuestos sintéticos cuya estructura química, en general, corresponde a la de los hidrocarburos clorados, aunque, además de cloro, algunos de ellos poseen oxígeno o azufre, o ambos elementos en su estructura.

Éstos son plaguicidas obsoletos, debido a que actualmente se encuentra prohibida su comercialización y uso. Los plaguicidas organoclorados han tenido una amplia utilización en la lucha contra los vectores, organismos transmisores de enfermedades del hombre; así como en la protección de los recursos agropecuarios y forestales en donde requieren de grandes cantidades de éstos [Arias Verdes *et al.*, 1990]. Sin embargo, los plaguicidas organoclorados son muy persistentes en el medio ambiente [Kerle *et al.*, 2007], de tal manera que pueden acumularse a través de los años en el suelo o bien, ser transportados por procesos de erosión hídrica y lixiviación hacia cuerpos de agua superficiales o subterránea provocando contaminación del agua (ver Figura 2.6); estos contaminantes son absorbidos y llegan a formar parte de las cadenas tróficas [Rodríguez Sahagún *et al.*, 2006].

Los más notables dentro del grupo de insecticidas de larga duración son el DDT y el Dieldrín. El tiempo promedio que tarda la mitad de un compuesto de hidrocarburos clorados en desaparecer después de que se aplica al suelo es de entre 2 y 10 años. Para un

compuesto con una vida media de 10 años, más del 12% del compuesto se mantendría después de un período de 30 años. El compuesto de resistencia a la degradación bioquímica, junto con su solubilidad en grasas (lípidos), conduce a la bioacumulación en los organismos vivos [Kamrin, 1997].

En los plaguicidas organoclorados, el átomo de cloro sustituyente en la molécula es relativamente no reactivo y es el principal responsable de la toxicidad. Estos plaguicidas incluyen un gran número de hidrocarburos clorados con propiedades diferentes dependiendo de la estructura que presenten; existen tres tipos:

Los plaguicidas organoclorados constituyen un grupo diverso de productos químicos, compuestos por un esqueleto de átomos de carbono, en el cual, algunos de los átomos de hidrógeno unidos al carbono, han sido reemplazados por átomos de cloro, unidos por enlaces covalentes al carbono. Esta familia de compuestos tienden a compartir ciertas características y rasgos estructurales [Shen y Wania, 2005].

2.5.1.2 Plaguicidas organofosforados

Los organofosforados, son ésteres orgánicos del ácido fosfórico, constituyen un amplísimo grupo de compuestos de síntesis [INSHT, 2006], usados como plaguicidas artificiales aplicados para controlar las poblaciones plagas de insectos [Picó y Font G, 2003]. Son sustancias conformadas por un átomo de fósforo unido a 4 átomos de carbono o en algunas sustancias a 3 de oxígeno y uno de azufre. Sus características principales son su alta toxicidad, su baja estabilidad química y su nula acumulación en los tejidos, característica ésta que lo posiciona en ventaja con respecto a los organoclorados de baja degradabilidad y gran bioacumulación. Por otra parte, los organofosforados son de uso común, e inclusive tienen aplicaciones domésticas en la actualidad.

La fórmula estructural general de estos compuestos, que se caracterizan por la presencia de (en general) tres funciones éster, es la siguiente:

En la que R_1 y R_2 son radicales alquilo, generalmente metilo o etilo, el grupo X es característico de cada especie química, siendo frecuentemente un radical arilo, y suele contribuir de forma importante a sus propiedades físicas y químicas y biológicas. De acuerdo a los elementos concretos que ocupen determinadas posiciones en la molécula, los organofosforados se pueden dividir en 14 grupos, de los que los más importantes son [INSHT, 2006]:

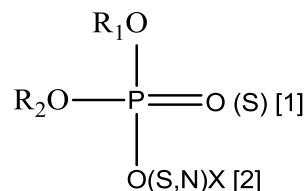


Figura 2.7 Estructura general de los compuestos organofosforados

- Fosfatos, con un O en las posiciones [1] y [2];
- O-fosfortioatos (o tionatos), con un S en [1] y un O en [2], S-fosfortioatos (o tiolatos), con un S en [2] y un O en [1];
- Fosforoditioatos (o tiolotionatos), con un S en [1] y en [2];

- Fosfonatos, con R₁ (en lugar de R₁O), O o bien S en [1] y O en [2], y
- Fosforoamidatos, con un O en [1] y un N en [2].

2.5.1.3 Toxicidad de los plaguicidas para la salud humana

Los valores de toxicidad son utilizados en la caracterización del riesgo para estimar probabilidad de la ocurrencia de efectos adversos en diferentes niveles de exposición. En la Tabla 2.2 se registran los parámetros descriptivos de toxicidad de cada uno de los plaguicidas que han sido estudiados. Estos parámetros serán aplicados para la evaluación de riesgo.

Tabla 2.2 Datos de toxicidad de los plaguicidas encontrados en Colombia^a

Plaguicida	Tipo de Toxicidad	Clasificación de Carcinogenicidad	RfD Oral (mg/kg-día)	RfC Inhalación	SF Oral (mg/kg-día) ⁻¹	UR Inhalación (µg/m ³)
Clorpirifos	NC	—	3 x 10 ⁻³	—	—	—
DDD	C	B2	—	—	2.4 x 10 ⁻¹	—
DDE	C	B2	—	—	3.4 x 10 ⁻¹	—
DDT	C	B2	5 x 10 ⁻⁴	—	3.4 x 10 ⁻¹	9.7 x 10 ⁻⁵
Diazinon	NC	E	9 x 10 ⁻⁴ b,c	0,001 ^c	—	—
Endrin Aldehído	NC	D	3 x 10 ⁻⁴ c	—	—	—
Endrin Cetona	NC	D	3 x 10 ⁻⁴ c	1 x 10 ⁻⁴ c	—	—
Malation	NC	—	2 x 10 ⁻²	—	—	—
Metamidofos	NC	—	5 x 10 ⁻⁵	—	—	—
Forato	NC	—	2 x 10 ⁻⁴ b,c	5 x 10 ⁻⁵ c	—	—
Toxafeno	C	B2	—	—	1.1	3.2 x 10 ⁻⁴ c

Información tomada de: ^a EPA [2012], ^b SAD® - Toxicological Profiles, ^c [GSI, 2010].

B2: Probablemente cancerígeno en humanos, C: Cancerígeno, D: No clasificable como cancerígeno en humanos, E: Evidencia no cancerígeno en humanos, NC: No cancerígeno, RfC: Concentración de Referencia de Inhalación, RfD: Dosis oral de referencia, SF: Oral =factor de pendiente para compuestos cancerígenos, UR: Inhalación

En casos especiales como las preparaciones de aerosoles o fumigantes gaseosos o volátiles, los valores de (DL₅₀) oral y dérmica no deben emplearse como base de clasificación, siendo necesario utilizar otros criterios tales como los niveles de concentración en el aire.

Tabla 2.3 Toxicidad de los plaguicidas por grado de inhalación

Toxicidad	Concentración, mg/L aire
Muy tóxico	Menor o igual a 0,5
Tóxico	Entre 0,5 y 2
Poco tóxico	Entre 2 y 20

2.6 PASO V: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO- MODELOS DE RIESGO

El cálculo de riesgo en la salud humana se divide en dos grupos de acuerdo al efecto que puede generar: efectos cancerígenos por ser una de las enfermedades de interés en salud pública más agresivas y el riesgo no cancerígeno donde están incluidas las otras enfermedades de carácter crónico. En ambos cálculos se incluye el valor de la exposición o consumo (I), definida como sigue:

$$I = \frac{CxIRxCFxEFxED}{BW \times AT}$$

Ecuación 2.8 Ecuación para el cálculo del valor de la exposición o consumo (I)

Donde:

C = Concentración en la muestra (mg/kg)	ED = Duración de la exposición (años)
IR = Tasa de ingestión de la muestra (mg/día)	BW = Peso corporal (kg)
CF = Factor de Conversión (1E-06 kg/mg)	AT = Tiempo promedio (días)
EF = Frecuencia de exposición (días/año)	

Para las sustancias **cancerígenas**, el riesgo es estimado como un incremento de la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer durante su vida como un resultado de la exposición a una sustancia potencialmente cancerígena. Para esto se utiliza el factor de pendiente (SF, *Slope Factor*), el cual es una estimación plausible de la probabilidad de una respuesta cancerígena por unidad de consumo de una sustancia durante la vida. El valor de probabilidad permitida se establece a priori, regularmente se utiliza el valor de 10^{-5} y para que el valor del riesgo sea aceptable debe ser menor que dicha probabilidad.

$$Risk = I \times SF$$

Ecuación 2.9 Ecuación de riesgo para sustancias cancerígenas

Por otra parte la medida utilizada para describir el potencial de toxicidad **no cancerígena** a ocurrir a un individuo se evalúa mediante la comparación de un nivel de exposición global durante un tiempo de exposición dividido por el factor de referencia derivado para un periodo de exposición similar. La razón de la exposición y la toxicidad es llamada cociente (HQ) o índice de peligro (HI). Para que no exista riesgo esta razón debe ser **menor que uno**.

$$HQ = I / (R_f D \text{ ó } R_f C)$$

Ecuación 2.10 Ecuación de riesgo para sustancias NO cancerígenas

Donde:

RfD = Dosis de referencia oral o dérmica ajustada (mg/kg-día)
RfC = Dosis de concentración, inhalación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Debido a las diferentes variables que pueden afectar el cálculo (peso corporal, tiempo de vida, características de la zona, etc), de la rigurosidad estadística que pueden tener el

tratamiento de datos para los cálculos de riesgo, de la variabilidad de combinaciones de plaguicidas y ambientes, las evaluaciones de riesgo suelen ser bastante complejas y es por eso que se usan software amigables que permiten modelar diferentes condiciones para un caso de evaluación de riesgo y que arrojan los resultados de manera gráfica y sencilla.

2.6.1 Modelos de evaluación de riesgo a la salud humana

Los procesos de movimiento de plaguicidas en el medio ambiente son, en sí mismos, extremadamente complejos y se ven afectados por una gran cantidad de factores. Como resultado, el movimiento de plaguicidas sólo puede ser dilucidado y cuantificado después de múltiples y complicadas mediciones, seguidas de experimentación intensiva, que debe ser complementada a través del uso de complejos modelos matemáticos de simulación. Una manera eficiente de realizar una evaluación a la exposición es la aplicación de modelos, un "modelo" es una expresión matemática que representa una simplificación de los elementos esenciales de los procesos de la exposición. Su función es proporcionar un medio de predecir la exposición humana u otras exposiciones cuando no se cuenta con un monitoreo completo u otros datos. Sin embargo, en cualquier modelo es esencial indicar claramente las suposiciones hechas y la lógica usada [Mackay, 2001].

Los modelos, junto con las bases de datos, permiten una evaluación rápida para identificar el tipo y la magnitud del riesgo para el medio ambiente que podría causar un plaguicida al ser utilizado. Para lograr esto, se han desarrollado bases de datos generales, que recopilan las propiedades de comportamiento ambiental específicas de muchos plaguicidas [FAO, 1996, 2000]. Del modelo se espera que represente la intensidad, las vías y condiciones de exposición.

En el presente trabajo para el cálculo del riesgo se utilizaron los programas SADA 5.0 de la Universidad de Tennessee, Knoxville, USA y RISC 4.0 de Spence Engineering y BP Oil Internacional, UK [Spence y Walden, 2001].

2.6.2 Risk-Integrated Software for Clean-ups, RISC

Fue elaborado por BP (compañía de energía, dedicada principalmente al petróleo y al gas, que tiene su sede en Londres, UK). Es un programa único para la evaluación de riesgo para la salud humana y la determinación de los niveles de limpieza en sitios contaminados. Las características de este software incluyen:

- Base de datos químicos personalizables con 82 productos químicos.
- Es un modelo más intuitivo gráficamente que RBCA
- Se puede simular fases libres
- Permite realizar exposiciones probabilísticas (Monte Carlo)
- Incluye una exposición crítica, ducha dentro de la casa
- Posee la posibilidad para calcular el riesgo aditivo debido a



múltiples vías, compuestos y los receptores (por ejemplo, un residente expuesto como niño y un adulto).



Figura 2.8 Logotipos RISC – BP

Risc es un software ampliamente utilizado en evaluaciones de riesgo en salud [Cheng y Nathanail, 2009; Fryer *et al.*, 2006]. La página web de los fabricantes es: <http://www.bprisc.com>.

2.6.2.1.1 Spatial Analysis and Decision Assistance, SADA

El modelo SADA, Análisis Espacial y de la Decisión de Asistencia, es un programa gratuito desarrollado en la Universidad de Tennessee, con fondos de la EPA, la NRC y el DOE que proporciona herramientas de evaluación integral de riesgos en un entorno de modelado espacial. Este modelo se puede utilizar para realizar los cálculos tradicionales de evaluación de riesgo PRG screens de PRG, y los cálculos permiten evaluar la salud humana frente a uno o más contaminantes. El usuario tiene total control de los datos toxicológicos de los contaminantes actualizándolos permanentemente de las bibliotecas especializadas, así como las propiedades físicas, y los posibles uso que se le puedan dar a la tierra / los parámetros de exposición para crear las vías y el sitio donde se realizarían las evaluaciones de riesgo. Sada posee las herramientas que permiten plantear marcos de decisiones y estrategias de diseño para la caracterización del riesgo

- Visualización
- Análisis geoespacial
- Análisis estadístico
- Evaluación de riesgo para la salud humana
- Evaluación de riesgo ambiental
- Análisis de costo/beneficio
- Diseño de muestreo
- Análisis de decisiones

**SPATIAL
ANALYSIS AND
DECISION
ASSISTANCE**



Figura 2.9 SADA

SADA puede utilizarse para facilitar las decisiones acerca de un sitio determinado de una manera rápida y económica. SADA cuenta con un fuerte énfasis en la distribución espacial de los datos de contaminantes. Puede descargarse directamente de <http://www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml>. Este software es especialmente empleado para calcular los niveles de limpieza del área de estudio [Imam *et al.*, 2009].

2.6.2.1.2 Comparación de características SADA 5.0 Y RISC 4.0.

En la Tabla 2.4 se observan los diferentes parámetros que permiten ser evaluados por los programas RISC y SADA aplicados para realizar las evaluaciones de riesgo.

Tabla 2.4 Variables consideradas por los modelos RISC y SADA

	RISC	SADA
Rutas de exposición		
Ingestión de suelo	X	X
Contacto dérmico con el suelo	X	X
Ingestión de agua subterránea	X	X
Contacto dérmico con el agua en la ducha	X	X
Inhalación de vapores en la ducha	X	X
Inhalación de vapores fuera de la casa	X	X
Inhalación de vapores dentro de la casa	X	X
Inhalación de partículas		
Ingestión de agua superficial	X	X
Contacto dérmico con el agua superficial (natación)	X	X
Consumo de peces de agua superficial contaminada		X
Ingestión de vegetales en suelos contaminados	X	X
Ingestión de vegetales regados con agua contaminada	X	X
Ingestión de agua de riego	X	X
Contacto dérmico con el agua de riego	X	X
Inhalación de agua de riego en spray	X	X
Consumo de leche, carne		X
Escenarios		
Residencia	X	X
Industrial	X	X
Agricultura		X
Recreación		X
Excavación – Construcción		X
Receptores		
Niño	X	X
Adulto	X	X
Adolescente		
Caso aditivo: Niño + Adulto (cancerígeno)	X	X
Caso aditivo: Niño + Adolescente + Adulto (cancerígeno)		
Constructor – Trabajador	X	X
Transeúnte	X	

3 METODOLOGÍA

El impacto de los plaguicidas enterrados en la salud de la población aledaña a la zona contaminada se abordó integralmente desde tres disciplinas: Las ciencias naturales, mediante un estudio de evaluación de riesgo y un estudio técnico cuantitativo de análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados en muestras de suelo y aire; éste estudio se presenta en éste trabajo de investigación. La problemática también fue abordada por otros grupos de investigación de la Universidad del Valle desde la epidemiología, mediante un estudio observacional de corte transversal; y desde las ciencias sociales, mediante un estudio de caso cualitativo que no corresponden a la discusión del presente trabajo, pero en cuyos resultados se apoyan las hipótesis y conclusiones del mismo.

La metodología empleada se describe así: cuatro etapas no consecutivas que en conjunto permiten determinar el riesgo en la salud de la población, relacionado con dos vías de exposición: suelo y aire. Los ítems considerados son:

- Planeación y diseño de muestreo.
- Muestreo de suelo, aire y matrices biológicas (bioindicadores).
- Estandarización de las técnicas de análisis multiresiduos.
- Procesamiento de datos y aplicación de los modelos de riesgo RISC y SADA.

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

Para este estudio se seleccionó el lote Santa Elena ubicado en la Ciudad de Cartagena de Indias, la ubicación se ilustra en la Figura 3.1:

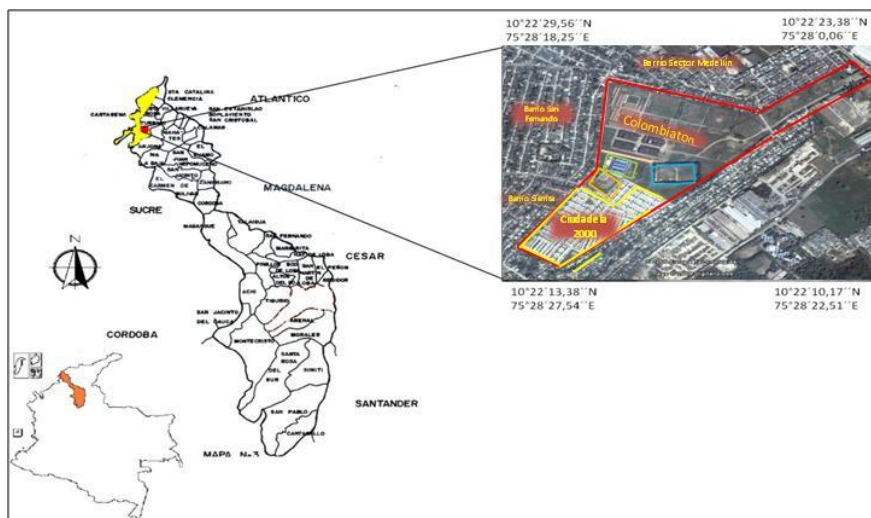


Figura 3.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio denominada lote Santa Elena

Para su estudio, el área se dividió en zonas específicas:

- **Lote Colombiaton:** Ubicado en la parte norte del lote, en la actualidad es propiedad privada del banco Bancolombia, no tiene ningún tipo de uso ni residencial ni industrial y se encuentra en evaluación para posibles usos.
- **Zona de confinamiento:** Área que fue destinada para contener los suelo contaminados.
- **Ciudadela 2000:** Urbanización con 1032 soluciones de vivienda.
- **Colegio Ciudadela 2000:** Unidad educativa inaugurada en el año 2005 que alberga aproximadamente 1500 estudiantes en dos jornadas escolares.
- **Cancha de Beisbol:** Empleada para actividades deportivas y recreacionales por los habitantes de la zona.

3.1.1 Zona Control

Como parte del área de estudio, se seleccionó como zona no expuesta un grupo de barrios con similares características socio – demográficas, que no estaban ubicados en una zona geográfica que implique exposición a los plaguicidas enterrados del Lote Santa Elena o a plaguicidas por otras fuentes (por ejemplo, vecindad con zonas agrícolas o con fábricas de plaguicidas), a esta zona es denominada como Zona Control.

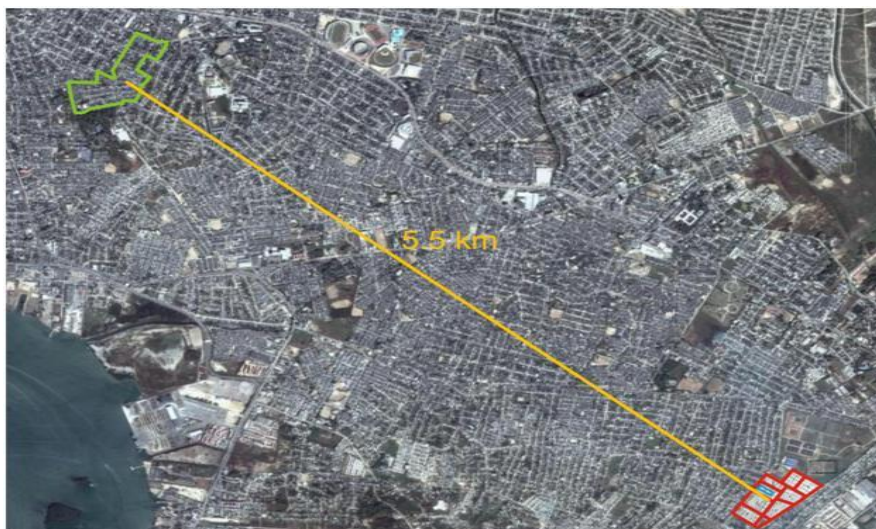


Figura 3.2 Mapa ubicación de la zona control en relación con la zona de estudio

3.2 PASO I: RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN-PLANEACIÓN Y DISEÑO DE MUESTREO

3.2.1 Caracterización del área de estudio

El lote Santa Elena, que abarca 44 Hectáreas, demarcado por la línea roja (ver Figura), se encuentra localizado en la salida del Municipio de Cartagena de Indias, hacia Turbaco, sobre la margen derecha de la Troncal de Occidente, detrás de la Subestación Eléctrica Corelca. La Federación Nacional de Algodoneros había construido bodegas (demarcadas por las líneas blancas) y una sede administrativa; en las bodegas se almacenaban los plaguicidas importados y las pacas de algodón. Luego de la quiebra de esta entidad, el lote pasó a ser propiedad del Banco de Colombia, que lo vendió a CORVIVIENDA para desarrollar el proyecto urbanístico de interés social de Ciudadela 2000. A continuación se muestra una foto satelital del lote en el que se demarcan algunas zonas que se mencionan más adelante (ver Figura 3.3).



Figura 3.3 (a) Área de estudio organizada por zonas. (b) Ubicación de la zona control en relación a la zona de estudio

Se ha delimitado el área en zonas para facilitar su estudio; estas zonas se detallan a continuación: Ciudadela 2000 (Barrio Residencial), Colegio Ciudadela 2000 (escuela primaria y secundaria), Cancha de beisbol (zona de recreación), Lote Colombiaton (lote privado perteneciente a Bancolombia).

Teniendo en cuenta las vías y rutas de exposición, se plantea que la población expuesta son las personas que viven en el barrio Ciudadela 2000 y que asisten o trabajan en el colegio del mismo nombre, debido a la posible contaminación del suelo superficial y del aire.

3.2.2 Muestreo de suelo, aire y matrices biológicas

3.2.2.1 Muestreo de Suelo

Para el diseño del muestreo de suelos se han tenido en cuenta las curvas de nivel del lote Santa Elena, el tipo de suelo superficial y la ubicación de las construcciones, además con datos recolectados de diferentes fuentes nacionales, se realizó la caracterización de los tipos de suelo [Ferrari *et al.*, 2003]. Por otra parte, se recopiló la información relacionada con los datos de muestreos de suelos, aguas y análisis químicos realizados a los suelos del Lote Santa Elena, específicamente en la zona de Colombiaton, desde 1994 hasta el 2007 a partir de los reportes que posee el Ministerio de Medioambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT, 2006] (Anexo 7.1); éstos fueron las bases para establecer el número y la distribución de las muestras en el presente estudio realizando un análisis geoestadístico. Se empleó Arc View Gis 9.2 y las extensiones: Spatial Analysis y Kriging Interpolator que permiten calcular valores aproximados de los contaminantes generando Mapas de Distribución y Concentración de Plaguicidas en el suelo superficial de Colombiaton obtenidos mediante interpolación de Inverso de la Distancia. Estos mapas permiten ubicar los puntos hasta ahora reportados de máxima concentración en el lote Colombiaton y a partir de ellos es posible programar un muestreo más coherente respecto a la zona.

Para los lotes cercanos al Colegio Ciudadela 2000, la Zona de Confinamiento y el barrio Ciudadela 2000 no se tiene información previa ya que no han sido evaluados según los informes revisados, por tanto se realiza un muestreo tipo residencial con muestras distribuidas en toda la zona.

Con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados, se realizaron dos muestreos de suelos: uno preliminar con 18 muestras realizado en el mes de marzo que permitió la especificidad de ubicación de los puntos y afianzar técnicas de muestreo, para éste la ubicación de los puntos se eligió de tal manera que permita realizar un screening de todo el lote Santa Elena y así generar juicios para la toma de decisiones en la ubicación de los puntos para el muestreo final. La duración total del muestreo fue de tres días. El segundo muestreo se realizó en el mes de septiembre con un total de 74 muestras con una duración total de 5 días.



Figura 3.4 Algunas zonas elegidas para muestreo de suelos.

Se realizó una evaluación de la zona mediante un muestreo residencial con toma de muestra compuesta, se muestrearon las zonas de jardín, patios y zonas sin pavimento del barrio y las casas.

3.2.2.2 Muestreo de Aire

Los puntos de interés se localizaron teniendo en cuenta la dirección de los vientos. Se tuvo precaución de ubicar los muestreadores de forma que se pudieran obtener datos “in door” o dentro de un recinto (salón del colegio y casas), y “off door”, al aire libre, se tuvo en cuenta también la seguridad del artefacto y el sitio apropiado respecto a los vientos y disposición de los residentes. Se ubicaron a 2 m de altura en promedio.

3.2.2.2.1 Muestreo Activo de Aire

Para el muestreo activo de aire se seleccionaron tres puntos en la zona de interés y un punto en la zona control. Se empleó el muestreador activo de alto volumen TISCH TE 1000 que fue calibrado y puesto en funcionamiento para su óptimo desempeño. Una vez calibrado el flujo del equipo en las condiciones de la ciudad de Cartagena y seleccionados los puntos se procedió a hacer el monitoreo por ciclos de 24 horas [Klánová, 2008].

En la graficas se registra el puf activo y el muestreador después de la medición. Las muestras colectadas fueron enviadas a Univalle donde se embalaron y se reenviaron al laboratorio SGC.



Figura 3.5 Partes del muestreador activo de aire.

3.2.2.2.2 Muestreo Pasivo de Aire

Para el muestreo pasivo de aire se realizó la instalación de seis muestreadores pasivos tipo PUF los cuales se distribuyeron de manera estratégica en el Lote Santa Elena, como se observa en la Figura 4.6.

Una vez instalados los muestreadores, se programó una secuencia de muestreo como se ilustra a continuación:

Días	0	10	14	30	30	30	60
Fecha	27/Ago	6/Sep	20/Sep	20/Oct	20/Nov	18/Dic	20/Feb

Figura 3.6 Programación de los muestreos de aire con muestreadores pasivos

Las concentraciones volumétricas de aire se obtienen dividiendo la cantidad de los pesticidas recolectados sobre los discos PUF, por el producto del período de desplegamiento con la tasa de muestreo media del disco de PUF de alrededor de 4 m³/día, previamente propuesta por Harner *et al.* [2006] y ajustado al ambiente de muestreo.

3.2.2.3 Tratamiento de Muestras

3.2.2.3.1 Suelo

En la Figura 3.7 se muestra el registro fotográfico del trabajo en campo. Las muestras se toman limpiando la superficie del terreno, abriendo el hoyo con una pala común (Figura 3.7 (a)) y tomando la muestra con barrenos tipo holandeses de acero inoxidable (Figura 3.7 (b)); luego cada submuestra es llevada a un balde y se mezclan homogéneamente (Figura 3.7 (c)), de esta mezcla se toma 1 kg aproximadamente y se almacenan en bolsas de polietileno de alto micronaje con cierre hermético (Figura 3.7 (d)). Se etiquetaron con la información completa del número de muestra, fecha, hora, profundidad, persona encargada, georeferenciación y observaciones. Posteriormente se refrigeraron hasta su análisis en el laboratorio. Las muestras se enviaron diariamente desde Cartagena hasta Cali, donde fueron recepcionadas en el laboratorio.

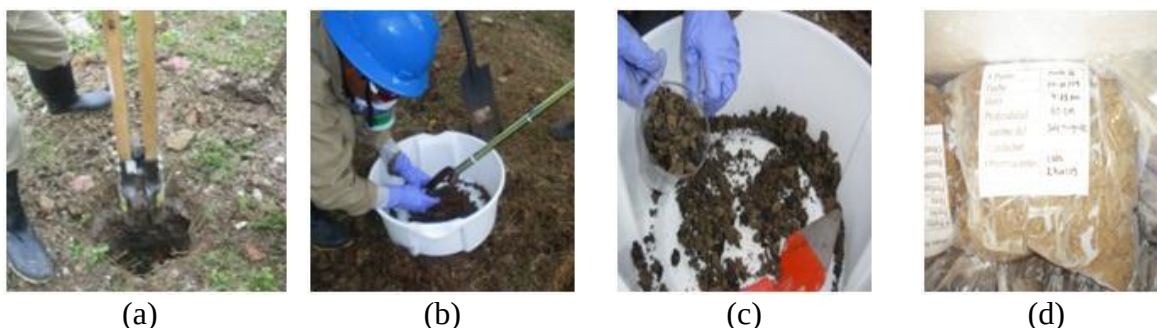


Figura 3.7 Registro gráfico del trabajo realizado en campo: (a) Apertura de hoyo (b) Homogenización (c) Toma de muestra (d) Muestra empacada y rotulada

Una vez las muestras se recibieron en el laboratorio fueron procesadas para: 1. Ser enviadas al laboratorio internacional SGS y 2. Contra muestras para Univalle. Las muestras recibidas inicialmente fueron secadas a temperatura ambiente para evitar pérdidas por temperatura, aislándolas de la luz. El secado de las muestras duró entre 5 y 7 días. Una vez realizado este proceso se dio inicio a la homogenización de las muestras. Con maceración manual, cada una de las muestras fue homogenizada hasta obtener el mínimo tamaño de grano posible (Figura 3.8 (a)). Una vez maceradas las muestras fueron tamizadas con un tamiz de 2mm (Figura 3.8 (b)) y se procedió a pesar los 50 gramos (Figura 3.8 (c))

solicitados por el laboratorio internacional almacenándolos en recipientes previamente preparados (Figura 3.8 (d)).

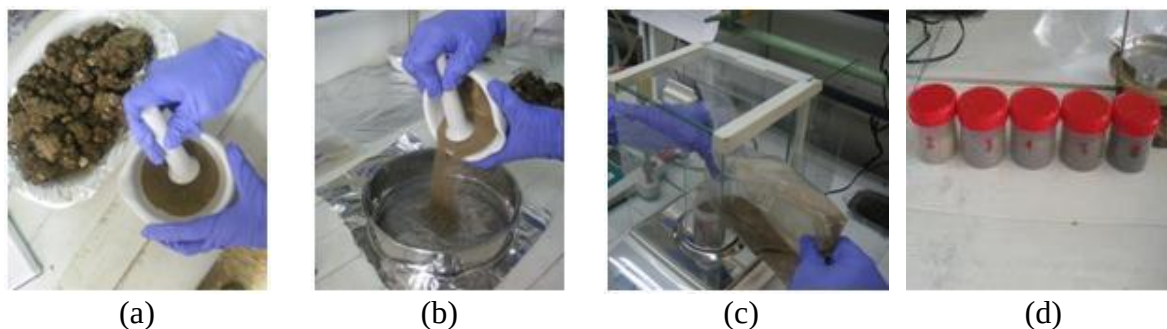


Figura 3.8 Registro fotográfico de la preparación de muestras en el laboratorio: (a) Maceración (b) Tamizado (c) Pesaje (d) Almacenaje

3.2.2.3.2 Aire

Para el muestreo de aire previamente se realizó la activación del puf siguiendo las normas internacionales (Method TO-9A, [EPA, 1999]) las cuales recomiendan un pre-tratamiento por 24 horas, 12 horas con acetona y 12 horas con n-hexano en soxhlet. Una vez el puf es activado se deja secar a condiciones ambientales protegiéndolo de contaminación externa, se almacena en una bolsa de papel aluminio y posteriormente en una bolsa de cerrado hermético para ser guardado en un contenedor plástico y aislado de la luz sin refrigeración y ser transportado hasta Cartagena.



Figura 3.9 Fotografía del montaje experimental para limpieza de PUF.

3.2.2.4 Muestreo de matrices biológicas

Se realizó la recolección de muestras para un estudio exploratorio con el fin de determinar la presencia y el nivel de plaguicidas y sus metabolitos en suero y orina en niños (6 a 10 años) que asisten al Colegio Ciudadela 2000, quienes se consideran población vulnerable expuesta a los plaguicidas enterrados del lote Santa Elena. Los criterios de selección y número de voluntarios fueron determinados por profesionales en el área de epidemiología y salud poblacional de la Universidad del Valle. Por otra parte el CDC (C suministró los insumos necesarios para la recolección de las muestras de sangre y orina, así como los procedimientos operativos estandarizado de muestreo, almacenaje y envío (Anexo 7.2). Se

recolectaron muestras de orina y de sangre durante el mes de noviembre de 2009. Las particularidades de la recolección de cada tipo de muestras se describen a continuación.

3.2.2.4.1 Muestras de orina

En los individuos seleccionados, se realizó la recolección de una muestra de aproximadamente 30 mL de orina. A cada uno de los participantes se les entregó un envase previamente rotulado y se les dieron las instrucciones correspondientes para su recolección apropiada. Cada muestra se separó en 2 alícuotas y se congelaron a -20°C al momento de la recolección y hasta su envío al laboratorio de plaguicidas del CDC.

3.2.2.4.2 Muestras de suero

A los individuos seleccionados se les tomó una muestra de 20 mL de sangre venosa repartidas en tubos de 10 mL Vacutainer® premarcados. Al igual que con las muestras de orina, a cada uno de los participantes se les dieron las instrucciones correspondientes antes de su recolección. Cada muestra de 20 mL se repartió en tubos de 10 mL Vacutainer® de tapa roja y se dejó a temperatura ambiente por 30 minutos. Luego las muestras se centrifugaron a 2500 – 3000 rpm por 15 minutos o hasta que la capa de suero se viese clara. La capa de suero se removió del tubo Vacutainer® y se dividió en dos alícuotas de 10 mL de suero cada una que eran transferidas a un criovial. De cada muestra de suero, se extrajeron 0.9 mL para el análisis de organoclorados y 0.1 mL para el análisis de lípidos (necesario para ajustar los niveles de organoclorados en suero). Las muestras se enviaron en la ruta Cartagena-Bogotá-Atlanta

Se recolectaron en total 100 muestras de 30 mL de orina y 100 muestras de 20 mL de sangre (suero), 80 de estas muestras de individuos del área expuesta y 20 de la zona control. Toda la actividad fue apoyada por profesionales en el área de salud de la Universidad del Valle, quienes también participaron en el proyecto.



(a)



(b)

Figura 3.10 (a) Insumos proporcionados por el CDC para toma de muestras de sangre y orina. (b) Toma de muestra de sangre.

3.2.2.4.3 Embalaje y envío de muestras

Se siguieron los procedimientos recomendados por el CDC y se conservó la cadena de frío con hielo seco, por tanto las muestras debieron enviarse desde Bogotá para cumplir con las reglamentaciones para transporte de este material.



Figura 3.11 Fotos de embalaje de muestras de sangre y orina para envío a laboratorio de CDC.

3.2.3 Metodología muestras enviadas al laboratorio SGS (Bélgica)

Se enviaron y analizaron en el Laboratorio SGS de Bélgica dieciocho (18) muestras de aire (PUF), entre ellas cuatro (4) tomadas con muestreador activo durante 24 horas, seis (6) con muestreador pasivo durante 15 días, seis (6) con muestreador pasivo durante 30 días y dos (2) blancos de transporte. Además se analizaron ochenta y ocho (88) muestras de suelo que incluyen muestras del muestreo preliminar, del muestreo denominado final y un (1) blanco de transporte, para un total de ochenta y nueve (89) muestras de suelo.

3.2.3.1.1 Calidad

El laboratorio SGS de Bélgica son reconocidos los departamentos gubernamentales competentes de Bélgica (AMINAL, OVAM, Ministerio federal de trabajo y empleo...). El laboratorio se encuentra acreditado por ISO 17025. La fiabilidad de las medidas y los resultados analíticos son validados periódicamente e inspeccionados a través de la participación en estudios internos y externos. Además la compañía está certificada por VCA. (Ver Anexo 7.3)

3.2.3.1.2 Suelo

Se enviaron 50 g de cada muestra seca y tamizada con a 2 μ m. Los métodos de extracción utilizados fueron soxhlet y/o sonicación. Los métodos analíticos utilizados fueron LVT-GC/MS para plaguicidas organoclorados y organofosforados y GC/ECD el toxafeno.

3.2.3.1.3 Aire

Los filtros PUF fueron extraídos utilizando ultrasonido con una mezcla de acetona/hexano (50/50).

3.2.4 Metodología muestras enviadas al laboratorio CDC (Atlanta)

3.2.4.1 Muestras de orina

Las concentraciones de metabolitos de plaguicidas organofosforados en orina usa diferentes métodos analíticos. Entre los métodos del estudio se encuentran los siguientes:

3.2.4.1.1 Métodos por HPLC-MS/MS

- Método multi-residuo para la cuantificación de metabolitos específicos de pesticidas organofosforados, piretroides sintéticos, herbicidas selectivos y DEET en orina humana mediante cromatografía líquida-espectrometría de masas en tandem (HPLC-MS/MS) [Olsson A, 2004].
- Método de Montesano *et al.* [2007] para la determinación de acefato, metamidofos, ometoato, dimetoato y dos metabolitos de la familia de fungicidas alquilenbis-(ditiocarbamato): etilentiourea y propilentiourea, en orina humana usando cromatografía líquida de alta resolución- espectrometría de masas en tandem con ionización química a presión atmosférica.

3.2.4.1.2 Método por GC-MS/MS

- Método de Bravo *et al.* [2004] para la medida de metabolitos dialquil fosfato (DAP) de pesticidas organofosforados en orina humana usando liofilización y derivatización química con cromatografía de gases-espectrometría de masas en tandem (GC-MS/MS) y cuantificación con disolución isotópica.

3.2.4.1.3 Medida de Creatina

- La determinación de los niveles de creatina en las muestras de orina se hace para ajustar los resultados. Usualmente, los datos de biomonitorio de orina se ajustan a una concentración constante de creatina para corregirlos de las disoluciones de muestras dopadas [Barr *et al.*, 2005].

3.2.4.2 Muestras de suero (sangre)

3.2.4.2.1 Método por GC-HRMS

- Método de la división de Organic Analytical Toxicology, Laboratory Science, CDC, utiliza florisil en la extracción celular para remover todos los lípidos y otros componentes que interfieren en la extracción [CDC, 2005].

3.3 PASO II: EVALUACIÓN DE LOS DATOS-ESTANDARIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIRESIDUOS EN MUESTRAS DE SUELO

Se validó un método analítico multiresiduo para determinar cualitativamente y cuantitativamente 13 pesticidas organofosforados (OP) y 12 pesticidas organoclorados (OC) de manera simultánea en muestras de suelo usando extracción sólido-liquido por ultrasonido y Cromatografía Gaseosa con Detector de Captura de Electrones (GC-ECD) como técnica instrumental de análisis.

Los equipos empleados fueron:

- Cromatógrafo de Gases Hewlett Packard 6890, con Detector de Captura de Electrones (GC-ECD HP 6890 Series, Agilent Technologies, Palo Alto, California, EEUU)
- Equipo Ultrasonido Fisher Scientific FS60D
- Gas Cromatográfico: Mezcla, Argón-metano (5 % metano, balance en Argón) pureza 99.999 AGAFANO.

Los reactivos y solventes usados fueron:

- Hexano grado analítico y grado cromatográfico JT BAKER
- Acetona grado analítico y grado cromatográfico JT BAKER
- Metanol grado analítico
- Agua deionizada (18Ω)
- Patron Interno: 2,6-dinitro-N,N-dipropyl-4-(trifluoromethyl)benzenamine (Triflurarín) - 800 ppb-

A continuación se enlistan los pesticidas de interés y en los siguientes apartados se describe la metodología usada para el análisis.

Tabla 3.1. Pesticidas organoclorados y organofosforados de interés para análisis en Univalle

Pesticidas organoclorados	Pesticidas organofosforados
Alfa-BHC	Diclorvos
Beta-BHC	Sulfotep
Gamma-BHC	Tionazin
Aldrin	Profos
Endosulfan alfa	Dimetoato
4,4'-DDE	Diazinon
4,4'-DDD	Disulfoton
4,4'-DDT	Metil-Paration
Dieldrin	Clorpirifos
Endrin	Paration
Metoxicloro	Protiofos
Endrin Cetona	Famfur
	Gution

En las curvas de calibración se empleó material de vidrio marca GLASCO grado A y todo el material se sometió al mismo procedimiento de lavado antes y después de su uso. Se lavó inicialmente con detergente neutro no iónico MOLABS® y se enjuagó con agua corriente,

posteriormente se realizó el lavado con solución de ácido nítrico al 20% y se enjuagó éste con agua corriente, luego se realiza enjuague con agua deionizada y finalmente se enjuaga con una mezcla de Hexano-Acetona (80:20) y el secado se realiza a temperatura ambiente aislados de posibles contaminantes.

En este trabajo se optimizaron las condiciones de extracción, las condiciones de análisis cromatográfico y las condiciones de validación para el método analítico de los plaguicidas seleccionados.

3.3.1 Preparación de soluciones patrón y extracción de plaguicidas de muestras de suelo

3.3.1.1 Preparación de Curvas de Calibración

Se prepararon soluciones patrón de 1000 mg/L (ppm) en solución de Hexano-Acetona (80:20) para cada plaguicida, a partir de éstas se prepararon soluciones de 100 ppm y de éstas finalmente se prepararon soluciones de 10 ppm para cada uno, de éstas dos últimas soluciones fueron tomadas las alícuotas para la preparación de mezclas empleadas en las curvas de calibración.

3.3.1.2 Dopaje de Blanco de suelos

Se empleó suelo con niveles de pesticidas no detectables y se realizó el tratamiento como a una muestra regular. Una vez tratado, se agregaron 3 g en una caja petri rotulada y se adicionaron 3 mL de una solución estándar con concentraciones conocidas de los 27 plaguicidas y 1 mL de solvente Hexano-Acetona (80:20); para garantizar la homogeneidad del dopaje se agitó el suelo durante 10 minutos con una varilla de agitación de vidrio hasta la sequedad. La caja petri se cerró y se cubrió con parafilm por fuera para sellarla y evitar pérdidas de suelo. El suelo se dejó secar al ambiente por 24 horas.

3.3.1.3 Extracción de muestras de suelo

Se realizó basada en el método de extracción por ultrasonido EPA 3550B. Se agregaron 3 g de suelo (muestra) en un tubo de vidrio de 10 mL con tapa rosca, previamente rotulado y colocado en un vaso de precipitados con agua, a éste se le adicionó 3 mL de una mezcla de solventes Hexano:Acetona (80:20) y se llevó a Ultrasonido durante 10 minutos. Se tuvo cuidado de recircular el agua del ultrasonido para evitar aumentos de temperatura. Posteriormente se llevó a centrifugación a 1550 rpm durante 10 min y el sobrenadante se trasladó a un vial ámbar. Se adiciona nuevamente solvente al tubo de vidrio y se repite el procedimiento. Finalmente se mide el volumen recogido en el vial y se lleva a un matraz de 5 mL, adicionando patrón interno (Trifluralin) y se afora con Hexano:Acetona (80:20)



Figura 3.12 Registro de extracción de muestras de suelo en el laboratorio

3.3.1.4 Patrón interno

A todas las soluciones patrón, muestras dopadas y muestras reales de suelo se le adicionó una cantidad conocida de patrón interno (PI), Trifluralin. La concentración de PI final fue siempre de 800 ppb. Las curvas de calibración se construyeron graficando el cociente entre la señal del pesticida y el PI en función de la concentración del pesticida.

3.3.2 Condiciones Cromatográficas

Las condiciones cromatográficas optimizadas fueron: el flujo óptimo del gas de arrastre, temperaturas de: inyector, horno y detector y se tomó como base el método EPA 8081B.

3.3.2.1 Columna Cromatográfica

Para la separación de los plaguicidas se escogió una columna HP-5, recomendada por el método EPA 8081 [EPA, 1996a]. Las características se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Características de la columna cromatográfica seleccionada para la estandarización	
HP-5	Características
Composición Fase estacionaria	5%-difenilpolisiloxano 95%dimetilpolisiloxano
Polaridad	No polar
Rango de Temperatura (°C)	-60 a 325
Longitud	30 m
Diámetro Interno	250 µm
Espesor de Película	1 µm

3.3.2.2 Flujo Óptimo

El flujo óptimo del gas de arrastre se determinó con la curva de Van Deemter. Se preparó una solución de 5 mL de PI (800 ppb) en Hexano-Acetona (80:20) dopada con 10 µL de acetonitrilo y se registraron los tiempos de retención del Trifluralin (patrón interno) a diferentes flujos de fase móvil y el ancho de la base del pico obtenido para cada flujo. Con estos valores se calculó el número de platos teóricos para cada caso y la velocidad lineal promedio, a partir del tiempo muerto medido con el Acetonitrilo para cada uno de los flujos establecidos.

3.3.2.3 Inyector

La temperatura se determinó de acuerdo al método EPA 8081 que tiene en cuenta los puntos de ebullición de los compuestos organoclorados y organofosforados. Se realizaron pruebas con el método Split y *splitless* para determinar cuál permitía mayor sensibilidad.

3.3.2.4 Horno

Teniendo en cuenta la polaridad y el punto de ebullición de los plaguicidas organoclorados y organofosforados, los cuales determinan el orden de elución de los analitos, se analizaron diferentes gradientes de temperatura, rata de la rampa y tiempo de espera del horno, con el fin de obtener la mejor resolución de los picos cromatográficos, una buena selectividad de los compuestos a analizar y minimizando el tiempo de retención de estos.

3.3.2.5 Detector

La temperatura se determinó basada al método EPA 8081 que tiene en cuenta que debe ser al menos 20 °C mayor que la del inyector sin exceder la temperatura máxima a la que se puede someter la columna y debe encontrarse dentro del rango de temperatura óptima del detector.

3.3.3 Validación Estadística del método cromatográfico

Las condiciones de validación optimizadas fueron: linealidad, precisión, exactitud, selectividad, límite de detección y limite cuantificación. Para el tratamiento estadístico se utilizó la herramienta ANOVA de un factor, para determinar la homogeneidad de las varianzas por medio de la prueba F de Fisher, y para el rechazo de datos dentro de ensayos y entre ensayos se utilizaron las pruebas Cochran y Grubbs, respectivamente. También se calculó con ésta la precisión del instrumento y del método para cada plaguicida

Una vez obtenidas las condiciones cromatográficas y de extracción se procedió a validar los resultados a través de las siguientes características de desempeño:

3.3.3.1 Linealidad

Se prepararon curvas de calibración en rango bajo, medio y alto de acuerdo a la sensibilidad que presenta el equipo para cada pesticida. Se realizaron tres inyecciones de 1µL para cada punto de las curvas. Con los resultados de la línea de regresión se calculó el coeficiente de correlación (r), el coeficiente de determinación (r^2), la pendiente (m), intercepto (b) para cada pesticida.

3.3.3.2 Selectividad

Para determinar la selectividad se realizaron seis inyecciones de una solución estándar con mezcla de los pesticidas en hexano: acetona (80:20) y una concentración de PI de 800ppb;

se calculó el número de platos teóricos, el factor de cola y la resolución entre cada uno de los pesticidas.

3.3.3.3 Precisión

Se evaluó la repetitividad y reproducibilidad preparando por duplicado mezclas estándar en el rango medio y alto; y se dopó una muestra de suelo con mezclas estándar en el rango bajo y medio de las curvas de calibración. Durante cada día se realizaron las siguientes inyecciones de manera aleatoria y por duplicado. La Tabla 3.3 indica las soluciones inyectadas y en la Tabla 3.4 se muestra el orden de las inyecciones durante 6 días no consecutivos.

Tabla 3.3 Numeración de las soluciones inyectadas para determinar la precisión.

Solución	Descripción de la soluciones
1 y 2	Blanco de solventes
3 y 4	Mezcla estándar de todos los pesticidas de rango medio
5 y 6	Mezcla estándar de todos los pesticidas de rango alto
7 y 8	Blanco de muestra de suelo
9 y 10	Muestra suelo + (adición 1) rango bajo
11 y 12	Muestra suelo + (adición 2) rango medio

Tabla 3.4 Tabulación de las inyecciones en orden aleatorio, para medir los parámetros de validación.

Día	1	2	3	4	7	8
Test	Solución					
1	3	12	3	9	3	5
2	1	7	1	3	2	1
3	9	5	5	7	9	2
4	5	10	10	12	5	11
5	10	11	7	1	4	3
6	7	1	6	10	10	9
7	6	2	12	11	12	10
8	11	3	9	5	7	6
9	2	9	4	2	8	7
10	4	8	8	8	6	4
11	8	4	11	4	1	12
12	12	6	2	6	11	8

Se realizó la prueba ANOVA con los datos. La importancia de realizar el análisis de varianza al método radica en el hecho de que, por medio de ésta herramienta no solo se puede evaluar que las variancias obtenidas en los seis días son homogéneas entre si o no, si no que también se puede obtener una desviación estándar ponderada de los seis días analizados, con la ventaja de poder establecer un único parámetro representativo de la precisión para cada una de las diferentes soluciones analizadas durante los seis días, y de esta forma poder hallar la repetibilidad y la reproducibilidad utilizando criterios de límites de aceptación.

3.3.3.4 Exactitud

La exactitud se determinó preparando por duplicado mezclas estándar con todos lo plaguicidas en el rango medio y alto e inyectándolas durante 6 días. Se calculó el error relativo porcentual con respecto a los valores encontrados de concentración.

3.3.3.5 Límite de detección y límite de cuantificación del método

Se estableció una curva de calibración de bajas para cada plaguicida y se determinó la ecuación de regresión con los parámetros respectivos; finalmente con la Ecuación 2.7 dada para el límite de detección y con la ecuación de la recta de la curva de calibración se calculó la concentración mínima que detecta el método para cada plaguicida.

3.4 PASO III: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN-MODELO CONCEPTUAL

Se realizó una evaluación de riesgo con los datos del reporte Concepto Técnico 886 del 15 de Junio de 2006 del MAVDT, que proceden del Laboratorio Microbiológico de Barranquilla y el Laboratorio Bayer AG de Alemania. En este reporte, se detectaron 11 plaguicidas que poseen georeferenciación del punto en el cual fue tomada la muestra. Aunque existen reportes con un mayor número de plaguicidas, estos no se pudieron incluir debido a que no reportan su ubicación geográfica. La evaluación corresponde a la zona denominada Colombiatón; se toman estos puntos asumiendo que son descriptores del estado actual de lote.

3.5 PASO IV: EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD – BÚSQUEDA BASE DATOS

Tabla 3.5 Base de datos empleadas para aplicación de modelos

Base de datos	Página web
EPA PESTICIDES	www.epa.gov/pesticides
EPA IRIS	www.epa.gov/IRIS
The Risk Assessment Information System	http://rais.ornl.gov
ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry	www.atsdr.cdc.gov
PAN Pesticides Database – Chemicals	www.pesticideinfo.org/List_ChemicalsAlpha.jsp
ECOTOX – Database	http://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.htm
ACRITOX - Base de données sur les subs. Actives	www.inra.fr/agritox/php/fiches.php
ARS pesticide properties database	www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=14147

3.6 PASO V: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO – EVALUACIÓN DE RIESGO (DATOS DEL AÑO 2005)

Para el cálculo del riesgo se utilizaron los programas SADA 5.0 y RISC 4.0.

3.6.1 Risk-Integrated Software for Clean-ups, RISC

Para un escenario residencia, con RISC se calcularon los HQ y RISK para cada contaminante; se combinaron estos resultados a través de las diferentes rutas de exposición con el fin de obtener el riesgo individual; se evaluaron los riesgos acumulados para cada receptor mediante la combinación de todos los riesgos individuales o índices de peligros calculados; y finalmente, se definió si el riesgo es aceptable o no. En la Figura 3.13 se muestra la interface del programa RISC 4.0.

El software RISC tiene 6 pasos generales que van guiando para la realización del cálculo de riesgo como sigue:

Tabla 3.6 Metodología seguida en el uso del software RISC 4.0

Paso	Función	Descripción
1	Selección de los Compuestos de Interés	Se seleccionan los plaguicidas de interés y se verifican sus propiedades en la base de datos, si no se encuentran, es preciso realizar la búsqueda de cada una de ellas
2	Elegir las Rutas de Exposición	Se seleccionan las rutas de exposición para salud humana: suelo superficial y aire adentro y afuera. En la medición de suelo se eligen las características del lugar (ej recebo) y en aire se especifica que el vapor proviene del suelo.
3	Determinación de las concentraciones en el Punto Receptor	Se ingresan las concentraciones de las muestras analizadas.
4	Descripción de los receptores	Elegir el tipo de receptor a evaluar (niño, adulto, trabajador etc) y los datos específicos (tiempo de vida, peso corporal etc)
5a	Cálculo del Riesgo	El software realiza los cálculo con todas las variables para calcular los valores para el riesgo cancerígeno (R) ó no cancerígeno (HQ).
5b	Cálculo de niveles de limpieza	El software calcula los niveles de concentración a los que se debería llegar para que no exista riesgo.
6	Resultados	El software arroja resultados numéricos y gráficas de barra que permiten visualizar los cálculos de riesgo.

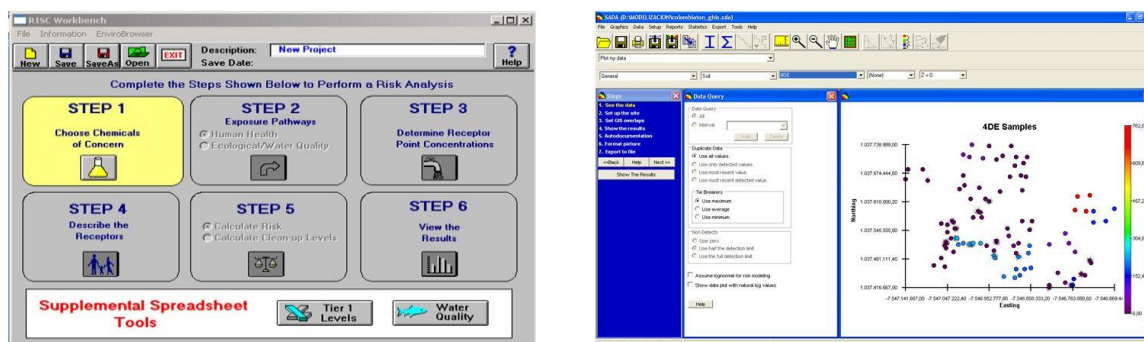


Figura 3.13 Interface del programa RISC 4.0 (izq.) e Interface del programa SADA 5.0 (der.)

3.6.2 Spatial Analysis and Decision Assistance, SADA

Con el programa SADA se calculó el riesgo en puntos diferentes en el espacio, esto permite identificar “hot spots” o puntos críticos de contaminación. El software SADA trabaja de manera muy similar a RISC en cuanto al orden de pasos para ingresar la información y obtener resultados, esos pasos están agrupados en tres etapas:

I. DATOS → II.EVALUACIÓN DE RIESGO → III.ANÁLISIS GEOESPACIAL

Para realizar una corrida en este software es necesario organizar en Microsoft Office Excel® la base de datos con la descripción de cada punto muestreado: coordenadas, nombre del plaguicida y el valor de la concentración encontrada. Cuando se iniciar el programa se abre desde allí esta base de datos y se pueden realizar los cálculos pertinentes.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados y el análisis para la evaluación de riesgo realizada en este trabajo para cada uno de los pasos, así como una discusión general del caso de estudio.

4.1 PASO I: INFORMACIÓN RECOLECTADA –DISEÑO DE TOMA DE MUESTRAS

4.1.1 Hallazgos en el área de estudio

De la bibliografía consultada y los antecedentes reportados para el área de estudio se encontró que en parte de este lote, en el año 1994, se inició la obra de construcción de la urbanización Ciudadela 2000. En el centro del lote, durante las excavaciones y movimientos de tierra, se encontraron enterrados, a unos 50 cm de profundidad, canecas y residuos plásticos de envases de plaguicidas. También se hallaron otros enterramientos de plaguicidas obsoletos a diferentes profundidades del suelo en otros sectores del lote. Por estos hallazgos, las autoridades locales suspendieron la licencia ambiental y la construcción, para que se procediera a realizar las obras de descontaminación. El suelo contaminado se enterró en un área de confinamiento de seguridad, construida teniendo en cuenta especificaciones técnicas de impermeabilidad. Efectuada esta medida, se levantaron las restricciones y se terminó la construcción de la urbanización. Adicionalmente, a 30 m del área de confinamiento y a unos 100 m del área de las bodegas, se construyeron el Colegio Ciudadela 2000, y una cancha de béisbol. Tiempo después, en el año 2004, se comenzó la construcción de la urbanización de viviendas de interés social Colombiatón, en la zona norte del lote Santa Elena. Durante los trabajos se realizó un nuevo hallazgo de contaminación por plaguicidas enterrados, por lo que se suspendió la obra con base en los resultados del estudio del suelo.

En la recopilación de la información histórica de los análisis del sitio de muestreo, se ha identificado la presencia de 30 plaguicidas, 16 organoclorados y 19 organofosforados que se registran en la Tabla 4.1. Los plaguicidas organoclorados se caracterizan por su persistencia, con tiempos de vida media en muchos casos mayores de 10 años, y los plaguicidas organofosforados menos persistentes, con tiempos de vida media en agua menores de 2 meses y en suelo menores de 6 meses. Sin embargo, a pesar de esto se han detectado en el lote plaguicidas organofosforados, posiblemente debido a que su concentración en el suelo del predio es alta, lo que puede haber afectado la microfauna, convirtiéndolos en persistentes.

Tabla 4.1 Plaguicidas reportados en los análisis de suelos para muestras del antiguo lote de la Federación Nacional de Algodoneros.

Plaguicidas Organofosforados		Plaguicidas Organoclorados	
Clorpirifos	Metil Paration	Aldrin	Endrin
Diazinon	O,O,O-triethyl	Alfa BHC	Endrin Aldehido
Diclorvos	Phosphorothionate	Beta BHC	Endrin Cetona
Dimetoato	Paration	Clordano	Epsilon BHC
Disulfoton	Propoxur	DDD	Gamma BHC
Etil Paration	Protiofos (Tokuthion)	DDE	Heptachlor Epoxide
Etoprofos	Sulfotep Phorate	DDT	Heptachloro
Fenclorfos (Ronnel)	Thionazin	Dieldrin	Methoxychlor
Gution		Endosulfan	Toxafeno
		Endosulfan sulfato	

Fuente: MAVDT [2006]

Una vez obtenida ésta información de lote, se procedió a realizar los pasos

4.1.2 Caracterización de la zona

4.1.2.1 Caracterización del suelo

En el lote de Santa Elena los suelos son el resultado de distintos factores, como el tipo de roca madre, el clima, los organismos, el relieve y el tiempo. La ciudad de Cartagena pertenece a la región natural de la llanura Caribe, caracterizada por relieve compuesto por una extensa área de colinas de relieve suave, desarrolladas en sistemas de pliegues terciarios o en acumulaciones cuaternarias. La planicie propiamente dicha está conformada por abanicos, terrazas y llanuras inundables o estacionalmente inundables. El clima de Cartagena es un clima calido-húmedo con un periodo seco entre los meses de diciembre a abril, un periodo de lluvias que va de agosto a noviembre y un periodo de transición de mayo a julio denominado el veranillo de San Juan.

En general, el área presenta una geomorfología plana a ligeramente ondulada, que contrasta con algunas colinas redondeadas de poca elevación como el sector de la Sierrita, al sur del área de estudio y algunos cerros bajos en el sector de Turbaco. El lote Santa Elena presenta suelos muy susceptibles a la influencia climática ya que en los periodos de tiempo seco se generan altas temperaturas que ocasionan un alto desecamiento del suelo originando agrietamientos de la capa orgánica más superficial del perfil y encharcamientos durante las épocas de lluvias. Por otra parte, se encontró que las aguas que fluyen de las partes altas son recolectadas en el área de estudio por dos canales de aguas lluvias, San Fernando y Simón Bolívar que bordean la misma y son conducidas fuera del predio en dirección nororiental. El monitoreo de aguas no hace parte del objetivo de este estudio, por tanto no se presentan resultados relacionados. En la Figura 4.1 se muestra una foto aérea y geo-referenciada con las curvas de nivel que permiten plantear que la posible movilidad de los contaminantes se puede dar hacia la zona nororiental del lote.

Con la información disponible del lote Colombiatón se realizó un mapa de distribución estratigráfica (Figura 4.2) que indica que el lote presenta un nivel de limo orgánico con un espesor que varía entre 0.2 y 0.8 m, que cubre un nivel de arcilla de color pardo. Además, se encuentran arcillas limosas de color pardo claro a amarillo, con presencia de óxidos de

consistencia firme a muy firme; arcillas arenosas de color amarillo, con vetas grises, de grano medio a fino, con rastros de arcilla y limo con presencia de óxidos y de densidad relativa de media a muy densa [MAVDT, 2006].

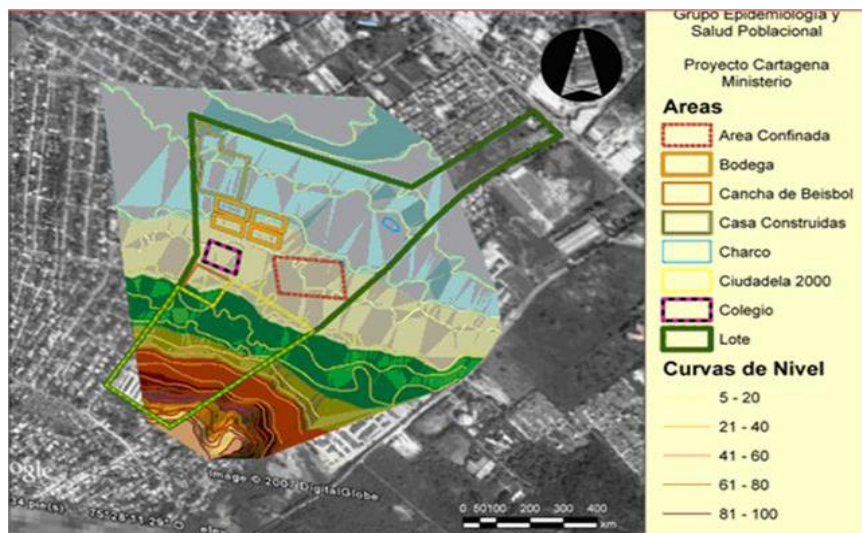


Figura 4.1 Mapa de Curvas de Nivel de la Zona

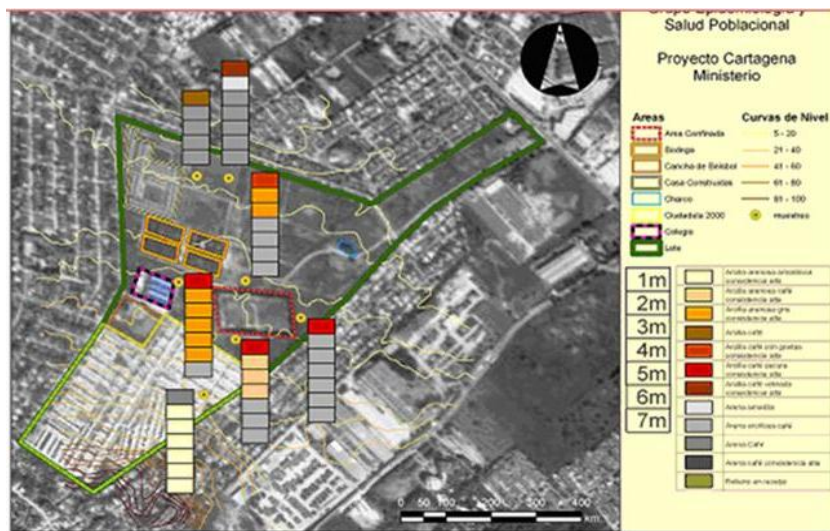


Figura 4.2 Mapa de Información sobre la distribución estratigráfica del lote Santa Elena

En las Tabla 4.2 y Tabla 4.3 se describen las características de la textura y color encontrados para el suelo.

Tabla 4.2 Características de las diferentes texturas encontradas en el predio

Textura	Adhesividad	Infiltración	Retención de humedad	Aireación
Arcilla	Muy Alta	Pobre	Muy Alta	Muy Pobre
Arcilla Arenosa	Media	Pobre	Media	Pobre
Arena	No Hay	Excelente	Muy Baja	Excelente
Arena Arcillosa	Alta	Regular	Regular	Regular

Tabla 4.3 Descripción de los colores de las diferentes texturas

Color	Descripción
Café	Este color resulta de materia orgánica o del material parental
Café Veteado	Los colores veteados indican que el suelo esta empapado en parte pero no durante todo el año
Gris	Puede estar indicando lixiviación de químicos o acumulación de sales
Gris Verdoso	Puede estar indicando lixiviación de químicos o acumulación de sales
Amarillo	Presencia de Minerales Ferrosos

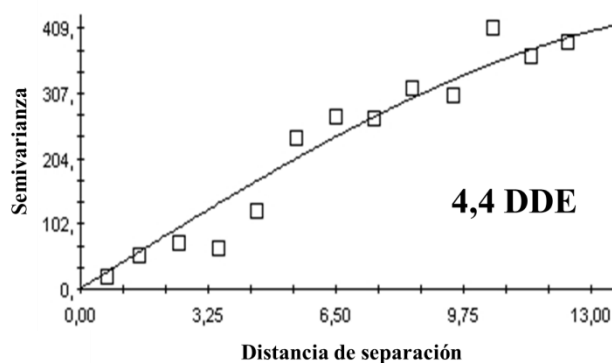
Con estos resultados se puede decir que el contenido de materia orgánica es bajo y la zona de contacto real con el enterramiento es la del subsuelo, la cual tiene un nivel aún más bajo de materia orgánica, lo que disminuiría la adsorción y facilitaría la movilidad. El nivel de arcilla actúa como un sello y el contenido de humedad que pueda tener se deberá a efectos de capilaridad en sectores cercanos a los lentes areno-arcillosos; igualmente, se debe tener en cuenta que por las zonas donde el contenido de arenas es mayor hay posibilidad de que los plaguicidas lixivien más fácilmente a niveles inferiores. Además esta distribución estratigráfica indica que los puntos más vulnerables al transporte de plaguicidas del predio serían los ubicados en la *zona nor-oriental* por presentar después de los tres metros de profundidad texturas areno-arcillosas.

4.1.2.2 Análisis Geoestadístico con resultados de análisis 1997-2007

De la documentación recolectada sólo se encuentra información de análisis de suelo para el lote Colombiaton y en resumen, se reporta residualidad de 10 plaguicidas, 4,4-DDD, 4,4-DDT, 4,4-DDE, Toxafeno, Diazinon, Forato, Metamidofos, Clorpirifos, Endrin, Endrin Cetona, Endrin Aldehido, Malation [MAVDT, 2006]. y su posicionamiento geográfico en el informe de Bancolombia del año 2006. Con estos datos se realizó un análisis geoestadístico aplicando GeoStatistics for the Environmental Science 5.0.3., se elaboraron los semivariogramas correspondientes a este lote. Estos diagramas nos permiten observar cómo cambia la varianza de los datos con la distancia, en el Anexo 7.4 se presentan todos los datos y resultados de éste análisis, a continuación se ilustran los resultados para el plaguicida 4,4 DDE.

En la Figura 4.3 se muestra el semivariograma experimental para algunas distancias promedios particulares, por ello se hace necesario el ajuste de modelos que generalicen lo observado en el semivariograma experimental a cualquier distancia. Existen diversos modelos teóricos de semivarianza que pueden ajustarse al semivariograma experimental. En general dichos modelos pueden dividirse en no acotados (lineal, logarítmico, potencial) y acotados (esférico, exponencial, gaussiano). Los del segundo grupo garantizan que la covarianza de los incrementos es finita, por lo cual son ampliamente usados cuando hay

evidencia de que presentan buen ajuste. El modelo que más ajusto a la mayoría de plaguicidas fue el esférico y el lineal. Determinando los parámetros de Nugget, Sill Co, se determinó el rango y la grilla. En teoría, se considera que un porcentaje del Nugget con respecto a la variación total, menor o igual al 25%, indica que existe una fuerte dependencia espacial. En la Tabla 4.4 se encuentran los resultados finales obtenidos



Detalles	
Modelo	Esférico
Nugget	1,00
Porcentaje de Nugget	0,22
Sill Co+C	439,20
Distancia de estimación	1 m
Rango efectivo (m)	17,13
r^2	0,948
RSS	13832

Figura 4.3 Semivariograma obtenido para el plaguicida 4,4 DDE

Tabla 4.4 Tamaño de la grilla calculada

Parámetro	Rango (m)	Tamaño de grilla (m)	Cada cuantas cuadrillas en la grilla se debe muestrear	Número total de cuadrículas a analizar por parámetro
4,4 DDD	3,90	4,0	1	6250
4,4 DDT	16,15	16,0	4	1562
4,4 DDE	16,15	16,0	4	1562
Toxafeno	9,721	10,0	2	3125
Diazinon	5,860	6,0	1	6250
Forato	17,240	17,0	4	1562
Metamidofos	15,910	16,0	4	1562
Clorpirifos	17,21	17,0	4	1562
Endrin aldehído	-	-	-	-
Malation	10,299	10,0	2	3125
Endrin cetona	3,90	4,0	1	6250

Toda esta evaluación geoestadística conlleva a plantear un tamaño de grilla de de 4 x 4 m, para el lote Colombiaton que posee un tamaño de 500 x 200 m, teniendo un relación de cuadrículas de: $500/4 \times 200/4 = 6250$, de tal manera que el máximo de muestras sería de 6250. Estos resultados indican que en distancias muy cortas hay una gran variación de concentración de los compuestos, por lo tanto habría que tomar un número elevado de muestras. Esto no es viable desde el punto de vista económico y práctico. Por tanto se recurrió a otra herramienta para la selección del muestreo.

En la Figura 4.4 se presenta el mapa de los puntos de muestreo y la presencia de plaguicidas en los reportes entre 1997-2007 y el mapa de distribución de las concentraciones del plaguicida DDE en el suelo superficial de Colombiaton, obtenidos mediante interpolación de inverso de la distancia, usando la extensión Análisis

Geoestadística de ArcGis 9.3. Los resultados para los demás plaguicidas se presentan en el Anexo 5.1.

Los resultados muestran que la mayoría de pesticidas se encuentran concentrados en la zona nororiental del Lote y algunos como DDT, DDE, DDD y Toxafeno aparecen en las muestras tomadas cerca a la bodegas, por tanto éstas áreas se consideran críticas y para el muestreo de suelo preliminar se realizaron muestras puntuales en estas zonas para evaluar su estado. Estos mapas de concentraciones, ubican los posibles focos de contaminación y se consideran como una contribución o aporte importante al proceso de evaluación del riesgo.

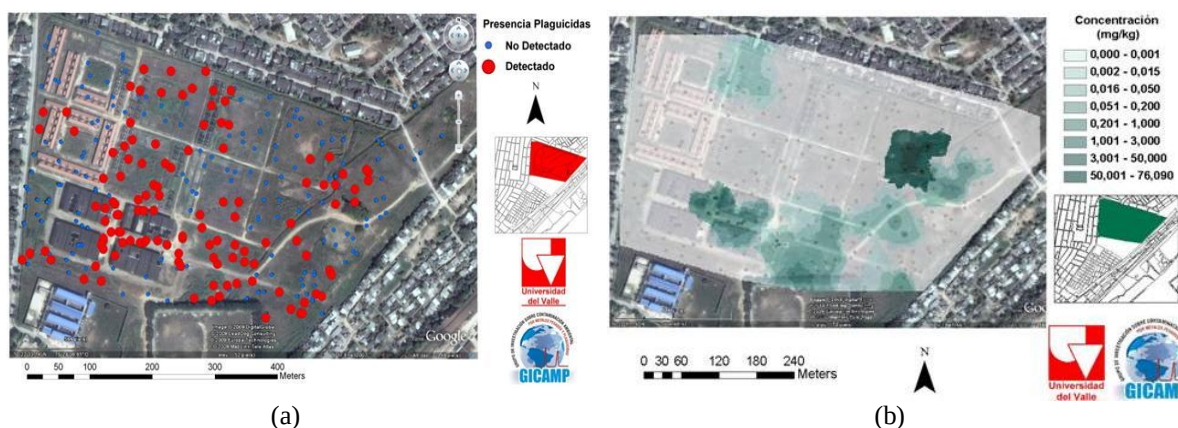


Figura 4.4 (a) Puntos de muestreo y presencia de plaguicidas en suelo superficial. (b) Distribución del plaguicida 4,4 DDE en el suelo superficial

4.1.3 Muestreo de suelo, aire y matrices biológicas

4.1.3.1 Muestreo de Suelo

En el muestreo preliminar de suelo se muestrearon zonas verdes en Ciudadela 2000, la cancha de beisbol, el patio del colegio y fue permitido tomar muestras en el lote Colombiaton. En total se tomaron 18 muestras distribuidas así: Nueve (9) en Ciudadela 2000, Cinco (5) en el Colegio Ciudadela 2000, Tres (3) en el lote Colombiaton y una (1) en la zona control como se muestra en la Figura 4.5.

Durante el muestreo de suelo preliminar se encontró que los suelos del sitio de interés han sido modificados por los habitantes con descargas de material residuo de construcción y basura y en la zona de Ciudadela 2000 aparece un recebo de hasta 1 m de profundidad probablemente colocado durante la construcción del barrio, lo cual generó dificultad en la toma de muestra del suelo original. Debido a esto se tuvieron que ajustar las profundidades para toma de suelo superficial que inicialmente se había programado para 30 cm y sin embargo variaron entre 50 y 70 cm (Ver Anexo 7.3). Este muestreo preliminar permitió además ajustar el protocolo de transporte y envío de muestras.

4.1.3.2 Muestreo Suelos Definitivo

En el segundo muestreo de suelos se tomaron muchos más puntos en la zona del colegio por considerarse crítica al estar contigua al lote Colombiaton, así mismo se tomaron muestras en patios de casas habitadas, con el fin de evaluar incidencia directa de contaminación, la ubicación de estos puntos dependió especialmente de la disposición de los habitantes de la zona; además se tomaron puntos en zonas verdes y en el área contigua a la zona de confinamiento. En el lote Colombiaton no se realizaron muestras ya que no se consiguieron los permisos necesarios. En total se realizaron 74 puntos de muestreo distribuidos así: Ciudadela 2000 y la cancha de beisbol, 49 puntos; en las zonas que incluyen el patio del colegio, sus alrededores y los alrededores de la zona de confinamiento 23 y 2 en zona control. La Figura 4.5 muestra la distribución de puntos muestreados.

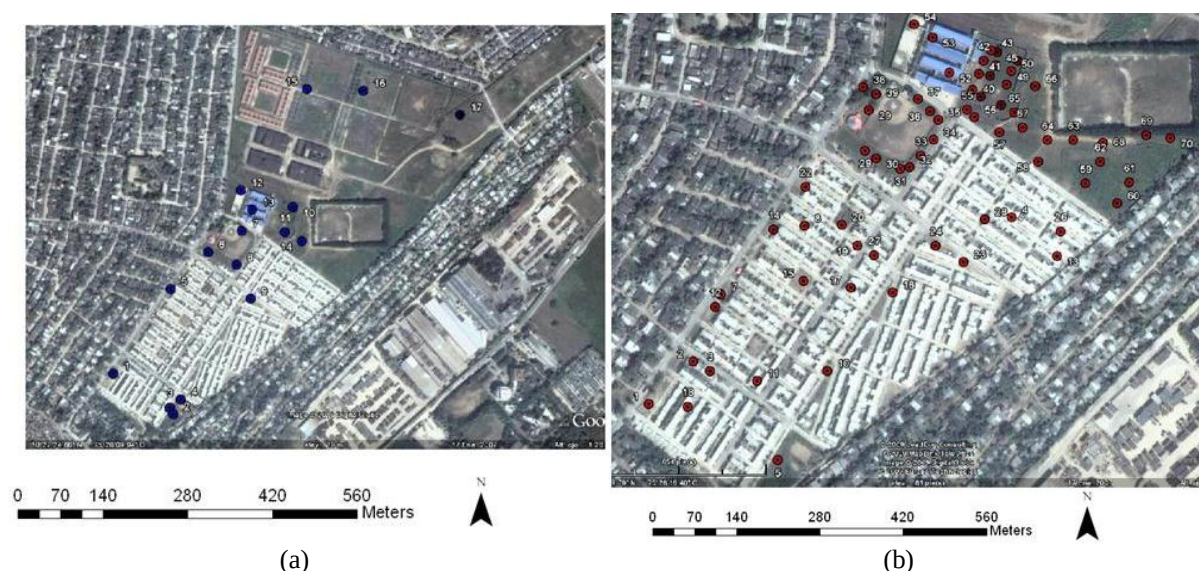


Figura 4.5. (a) Mapa con puntos preliminares de muestreo en suelos. (b) Mapa con indicación geográfica de los puntos de toma de muestras en el muestreo de suelos final

En este muestreo final de suelos, tanto en las zonas verdes comunes, como en los patios de las casas y las zonas verdes del colegio, se encontró basura y capas de recebo de casi 1 m de profundidad lo que dificultó en gran medida la toma de las muestras. Las profundidades variaron desde 50 cm hasta 100 cm, en la mayoría de puntos se realizó muestra compuesta, en el Anexo 7.3 se detallan los datos de los puntos de este muestreo. En la zona no se encontraron cultivos ni siembras de frutas o vegetales de consumo.

4.1.3.3 Muestreo de Aire

Como se mencionó en anteriores apartados, los puntos de muestreo aire fueron elegidos de acuerdo a la dirección de los vientos lugar. Los propietarios del lote Colombiaton permitieron instalar un muestreador pasivo en una de las bodegas, los demás muestreadores se instalaron de forma que se pudiera identificar si existía un gradiente de concentración de plaguicidas respecto a la distancia del lote Colombiaton.

4.1.3.3.1 Muestreo Activo de Aire

En la Figura 4.6 se muestran la ubicación de los puntos de muestreo con el muestreador activo de aire. El protocolo de calibración y las condiciones de uso del muestreador se muestran en el Anexo 7.6.

4.1.3.3.2 Muestreo Pasivo de Aire

Los muestreadores pasivos de aire se ubicaron en sitios donde la comunidad permitió instalarlos y se pudiera asegurar la integridad del muestreo en el lapso de tiempo requerido. En la Figura 4.6 se muestra la posición de los muestreadores pasivos de aire.

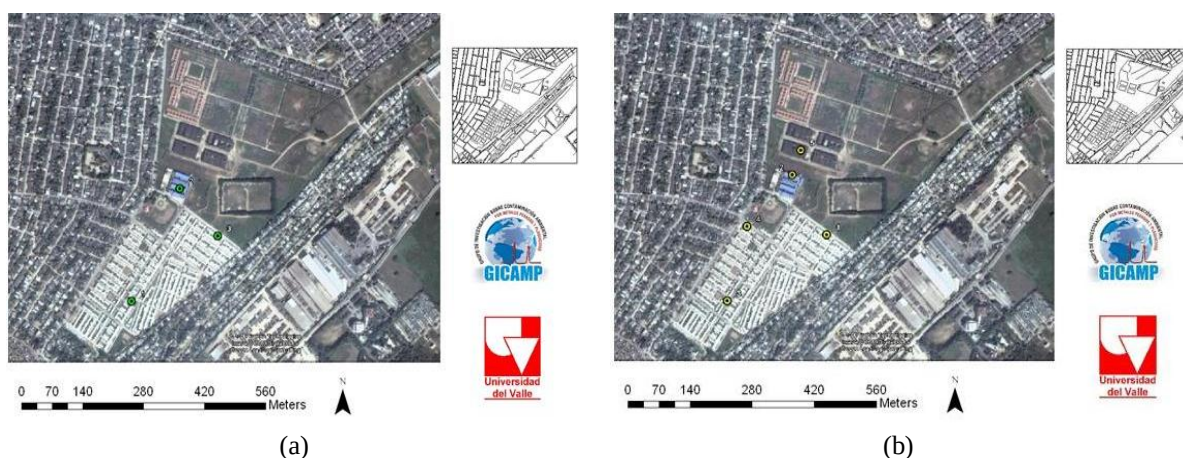


Figura 4.6 Descripción grafica de la posición de los muestreadores (a)Activos (b) Pasivos

A continuación se describe la posición, altura y características que posee cada punto de muestreo:

Punto 1

Como se puede observar, la ubicación del punto de muestreo permite evaluar si del área de confinamiento se están transportando plaguicidas en estado vapor hacia Ciudadela 2000 ya que los vientos irían en esa dirección. Hay que resaltar que la zona de confinamiento posee una barrera biológica de árboles, la altura a la cual se ubicó el dispositivo (2,5m), y la pendiente del lugar hacen que se pueda considerar como un buen receptor de los posibles contaminantes si se desplazan vía aérea.



Figura 4.7 Fotos descriptivas de la localización del punto 1 del muestreador de aire pasivo

Punto 2

Este dispositivo se localizó dentro de un aula de clase a 52,88m de una de las bodegas del lote Colombiaton. Entre estos dos puntos existe un muro de un metro cincuenta (1,5 m) que separa las dos instalaciones, altura a la cual se ubicó. Como se puede observar el muro del salón está construido con calados de ventilación y esta pared está orientada en dirección a la bodega siguiendo los vientos (Dirección al Norte). Este dispositivo permite evaluar la exposición y posibilidad de riesgo de los alumnos en las aulas de clase.



Figura 4.8 Fotos descriptivas de la localización del Punto2 del muestreador de aire pasivo dentro del aula de clase en el colegio Ciudadela 2000

Punto 3



Figura 4.9 Fotos descriptivas de la localización del Punto 3 del muestreador de aire pasivo

Este dispositivo fue localizado en la parte externa de una vivienda, localizada a 473,4 m de las bodegas de Colombiaton y a 417.4 m a la zona de confinamiento, está a 2.5 m respecto

al nivel 0,0 m de la casa. Su localización corresponde al punto más alejado de los seleccionados y está localizado siguiendo la dirección del viento.

Punto 4

Este muestreador se localizó en una bodega del Lote Colombiatón localizada frenal colegio a una distancia de 56,7 m, está cerca de un posible punto crítico donde hay una buena circulación de aire. La altura del artefacto es de 3,0 m respecto al nivel 0,0 m de la bodega.



Figura 4.10 Fotos descriptivas de la localización del Punto 4 del muestreador de aire pasivo dentro de una de las bodegas del lote Colombiaton

Punto 5

Este dispositivo permite tomar muestras de la calidad de aire del interior de una casa de Ciudadela 2000. La posición dentro de la sala de la casa permite la circulación del aire que entra desde la calle. En esta casa solo habita un adulto mayor, asegurando el menor riesgo de intervención.



Figura 4.11 Fotos descriptivas de la localización del Punto 5 del muestreador de aire pasivo al interior de la casa de un residente de la Ciudadela 2000.

Punto 6

El muestreador en la zona control fue ubicado en el techo de un colegio donde había muy buena aireación.



Figura 4.12 Fotos descriptivas de la localización del Punto 6 del muestreador de aire pasivo en la zona control.

4.1.4 Resultados de análisis de muestras enviadas al laboratorio SGS (Bélgica)

Los resultados del análisis de las 89 muestras enviadas al laboratorio SGS y los límites de detección reportados por el laboratorio se detallan en el Anexo 7.3. Los reportes mostraron presencia de plaguicidas en una muestra de aire activo y en una muestra de suelo como se ilustra en la Figura 4.13.

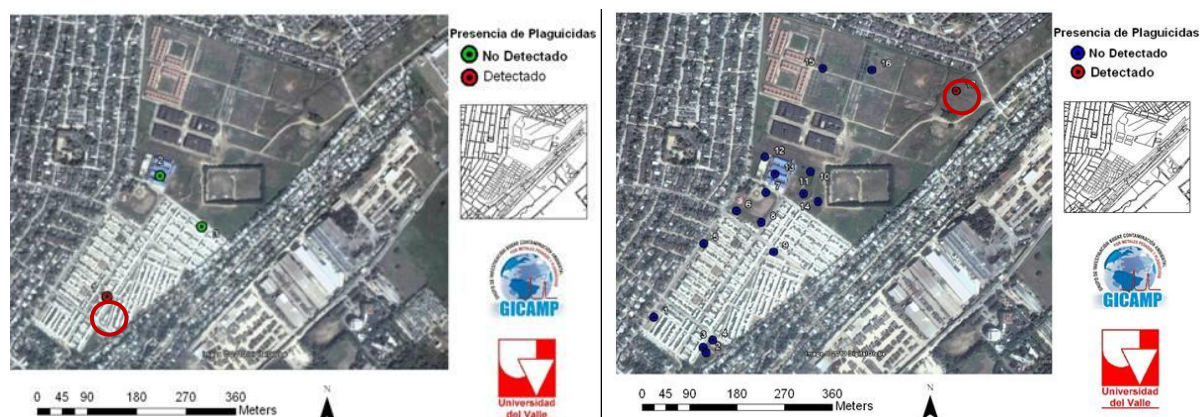


Figura 4.13 Mapa de presencia de plaguicidas en muestras de aire tomadas con muestreador activo y muestreo de suelo preliminar.

En la Tabla 4.5 se muestra la concentración reportada para la muestra de aire y en apartados posteriores se detallan los plaguicidas y las concentraciones encontradas en suelo.

Tabla 4.5 Muestra con presencia de plaguicidas tomadas con muestreador activo

Muestra	Plaguicida	Masa (µg)	Límite de detección (mg)	Concentración en aire (µg/l)	V total de aire (l)	Duración (días)	N	W
Activo 1	Clorpirifos-etil	21	20	6,85E-08	306577	1	10°22'15,78"	75°28'20,7"

Estos resultados indican que el aire evaluado tanto en el colegio, casas, vías y techos de la Ciudadela 2000, con los muestreadores pasivos por periodos de hasta tres meses y un monitoreo por 24 horas con muestreador activo, permitieron detectar la presencia del plaguicida Clorpirifos, plaguicida que se encuentra reportado como presente en el lote

Colombiatón según los estudios realizados en el 2005, pero también en la actualidad este mismo plaguicida del tipo insecticida, se aplica para el control de las hormigas y cualquier otro insecto en uso doméstico, de tal manera que no es concluyente el origen de su presencia.

Por otra parte el muestreo de aire realizado en el lote Colombiatón, considerada el área crítica, corresponde a una (1) evaluación con un muestreador pasivo y de un mes de evaluación por no conseguirse los permisos necesarios para instalarlo durante más tiempo, tampoco permitieron el muestreo con el muestreador activo, el cual funciona con un flujo de aire de mayor y podría haber dado mayor claridad si el aire sería una ruta de exposición.

En las muestras recolectadas con los muestreadores de aire pasivo y en el muestreo final de suelos no se reportó presencia de plaguicidas por encima de límite de detección, éstos resultados indican que los plaguicidas pueden estar presentes pero en concentraciones muy bajas (orden ppb ó ppt) para considerarse relevantes evaluación de riesgo en salud ambiental según la toxicidad de los mismos.

4.1.5 Resultados de muestras enviadas al laboratorio CDC (Atlanta)

4.1.5.1 Muestras de suero

Las muestras de sangre (suero) fueron procesadas en el Laboratorio de Dioxinas y Contaminantes Orgánicos Persistentes del CDC. Se anexan la carta remisoría del Dr. James Pirkle, Director Científico de la División de Ciencias de Laboratorio del Centro Nacional de Salud Ambiental en el CDC y el resumen de resultados con el documento llave de las variables (Anexo 7.2). Todas las muestras fueron calificadas como de calidad adecuada y ninguna fue rechazada por interferencias o no cumplimiento de los parámetros de control/aseguramiento de la calidad.

En las muestras de sangre se realizó el análisis de plaguicidas organoclorados, retirados de manera oficial del uso comercial en nuestro país. La Tabla 4.6 resume los datos de 100 muestras procesadas para cada uno de los 9 analitos y el total de resultados encontrados por encima del límite de detección.

Tabla 4.6 Resultados de procesamiento de muestras en sangre para detección de pesticidas en niños del barrio Ciudadela 2000

Analito	Porcentaje de muestras por debajo del límite de detección	Analito	Porcentaje de muestras por debajo del límite de detección
HCB	90%	op-DDT	100%
MIREX	98%	pp-DDE	0%
OXYCHLOR	94%	pp-DDT	75%
β -HCCH	99%	t-NONA	74%
γ -HCCH	98%		

De estos resultados se puede concluir que, exceptuando el metabolito pp-DDE, los analitos presentan concentraciones muy bajas que se reflejan en una muy alta proporción de concentraciones por debajo del límite de detección (LD) que es de alrededor a 24 ppt (partes por trillón) en todos los analitos. Los reportes del CDC incluyen valores para estas concentraciones por debajo del LD, pero cuando la proporción de estos registros excede el 60% de los datos, se considera en general poco preciso hacer medidas resumen o algún análisis con esos resultados. Las distribuciones de concentración de p,p-DDE en la zona expuesta y en la zona control se muestran en la Figura 4.14 (a).

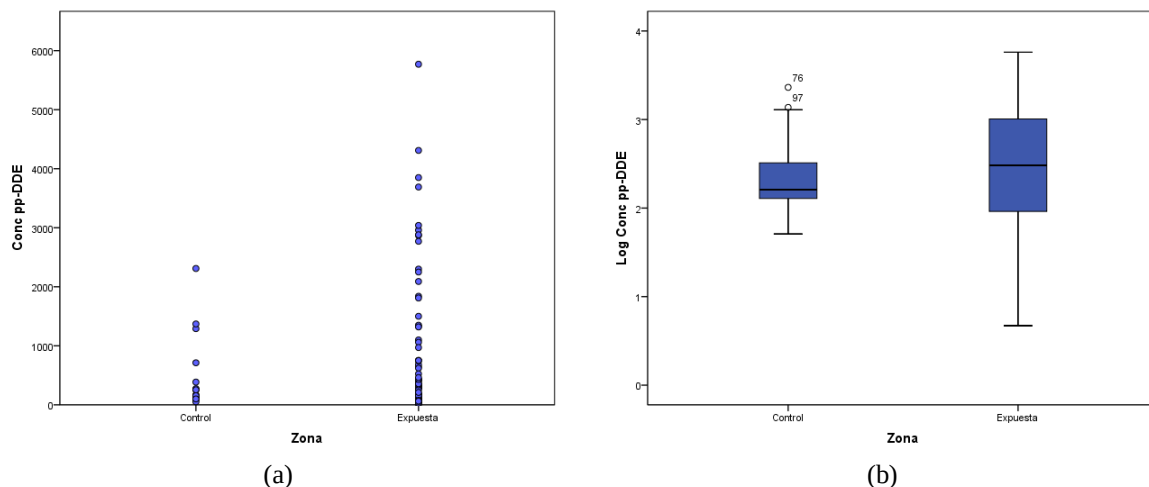


Figura 4.14 (a) Distribución de las concentraciones de pp-DDE (ng/g de lipido) en los grupos expuesto (n=80) y control (n=20). (b) Cajas y bigotes del logaritmo de las concentraciones de pp-DDE (ng/g de lipido) en los grupos expuesto y control

La mediana de pp-DDE en el grupo expuesto fue de 304.0 ng/g lipido (Rango intercuartil: 91.9 – 1015.5) mientras que en el grupo control fue de 161.5 (RIC: 128.5- 329.0). Estas distribuciones no son normales pero pueden normalizarse con una distribución logarítmica, que se representa en la Figura 4.14 (b).

La comparación entre estas dos distribuciones sin transformación normalizadora por pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis, $\alpha = 0.05$, y test de Dunn) o por aplicación de pruebas basadas en la distribución normal (prueba t) en la distribución transformada, lleva a la misma conclusión: no existen diferencias significativas entre los grupos expuesto y control. Esto puede entenderse ya que el pp-DDE encontrado es muy estable en el ambiente y se perpetúa en las cadenas alimenticias por largos periodos de tiempo (bioacumulable), lo que indica que existe exposición previa a ésta plaguicida, así mismo los resultados para los demás plaguicidas no mostraron diferencias significativas entre la zona expuesta y la zona control, por tanto pero no es adecuado relacionarlos con exposición directa a la contaminación del Lote Santa Elena. Es importante anotar que los resultados encontrados en el área de salud mostraron que no mostraron evidencia de compromiso de la función pulmonar ni síntomas de compromiso neurocomportamental [Ordoñez Betancourth, 2011].

4.1.5.2 Muestras de orina

En las muestras de orina se analizaron metabolitos de los pesticidas organofosforados, la presencia de éstos metabolitos indica exposición de la persona a los pesticidas. Los resultados reportados por el CDC para los metabolitos: Dimetilfosfato (DMP), Dietilfosfato (DEP), Dimetiltiofosfato (DMTP), Dimetilditiofosfato (DMDTP), Dietiltiofosfato (DETP), dietilditiofosfato (DEDTP) se muestran en el Anexo 2. A continuación se muestra el diagrama de caja y bigotes del total muestreado para los 6 analitos:

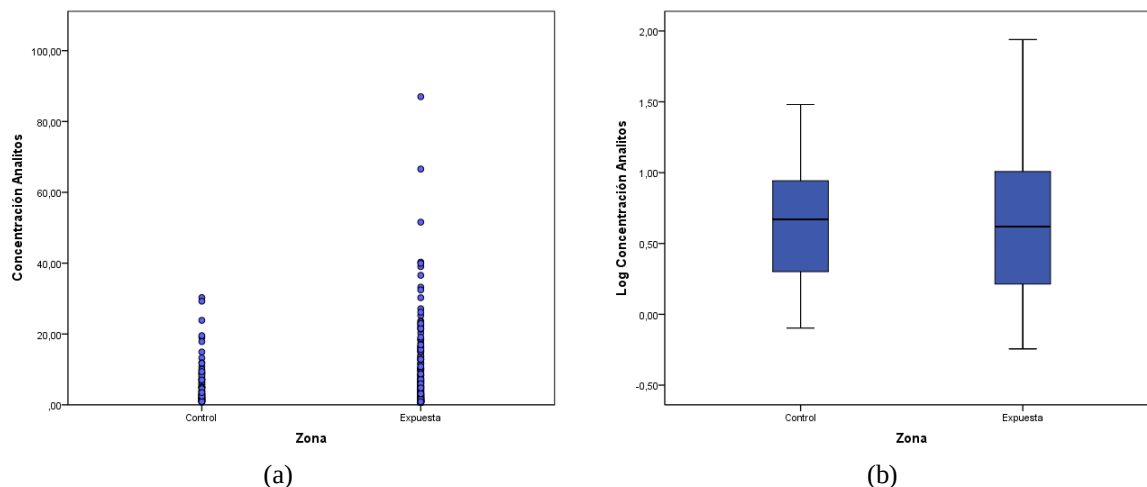


Figura 4.15 (a) Distribución de las concentraciones de DED, DEP, DMD, DMP, DMT, DTP en los grupos expuesto y control. (b) Cajas y bigotes del logaritmo de las concentraciones de DED, DEP, DMD, DMP, DMT, DTP (ng/g de lípido) en los grupos expuesto y control

Este diagrama muestra que en ambas zonas existe una exposición a organofosforados, pero que no existe una diferencia significativa entre la zona control y zona expuesta, por tanto la exposición puede deberse a la aplicación doméstica de éstos plaguicidas de uso común en la actualidad.

4.2 PASO II: EVALUACIÓN DE LOS DATOS -CONDICIONES DE ANÁLISIS

4.2.1 Preparación de soluciones patrón y extracción de plaguicidas de muestras de suelo

4.2.1.1 Extracción de muestras de suelo

Se logró implementar un método de extracción multiresiduo que permitió obtener todos los plaguicidas organoclorados y organofosforados de interés en un solo procedimiento, obteniendo porcentajes de recuperación aceptables como se muestra en la Tabla 4.15.

4.2.1.2 Patrón interno

El Trifluralin se eligió como patrón interno dado que presenta propiedades cromatográficas y de detección similares a los compuestos analizados, ya que pertenece a la familia de los plaguicidas organoclorados. Las muestras de suelo fueron analizadas antes de ser dopadas con el patrón interno, para verificar que este compuesto no se encontraba presente en la muestra; además según estudios previos a este se había determinado que este plaguicida no fue usado en el terreno estudiado.

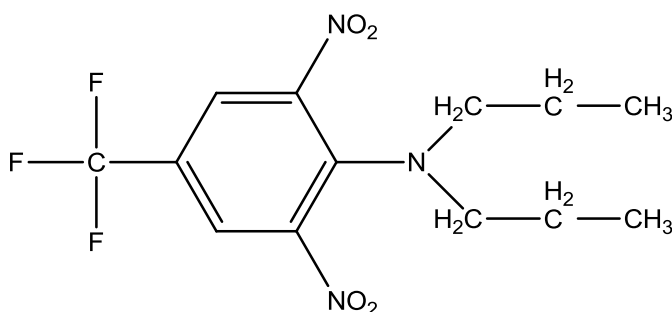


Figura 4.16 Plaguicida Trifluralin. Patrón Interno

4.2.2 Condiciones Cromatográficas

Después de varios ensayos que permitieran obtener condiciones de sensibilidad, reproducibilidad, resolución y tiempo aceptables se definieron las condiciones de análisis de que detallan en la Tabla 4.7

Tabla 4.7 Condiciones cromatográficas de análisis para los plaguicidas organoclorados y organofosforados de interés.

INYECTOR		COLUMNA			HORNO			DETECTOR		
Modo de inyección	T(°C)	Flujo (mL/min)	Tipo	Características	Rampa	°C/min	T(°C)	t (min)	Tipo	T(°C)
Splitless	250	1,8	HP-5	Largo:	Incial		80	2	ECD	300
				DI:	Rampa 1	30	180	2		
				Espesor:	Rampa 2	3	205	4		
					Rampa 3	20	290	7		

Estas condiciones muestran que se lograron la separación óptima y las condiciones de cuantificación adecuada para un grupo de **24** plaguicidas organoclorados y organofosforados en un tiempo de corrida de **31** minutos, que se considera un tiempo ideal para este tipo de análisis multiresiduos.

4.2.3 Validación Estadística del método cromatográfico

En este apartado se consignan los resultados y conclusiones más relevantes para el objetivo de este proyecto.

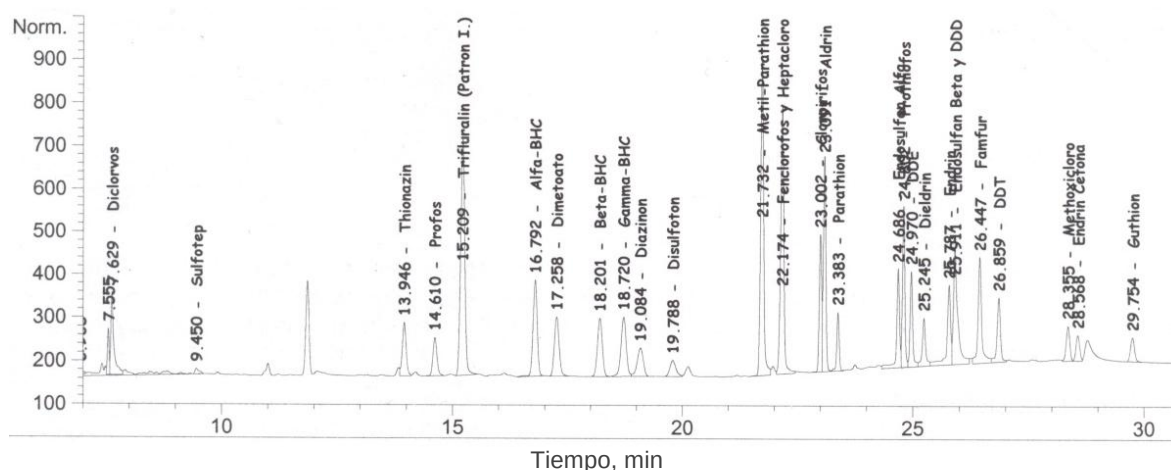


Figura 4.17 Cromatograma de la mezcla de plaguicidas organoclorados y organofosforados

4.2.3.1 Linealidad

De acuerdo a los resultados del análisis espacial realizado con datos reportados para el lote Colombiatón, que muestran la no homogenidad de la distribución de concentraciones de plaguicidas en la zona, se podrían esperar muestras con concentraciones en rangos muy variados, desde muy bajas (ppb) hasta concentraciones de orden mayor (ppm), así que se prepararon curvas de calibración para cada plaguicida organoclorado y organofosforado en tres rangos de concentraciones: bajo, medio y alto con el fin de cubrir el mayor rango posible de concentraciones que se pudieran encontrar. Con las curvas bajas se inyectaron concentraciones que en lo posible comenzaran con el límite de cuantificación de cada plaguicida y en las curvas altas se pretendía abarcar el rango de concentraciones más alto dentro del rango lineal previniendo concentraciones que pudieran saturar el CG-ECD. Debido a la diferente respuesta de sensibilidad que presente el equipo para cada plaguicida, estos se clasificaron en grupos de alta, intermedia y baja sensibilidad para el grupo de organoclorados y el grupo de organofosforados.

Tabla 4.8 Rango de curvas de calibración preparadas para los plaguicidas organoclorados y organofosforados

Tipo de Sensibilidad	Plaguicidas	Curva de Calibración	Rango (ppb)
Organoclorados			
Alta	Alfa-BHC, Gamma-BHC, DDE y Dieldrin	Baja	20-120
		Intermedia	100-1200
		Alta	1400-2400
Intermedia	Beta-BHC, Endosulfan Alfa, Endrin, DDT y Endrin Cetona	Baja	50-300
		Intermedia	300-1500
		Alta	1800-3300
Baja	Aldrin	Baja	50-300
		Intermedias	500-1500
		Baja	80-480
Baja	Metoxicloro	Intermedia	500-1800
		Alta	2000-4000

Tabla 4.8 Rango de curvas de calibración preparadas para los plaguicidas organoclorados y organofosforados (continuación)

Tipo de Sensibilidad	Plaguicidas	Curva de Calibración	Rango (ppb)
Organofosforados			
Alta	Clorpirifos, Protiofos, Famfur	Bajas	100-600
		Intermedias	1000-2000
		Altas	3000-8000
Intermedia	Diclorvos , Dimetoato, Metil Parathion	Bajas	400-1400
		Intermedias	1500-4000
		Altas	5000-10000
Baja	Gution, Sulforep, Thionazin, Profos, Diazinon, Disulfoton, Parathion	Bajas	800-1800
		Intermedias	1500-4000
		Altas	5000-10000

Como se observa en la Tabla 4.8, con el grupo de organoclorados fue posible realizar curvas de calibración con concentraciones mucho más bajas que la de los organofosforados, esto es debido a que el detector empleado (ECD) es específico para compuestos con elementos electronegativos, elementos que aparecen en gran medida en los organoclorados y no tanto en los organofosforados.

Para los plaguicidas en lista se lograron curvas de calibración con coeficientes de correlación al cuadrado (R^2) con valores mayores a 0.99. Los datos de las curvas de calibración se muestran en el Anexo 7.7. En la Figura 4.18 se muestran las curvas realizadas para el plaguicida DDE en los tres rangos.

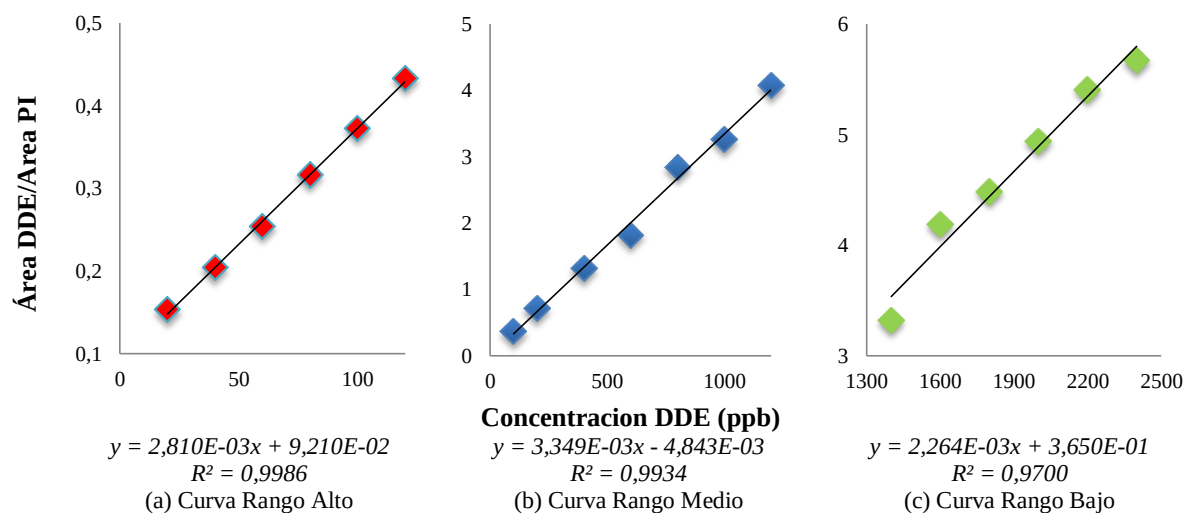


Figura 4.18 Curvas de calibración preparadas para el plaguicida DDE en rango: a) alto, b) medio y c) bajo

4.2.3.2 Selectividad

Las concentraciones de cada plaguicida elegidas para la prueba de selectividad se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Concentraciones de cada uno de los plaguicidas presentes en la solución para medir el parámetro selectividad

Grupo de pesticidas	Plaguicidas	Concentración (ppb)
OC	Alfa-BHC, DDE, Dieldrin y Gamma-BHC	600
	Aldrin, Beta-BHC, Endosulfan Alfa, Endrin, Endrin Cetona y DDT	900
	Metoxicloro	1200
OP	Protiofos, famfur, clorpirifos	1400
	Diclorvos, Sulfotep, Tionazin, Profos, Dimetoato, Diazinon, Disulfoton,	2500
	Metil-paration, Paration, Gution	

Con base en los cromatogramas se obtuvieron los tiempos de retención y el ancho de los picos de cada plaguicida organoclorado analizado, se calcularon la resolución, el factor de cola y el número de platos teóricos, que son los parámetros necesarios para determinar la selectividad en un método y se analizaron los valores obtenidos, de acuerdo con los criterios que se encuentran en la Tabla 4.9. En la Tabla 4.10 se muestran los valores obtenidos para el plaguicida DDE y la resolución respecto a los plaguicidas con los picos más cercanos en el cromatograma. Los datos y cálculos realizados para plaguicidas restantes así como los detalles de la estandarización se presentan en las investigaciones realizadas por Mondragón Erazo [2012] y Manquillo Castaño [2012], trabajo de grado del Programa de Química asociados a ésta investigación

Tabla 4.10 Valores para la cuantificación de la selectividad calculada para el plaguicida DDE

Inyección N°	Resolución entre Prothiofos y DDE	DDE		Resolución entre DDE y Dieldrin
		Factor de cola	N	
1	2,988	0,882	3124369,644	4,472
2	2,956	0,920	3059430,594	4,510
3	3,042	0,891	3102826,231	4,564
4	2,965	0,829	3136485,039	4,544
5	2,990	0,894	3137240,046	4,585
6	2,990	0,883	3093131,771	4,564
Promedio	2,989	0,883	3108913,888	4,540
SD	0,030	0,030	30120,263	0,042
%CV	1,002	3,386	0,969	0,921

El criterio de aceptación para cromatografía gaseosa establece un mínimo de 2000 platos teóricos; con los resultados obtenidos para cada uno de los plaguicidas se observa que todos los valores sobrepasan este valor, lo cual indica que el método es admisible y por lo tanto selectivo.

La resolución fue calculada para los picos más cercanos (ver orden de elución Figura 4.17), y los valores resultantes se encuentran por encima del criterio de aceptación el cual es 1,5 para este parámetro. A excepción del plaguicida Aldrin, que en concentraciones altas se solapa con el Clorpirifos, por ésta razón sólo se realizaron curvas en rango bajo e intermedio para el plaguicida Aldrin.

Los resultados del factor de cola de cada uno de los plaguicidas analizados indican que existe una buena tendencia al equilibrio de las moléculas entre la fase móvil y la fase

estacionaria, ya que todos los valores obtenidos se encuentran por debajo de 1,114 y por esta razón cumplen con el criterio de aceptación el cual establece que estos deben estar por debajo del valor de 2.

4.2.3.3 Precisión

Una vez realizados los ensayos mostrados en la Tabla 3.4, se evaluó la repetitividad calculando la varianza en el mismo día y la reproducibilidad evaluando la varianza entre diferentes días.

Tabla 4.11 Resultados de las inyecciones realizadas para evaluar la precisión.

Día	1	2	3	4	5	6
Test	Concentración (ppb)					
Blanco (1)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Blanco (2)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Solución Estándar Medio (1)	619,7	516,6	542,4	545,1	506,6	498,2
Solución Estándar Medio (2)	583,9	599,4	596,2	531,4	541,6	541,9
Promedio	601,8	558,0	569,3	538,2	524,1	520,0
Rangos de repetibilidad	35,8	82,8	53,7	13,7	35,0	43,7
Solución Estándar Alto (1)	2032,6	2042,9	1989,7	1871,7	1910,2	1875,2
Solución Estándar Alto (2)	1994,6	1993,7	1995,7	1783,7	1743,5	1801,1
Promedio	2013,6	2018,3	1992,7	1827,7	1826,8	1838,1
Rangos de repetibilidad	38,0	49,1	6,0	88,0	166,6	74,1
Muestra de suelo (1)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Muestra de suelo (2)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Muestra suelo + adición 1 (1)	290,5	267,9	268,7	279,5	259,1	269,9
Muestra suelo + adición 1 (2)	287,9	271,2	279,5	269,2	256,2	269,0
Promedio	289,2	269,6	274,1	274,4	257,7	269,5
Rangos de repetibilidad	2,7	3,3	10,8	10,3	2,9	0,9
Muestra suelo + adición 2 (1)	572,2	505,9	513,8	484,4	472,4	520,0
Muestra suelo + adición 2 (2)	535,7	523,1	554,9	566,1	523,0	492,8
Promedio	554,0	514,5	534,3	525,2	497,7	506,4
Rangos de repetibilidad	36,6	17,2	41,1	81,7	50,6	27,2

Se realizó la prueba de Cochran y la prueba de Grubbs para cada solución analizada en los 6 días y se encontró que no existían datos atípicos, ni datos dudosos, por lo tanto fue posible realizar el ANOVA de un factor con todos los datos garantizando que los datos obtenidos en los promedios de cada solución no afectan el resultado de las desviaciones estándar ponderadas. Con la herramienta estadística ANOVA de un factor evaluó la homocedasticidad de las varianzas empleando la prueba F de Fisher y se realizó de forma independiente para cada nivel de concentración; también se obtuvieron las desviaciones estándar ponderadas respectivas.

El análisis de la repetibilidad se realizó evaluando la variación dentro de muestras en el mismo día, mientras que el análisis de la reproducibilidad se hizo evaluando la variación entre días para los resultados de una misma muestra. Se compararon los límites de reproducibilidad y repetibilidad con t_{cri} al 95 % de confianza, las Tabla 4.12 y Tabla 4.13 indican los resultados para el plaguicida DDE.

Tabla 4.12 Resultados de la aceptabilidad para la reproducibilidad del plaguicida DDE

Muestra	Reproducibilidad S_R	Rango entre muestras	Límite de Reproducibilidad R	Decisión
Solución Estándar Medio	55,829	81,746	154,751	Cumple
Solución Estándar Alto	150,934	191,450	418,367	Cumple
Muestra suelo + adición 1	15,148	31,508	41,987	Cumple
Muestra suelo + adición 2	44,028	56,296	122,040	Cumple

Tabla 4.13 Resultados de la aceptabilidad para la repetitividad del plaguicida DDE

Muestra	Reproducibilidad S_R	Rango entre muestras	Límite de Reproducibilidad R	Decisión
Solución Estándar Medio	34,579	82,811	95,848	Cumple
Solución Estándar Alto	61,159	166,626	169,525	Cumple
Muestra suelo + adición 1	4,555	10,758	12,625	Cumple
Muestra suelo + adición 2	33,296	81,722	92,291	Cumple

Los resultados para cada uno de los plaguicidas organoclorados analizados, indican que son precisos; ya que, el dato obtenido para el rango entre muestras es menor que los límites de repetibilidad y reproducibilidad, respectivamente; de esta manera cumplen con los criterios de aceptación.

4.2.3.4 Exactitud

Las concentraciones de las soluciones estándares seleccionadas para la prueba de exactitud del plaguicida DDE así como los resultados de error se muestran en Tabla 4.14

Tabla 4.14 Porcentajes de error de las soluciones estándar medio y alto del DDE para medir el parámetro exactitud

	Estándar			
	Rango Medio(1)	Rango Medio (2)	Rango Alto(1)	Rango Alto(2)
Concentración (ppb)	750	750	2000	2000
$\bar{x}$	538,09	565,73	1953,71	1885,40
S	44,20	30,73	77,79	121,15
%E	28,25	24,57	2,31	5,73

La exactitud intra e interensayo expresada como error relativo porcentual (E%) debe estar comprendida entre $\pm 15\%$ del valor de la concentración teórica para las concentraciones baja, media y alta. Como se puede observar en los resultados, para el caso del plaguicida DDE en la concentración de rango medio el error supera el valor permitido, mientras que para el rango alto los valores de porcentaje de error están muy por debajo. Esto indica que para las concentraciones en rango alto el método es exacto, mientras que para las concentraciones en rango medio tal vez deban hacerse algunos ajustes para mejorar la exactitud.

4.2.3.5 Límite de detección y límite de cuantificación del método

Para el cálculo de los límites de detección y cuantificación se emplearon los datos de las curvas de calibración en rango bajo para cada plaguicida aplicados. En la Tabla 4.15 se muestran los resultados obtenidos para todo el grupo de plaguicidas analizados de: límite de

detección (LD), límite de cuantificación (LC), porcentaje de recuperación (%recuperación) y límite de detección del método (LDMet).

Tabla 4.15 Límites de detección y cuantificación del equipo, porcentajes de recuperación de muestras de suelo y límite de detección del método de análisis para plaguicidas organoclorados analizados en laboratorio GICAMP y límites de detección reportados por el laboratorio SGS.

Plaguicida	LD (µg/L)	LC (µg/L)	% Recup	LDMet (mg/Kg) GICAMP	LDMet (mg/Kg) SGS
Organoclorados					
Alfa-BHC	5,37	17,91	58,45	0,02	0,02
Beta-BHC	15,88	52,93	54,37	0,05	0,02
Gamma-BHC	6,74	22,47	50,56	0,02	0,02
Aldrin	29,90	99,66	60,59	0,08	0,02
DDE	7,82	26,08	54,62	0,02	0,02
DDT	36,51	121,69	55,61	0,11	0,02
Dieldrin	7,46	24,87	134,37	0,01	0,02
Endosulfan Alfa	29,41	98,03	63,57	0,08	0,05
Endrin	31,53	105,11	62,12	0,08	0,05
Endrin Cetona	56,88	189,59	100,07	0,09	0,05
Metoxicloro	26,75	89,18	80,01	0,06	0,02
Organofosforados					
Clorpirifos	36,27	120,90	97,90	0,06	0,10
Diazinon	231,85	772,84	93,28	0,41	0,05
Diclorvos	115,76	385,88	40,51	0,48	0,05
Dimetoato	70,58	235,25	42,77	0,27	0,05
Disulfoton	184,08	613,58	60,92	0,50	0,05
Famfur	21,43	71,45	58,71	0,06	-
Gution	241,59	805,29	85,29	0,47	0,50
M-Parathion	155,72	519,06	78,31	0,33	0,10
Parathion	288,49	961,63	75,70	0,64	0,10
Profos	241,44	804,80	75,75	0,53	0,10
Protiofos	43,00	143,35	95,16	0,08	0,10
Sulfotep	219,88	732,92	98,58	0,37	0,10
Thionazin	236,69	788,95	91,58	0,43	0,10

Los límites de detección alcanzados por son aceptables para un análisis multiresiduo y comparables con los reportados por el laboratorio certificado SGS en Bélgica (Anexo 7.3), sólo existen algunas diferencias significativas para los organofosforados, y esto se debe principalmente a la sensibilidad del equipo en relación con éste grupo de plaguicidas. Así mismo los resultados para el análisis de muestras de suelo son similares entre los dos laboratorios como se observa en la Tabla 4.16.

4.2.4 Hallazgos en muestras de suelo

A continuación se presenta un resumen de las concentraciones halladas para las muestras de suelo en las que se reportó concentraciones cuantificables de plaguicidas, para las demás muestras y plaguicidas analizados los resultados reportan concentraciones por debajo de los límites de detección (Anexo 7.3).

Tabla 4.16 Concentraciones encontradas en muestra de suelo del lote colombiatón para el plaguicida DDTy sus metabolitos

Muestra	N	W	Plaguicida encontrado	Concentración (mg/kg) GICAMP	Concentración (mg/kg) SGS
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	o,p'-DDD	*	0,066
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	o,p'-DDT	*	0,27
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	o,p'-DDE	*	0,028
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	p,p'-DDD	*	2,2
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	p,p'-DDT	4.41	10
17	10°22'34.2"	75°28'00,9"	p,p'-DDE	0.51	0,76

* Plaguicidas no estandarizados para cuantificación el laboratorio GICAMP

Las concentraciones halladas para el DDT y sus metabolitos son consistentes con los hallazgos previos reportados para el lote, ya que la ubicación geográfica de la muestra está identificada como un punto crítico (Ver Figura 4.4 y Figura 4.13). Las concentraciones encontradas de los plaguicidas DDD y DDE revelan una probable degradación del plaguicida DDT, aunque la concentración de éste último supera hasta por un orden de magnitud a sus productos de degradación, lo que refuerza la hipótesis de que en este terreno, la degradación de los pesticidas de forma natural durante las últimas décadas, **no es significativa**. Dado que el lote Colombiatón es propiedad privada y no se consiguieron los permisos para continuar con la evaluación, no fue posible tomar un número mayor de muestras que permitieran ilustrar el estado actual del lote, sin embargo con esta evidencia, es probable que aún se presenten altas concentraciones de plaguicidas en puntos críticos y se plantea que el terreno sigue en las condiciones de contaminación reportadas por el Ministerio en el año 2006 [MAVDT, 2006], es por esto que se realiza la **Evaluación de Riesgo** con los datos reportados con el MAVDT.

4.3 PASO III: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN-MODELO CONCEPTUAL

La Figura 4.19 muestra el desarrollo del modelo conceptual para el caso de estudio del lote Colombiatón. Se observa que es un caso de exposición tipo ON SITE. En este modelo conceptual se muestra que el medio contaminado asociado a las rutas de exposición es el suelo superficial, el medio aire se contamina a partir del medio suelo mediante mecanismos de erosión por el viento, volatilización, dispersión atmosférica y acumulación en espacios cerrados (viviendas). Por lo tanto, las rutas de exposición son las de contacto directo con el suelo contaminado mediante ingestión y contacto dérmico; inhalación de vapores e ingestión de verduras que se siembren o estén sembrados en la zona. Los receptores involucrados serían adultos y niños.

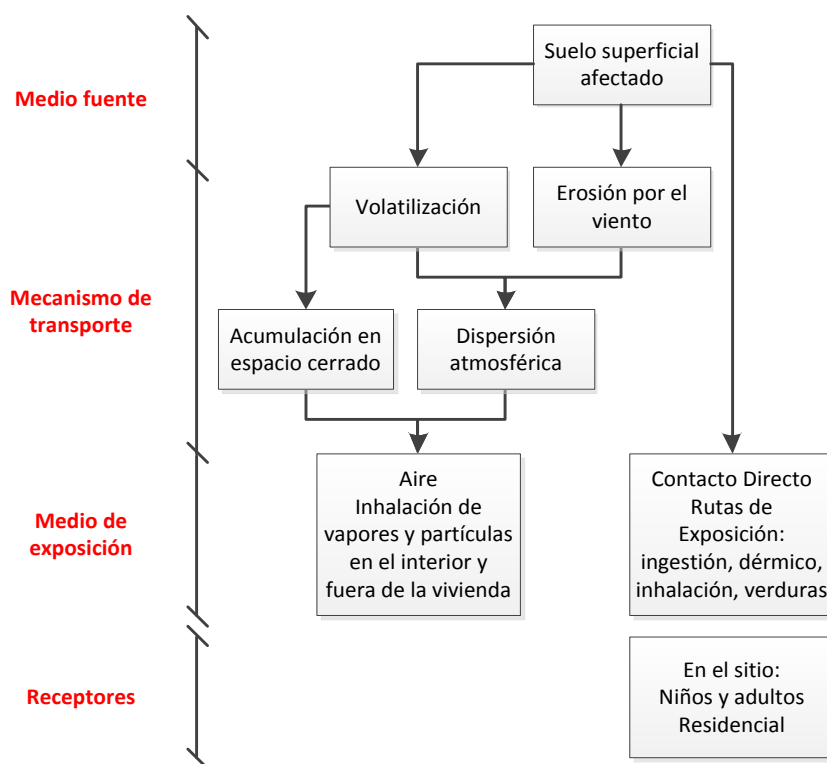


Figura 4.19 Modelo conceptual

4.4 PASO IV: EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD-MANEJO DE DATOS

Para un área de exposición dada, un punto crítico se definen como una subárea que causa el riesgo inaceptable para el área total de exposición [ODEQ, 1998]. De allí la importancia de ubicar y delimitar los punto crítico, ya que la limpieza de estas subáreas disminuyen el riesgo en el área total de exposición a niveles aceptables. Sin embargo, estudios de contaminación realizados revelan que la influencia del 95% UCL cuando existen punto crítico y se han realizado pocos puntos de muestreo en esta zona con respecto al área total, puede hacer este valor de concentración sea tan bajo que se alcancen valores de riesgo aceptables ($<10^{-5}$ para compuestos cancerígenos $0 < 1$ para compuestos no cancerígenos) [Sinha *et al.*, 2007], esto debido a que hay muchos menos valores con concentraciones altas comparado con concentraciones bajas, lo cual genera un efecto de dilución.

La matriz de datos seleccionada para algunos plaguicidas registraba valores ND, o sea no detectados (ND). Estos resultados ND indican que los plaguicidas, pueden tener concentraciones cercanas a cero o no fueron medidos por debajo de ciertos niveles o valores estadísticos instrumentales o de método, lo que indica que los compuestos no necesariamente no están presentes sino que sus concentraciones pueden estar justo por debajo de los límites de detección, y su valor se puede considerar diferentes o cercanos a cero.

Para la aplicación de los modelos, en los puntos donde aparecía ND, se registraron como la mitad del límite de detección como concentración. Solo en el caso del Malation no se aplica este caso y se usa una concentración de cero para dichos puntos, ya que solo se encontró en un solo punto y en concentraciones bastante bajas. Esto se hace siguiendo el capítulo 5 (Evaluación de datos) del manual de evaluación de riesgo para la salud humana de la EPA [EPA, 1989].

Los valores de límites de detección utilizados para el análisis fueron los reportados por el Laboratorio Microbiológico de Barranquilla, a excepción de los plaguicidas Diazinon y Metamidofos, que en el Concepto Técnico 886 aparecen valores de concentración menor que los límites de detección del Laboratorio Microbiológico y no aparecen los valores de los límites de detección, en estos casos fue empleado un cuarto del menor valor reportado (0.85/4 para diazinon y 0.027/4 para metamidofos). A continuación se listan los límites de detección utilizados para las evaluaciones de riesgo.

Tabla 4.17 Límites de detección utilizados para las evaluaciones de riesgo

Plaguicida	Límite de detección (mg/kg)	Plaguicida	Límite de detección (mg/kg)
Clorpirifos	0.019	Endrin Cetona	0.002
DDD	0.001	Malation	—
DDE	0.002	Metamidofos	—
DDT	0.002	Forato	0.038
Diazinon	—	Toxafeno	0.100
Endrin Aldehído	0.002		

Debido a la incertidumbre asociada con cualquier estimación de la concentración de exposición, se utiliza la concentración del Límite Superior de Confianza del 95% (95%UCL).

Dado que los datos que se emplearon para este trabajo no se ajustan a una distribución normal, ni es posible ajustar los datos a la normalidad mediante una transformación, para calcular el valor de concentración 95%UCL se utilizó el método estadístico Bootstrap, el cual es un método de re- muestreo no paramétrico. La idea central de este método es que dada una muestra aleatoria con n observaciones, dicha muestra es tratada como si fuera toda la población de la cual se extraen b muestras con reemplazamiento.

Para cada remuestreo se calcula el valor del estimador Bootstrap que utiliza para estimar la variabilidad muestral. Tal y como los estudios teóricos han demostrado, este enfoque proporciona una buena aproximación de la distribución de los estimadores, lo cual permite el cálculo de intervalos de confianza. Debido a que este procedimiento es bastante complejo se utilizan programas computacionales que permiten realizar estos cálculos. En este estudio se utilizó el programa R 2.7.2. En el Anexo 7.8 se muestran los comandos utilizados y los resultados arrojados por el programa.

En la Tabla 4.18 se presentan las concentraciones 95%UCL obtenidas.

Tabla 4.18 Concentraciones 95%UCL obtenidas para cada plaguicida.

.Plaguicida	Concentración 95%UCL (mg/kg)	Plaguicida	Concentración 95%UCL (mg/kg)
Forato	0,2409	Metamidofos	9,151
Diazinon	0,268	Toxafeno	9,457
DDT	20,680	Malathion	0,0033
DDE	1,925	Endrincetona	0,061
DDD	12,530	Endrinaldehido	0,0031
Clorpirifos	2,864		

4.5 PASO V: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO- EVALUACIÓN DE RIESGO (DATOS DEL AÑO 2005)

Como se ha mencionado en apartados anteriores, los datos de análisis de muestras tomadas en esta investigación no son idóneos para realizar una evaluación de riesgo en la zona de estudio ya que ninguna de las muestras arrojó concentraciones detectables, a excepción de una muestra de suelo en el lote Colombiatón, sin embargo con un solo punto no es posible predecir el riesgo en toda la zona, por tanto se realiza la evaluación de riesgo del lote Colombiatón con los datos del Concepto Técnico del Ministerio [MAVDT, 2006] soportada en la hipótesis de que las concentraciones no han variado en forma significativa en los últimos años y que los resultados de ésta evaluación de riesgo reflejan en estado actual del lote.

4.5.1 Aplicación de RISC 4.0

Este modelo permite una estimación de ambos posibles efectos adversos cancerígenos y no cancerígenos sobre la salud humana por diferentes rutas y vías de exposición [Di Sante *et al.*, 2009]. En el Anexo 7.9 se muestran los resultados arrojados por el programa RISC.

4.5.1.1 Evaluación de Riesgo Cancerígeno

En la Figura 4.20 se pueden observar los resultados para riesgo cancerígeno. A partir de las gráficas de barras se observa que existe un riesgo muy elevado tanto para el receptor niño como para el adulto (mucho mayor de 1×10^{-5}). El índice de riesgo sobre los receptores posibles del sitio indica que los niños son los receptores más sensibles en la caso de un escenario residencial en el lote Colombiatón.

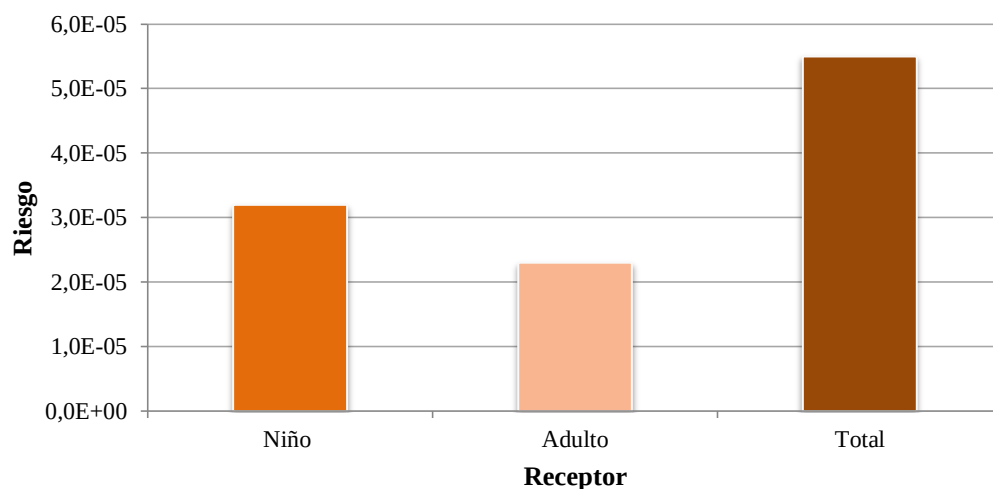


Figura 4.20 Riesgo cancerígeno por receptor

Por otra parte al evaluar el riesgo cancerígeno por vía de exposición, se encuentra que la vía que genera riesgo es la de ingestión de suelo (Figura 4.21). Estos resultados son evidentes pues los niños serían los receptores que en mayor probabilidad podrían tener contacto con el suelo y poder realizar una ingesta, por lo tanto esto limita a que en el lote no se deba construir en las condiciones actuales ningún tipo de vivienda

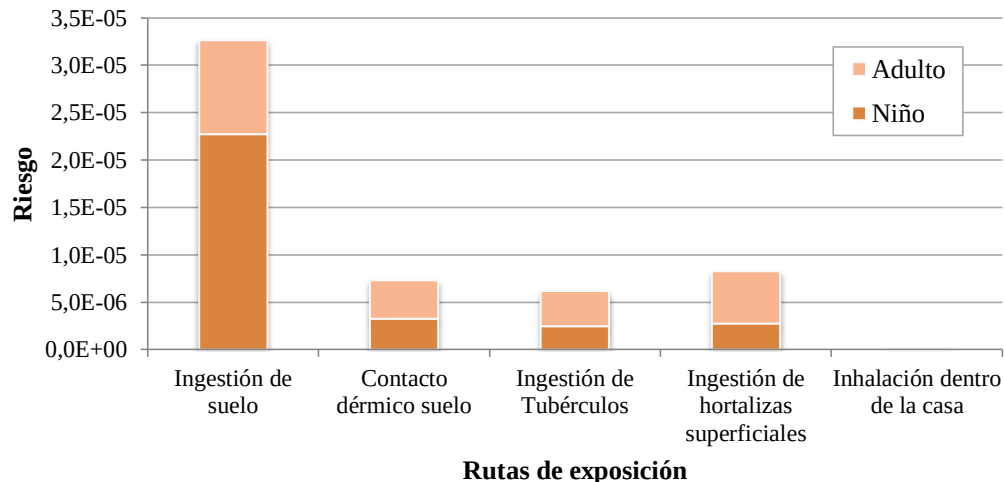


Figura 4.21 Riesgo cancerígeno por ruta de exposición.

De todos los plaguicidas evaluados, es el Toxafeno el compuesto que más aporta el riesgo (Figura 4.22). El toxafeno es un insecticida cuyo uso actualmente está prohibido en Estados Unidos, debido a que respirar, ingerir o tomar altos niveles de toxafeno puede dañar los pulmones, el sistema nervioso y los riñones y puede aun causar la muerte.

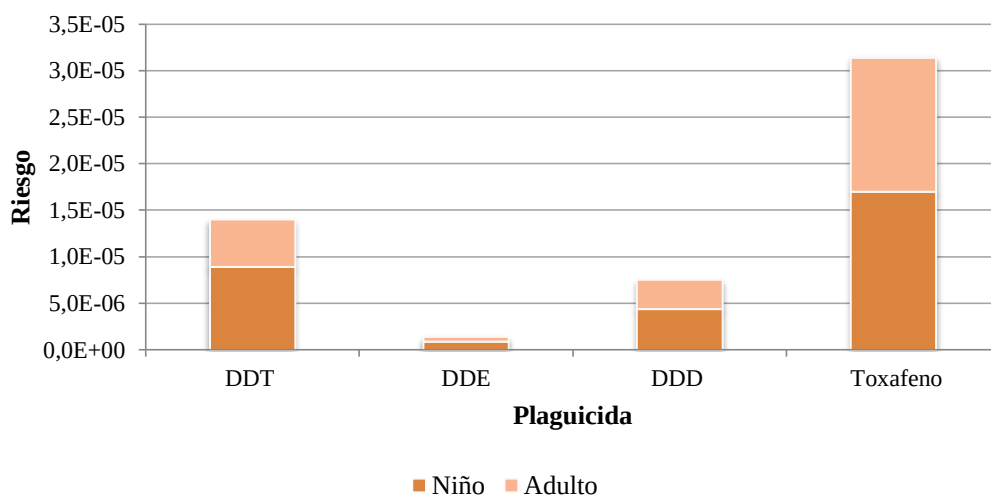


Figura 4.22 Riesgo cancerígeno por plaguicida para niño y adulto

4.5.1.2 Evaluación de Riesgo No Cancerígeno

Para el riesgo no cancerígeno los dos receptores presentan (adulto y niño) poseen índices de peligro muy elevados (mucho mayores de 1), siendo mayor el riesgo para el receptor niño (Figura 4.23).

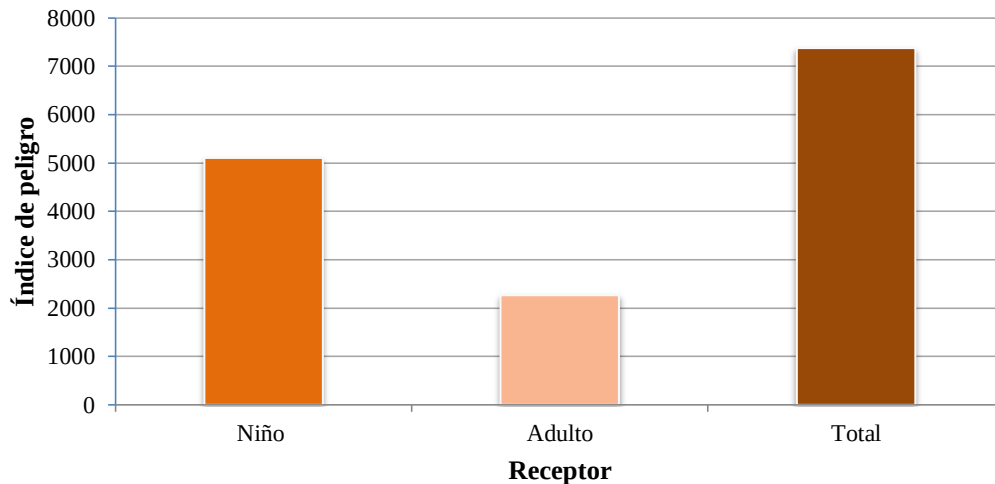


Figura 4.23 Efectos no cancerígenos. Índice de peligro por receptor

Los resultados muestran que las rutas que generan riesgo son la de ingestión de suelo, ingestión de tubérculos e ingestión de hortalizas superficiales, éstas dos últimas las rutas que más aportan al riesgo (Figura 4.24), resultados muy similares a los encontrados para los plaguicidas con efectos cancerígenos.

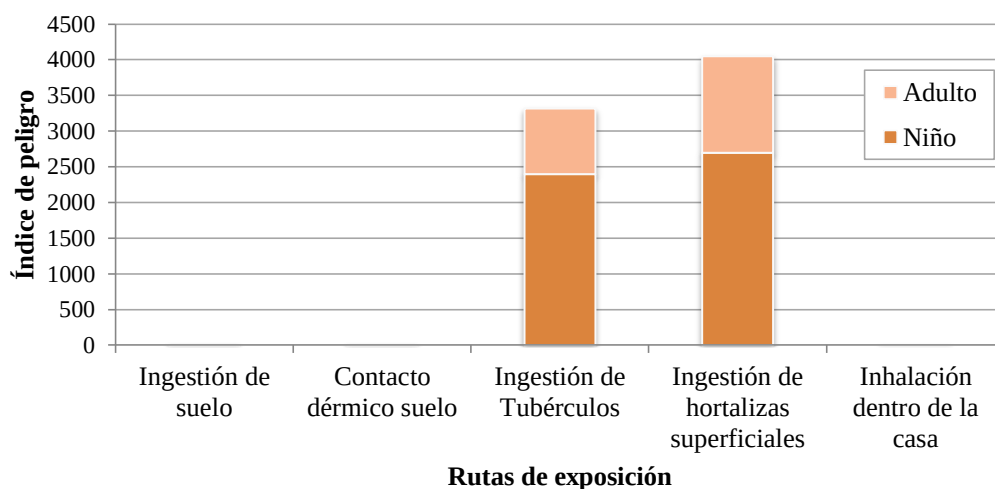


Figura 4.24 Efectos no cancerígenos. Índice de peligro por ruta de exposición

De los plaguicidas analizados con efectos no cancerígenos se observa que el plaguicida que contribuye al riesgo es el Metamidofos. El Forato tiene un índice de peligro mayor que uno por que también genera riesgo y el DDT aunque tiene un valor menor que uno, está muy cerca del valor mínimo para considerarse riesgosa la exposición. Los demás plaguicidas muestran valores de índice de peligro muy por debajo de uno.

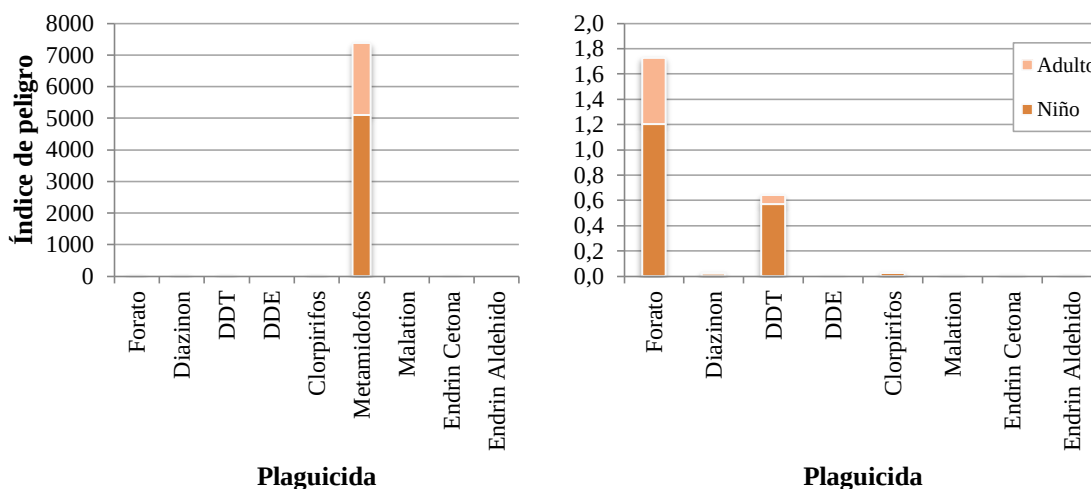


Figura 4.25 Efectos no cancerígenos. Índice de peligro por plaguicida

Examinando los valores modelados se puede concluir que la presencia del Metamidofos seguida por el Forato puede llegar a poner en riesgo la vida de los receptores considerados.

4.5.1.3 Niveles de Limpieza

Mediante cálculos hacia atrás se obtienen los niveles de limpieza confirmados por el programa RISC, estos resultados se presentan en la Tabla 4.19. Para los compuestos que no generan riesgo no se calculan niveles de limpieza. Es interesante resaltar que en aquellos compuestos que no generan riesgo pero que se encuentran en concentraciones muy elevadas en algunas zonas críticas, también se deben limpiar, ya que se encuentran en zonas muy puntuales lo que hace que la concentración 95%UCL crea un efecto de dilución por la gran cantidad de puntos donde no fue detectado, pero es evidente el gran riesgo por la presencia de los contaminantes en las zonas de altas concentraciones.

Tabla 4.19 Niveles de limpieza a que se deben llevar las concentraciones de los diferentes contaminantes

Plaguicida	Concentración de limpieza (mg/kg)	Concentración 95%UCL (mg/kg)
Forato	0,095	0,2409
Diazinon	0,268	0,268
DDT	0,0066	20,680
DDE	1,925	1,925
DDD	12,53	12,530
Clorpirifos	2,864	2,864
Metamidofos	0,0008	9,151
Toxafeno	2,200	9,457
Malathion	0,0033	0,0033
Endrinetona	0,061	0,061
Endrinaldehído	0,0031	0,0031

En el Anexo 7.5 donde se muestra la distribución espacial de los plaguicidas en el Lote Colombiatón, se observa que la distribución del Clorpirifos coincide con la distribución general de los plaguicidas Diazinon, Metamidofos, Endrin Aldehído, Forato y el Malation, en tres puntos específicos que merecen especial atención para cualquier intento de limpieza del lote. Para los plaguicidas de la familia del DDT al igual que para el Toxafeno, las concentraciones se encuentran distribuidas por la mayor parte del lote, con zonas de concentraciones muy altas (mayores de 200 ppm). Es preciso a anotar que el Toxafeno es un plaguicida para seguirlo con gran cuidado debido a su toxicidad y características de sinergismo donde la exposición combinada de organoclorados y organofosforados potencia los efectos de los primeros. El valor de limpieza calculado para el Toxafeno es de 2,2 ppm.

4.5.2 Aplicación de SADA 5.0

Los Mapas de Riesgo generados por SADA en este estudio están descritos para un escenario residencial y receptor adulto, el modelo SADA permite ubicar los puntos de riesgo donde la presencia de contaminantes hace que el lote deba ser considerado como un lugar potencialmente de riesgo cancerígeno si se diera la opción de ingestión de suelo superficial para un receptor adulto, especificándose claramente esta como una de las posibles rutas de contaminación.

4.5.2.1 Riesgo Cancerígeno

En la Figura 4.26 se registra el riesgo cancerígeno del Lote Colombiaton, el modelo SADA nos permite ubicar los puntos de riesgo donde la presencia de contaminantes hace que el lote deba ser considerado como un lugar potencialmente de riesgo cancerígeno si se diera la opción de ingestión de suelo superficial para un receptor adulto, especificándose claramente ésta como una de las posibles rutas de contaminación.

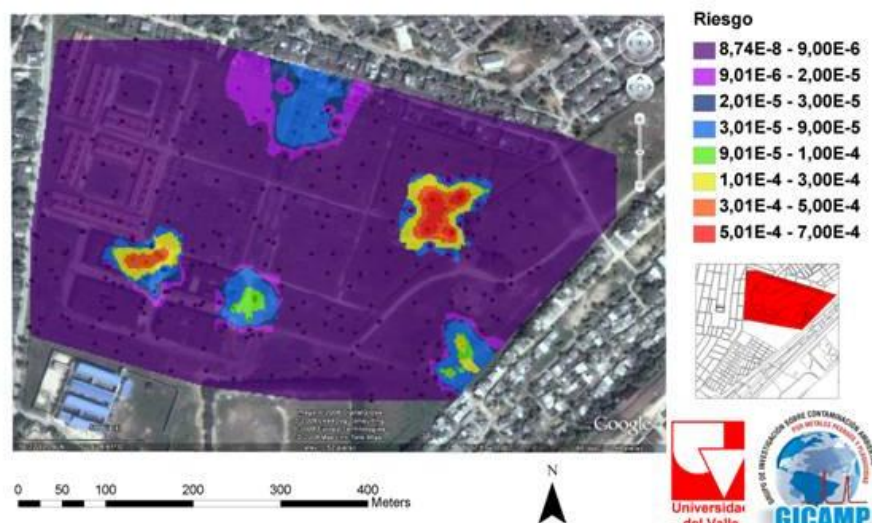


Figura 4.26 Mapa de riesgo cancerígeno por ingestión de suelo

El mapa de la Figura 4.27 registra dos puntos críticos donde se expresa claramente que el riesgo que puede tener un receptor adulto si de alguna manera puede tener contacto directo con el suelo superficial (dérmico), siendo pues esta una ruta de contaminación que puede generar riesgo cancerígeno.

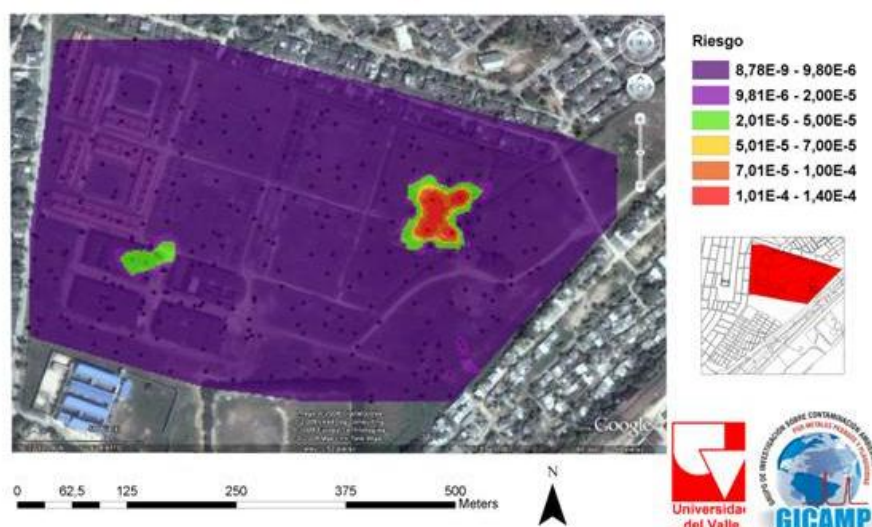


Figura 4.27 Mapa de riesgo cancerígeno por contacto dérmico

El mapa de la Figura 4.28 se muestra el resultado para la evaluación de la inhalación como una de las posibles rutas de riesgo cancerígeno, se observa que esta sería la ruta menos probable para generar éste tipo de riesgo. A pesar de que no todos los compuestos tienen constantes de la ley de Henry bajas, hecho que haría pensar que los procesos de evaporación fueran bajos se cree que una de las razones por la que esta no sea una ruta de riesgo es debido a que los suelos del lote han sido recubiertos con capas de hasta un metro o más en algunas zonas de material de recebo que evita que la transferencia de las temperaturas neutralice o aminore los procesos de volatilización.

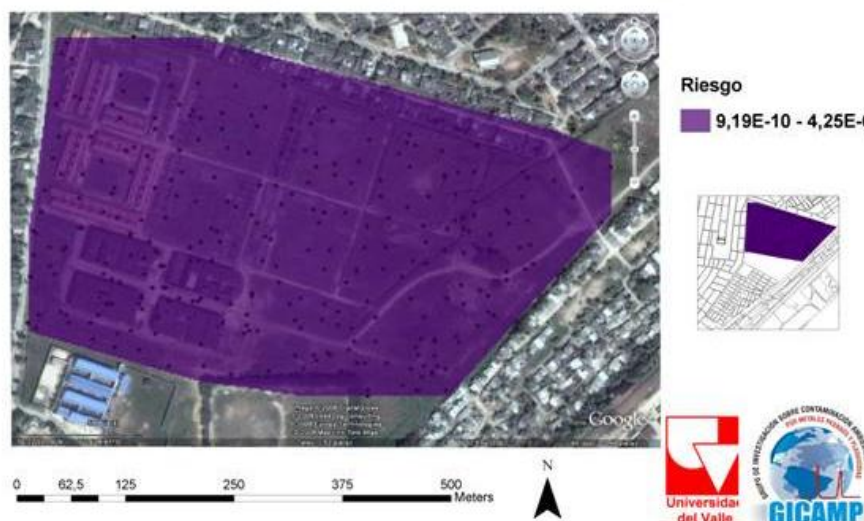


Figura 4.28 Mapa de riesgo cancerígeno por inhalación



Figura 4.29 Mapa de riesgo cancerígeno por ingesta de verduras

Por otra parte la evaluación para usos del terreno muestra que el cultivo de cualquier tipo de verduras sería una de las rutas más críticas para generar riesgo de cáncer. Esta vía como se

demuestra en el mapa de la Figura 4.29, prácticamente no ubica un solo punto sino que indica que el lote en su totalidad no es apto para cultivos de verduras por su elevado riesgo.

En general cuando se realizó la evaluación de **riesgo cancerígeno total** del lote, se obtuvo un mapa donde el lote en su condición actual o al menos con los datos tomados como matriz de evaluación, presenta un alto riesgo de ser una fuente de riesgo cancerígeno, lo cual implica que se hace necesaria una intervención que permita las concentraciones en el lote dirigida a un proceso de limpieza.



Figura 4.30 Mapa de riesgo cancerígeno total

4.5.2.2 Evaluación de riesgo no cancerígeno. Índice de Peligro

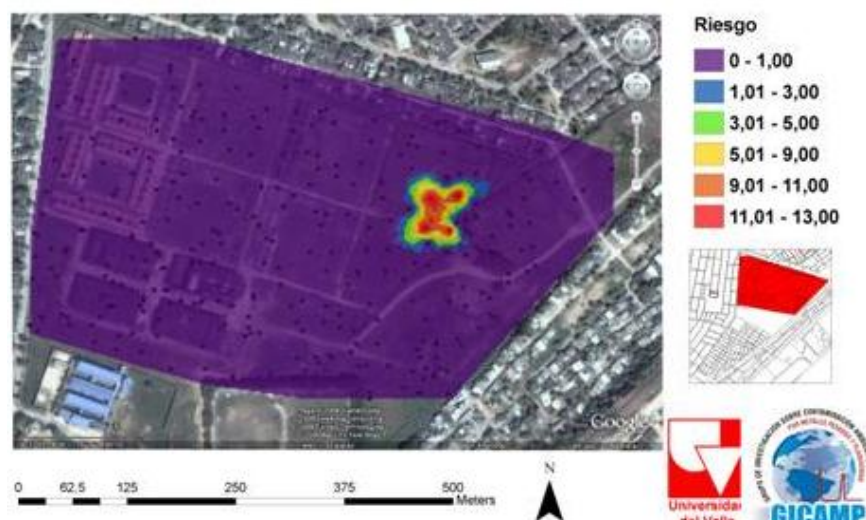


Figura 4.31 Mapa de riesgo no cancerígeno por ingestión de suelo

La Figura 4.31 presenta el mapa de la evaluación no cancerígeno por ingestión de suelo. Se puede observar que se ubica una zona puntual de alto riesgo, comprobándose una vez más que la ingestión de suelo superficial es una de las rutas de mayor riesgo para las personas que puedan estar expuestas a la zona de estudio.

El riesgo por contacto dérmico se confirma como otra de las posibles rutas de riesgo, como se puede visualizar en el mapa de la Figura 4.32, aun cuando se evalúa solamente el nivel de peligro de los contaminantes no cancerígenos.

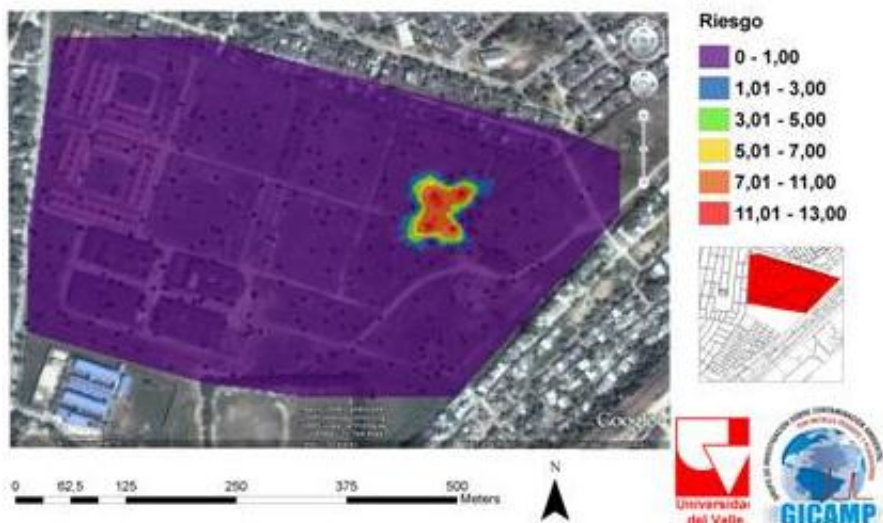


Figura 4.32 Mapa de riesgo no cancerígeno por contacto dérmico de suelo



Figura 4.33 Mapa de riesgo no cancerígeno por inhalación de vapores

En los resultados para la ruta por inhalación de vapores, se confirma que no es una ruta de riesgo aun para los no cancerígenos (Figura 4.33) lo que nos confirma que las

características geomorfológicas de los suelos son las características que permiten la poca volatilización de los compuestos.

El mapa de la Figura 4.34, cómo se vio para el riesgo cancerígeno, presenta un lote en el cual existe riesgo cuando la ruta es la ingestión de vegetales, esto confirma que este lote no es apto para realizar ningún tipo de siembra.



Figura 4.34 Mapa de riesgo no cancerígeno por ingestión de vegetales

Al realizarse la evaluación de riesgo total para riesgo no cancerígeno, los resultados nos llevan a concluir que el lote como tal presenta un alto riesgo tanto cancerígeno como no cancerígeno.



Figura 4.35 Mapa de riesgo no cancerígeno total

4.5.2.3 Evaluación de riesgo para posibles usos que se le quieran dar al lote Colombiaton

Además de las evaluaciones de uso ya presentadas, se realizaron cálculos para otros posibles escenarios de uso del Lote Colombiatón, a continuación se resumen los resultados encontrados (Anexo 7.10).

Tipo de Riesgo	Posible Uso del Lote	Vía de Exposición	Plaguicida que aporta
<i>Cancerígeno</i>	Residencial	Ingestión de Vegetales	Todos los plaguicidas cancerígenos
	Agricultura	Contacto Dérmico Ingestión de Vegetales	
	Industrial	Ingestión suelo Contacto Dérmico de Suelo	Mayor aporte: DDD, DDT y Toxafeno
	Recreacional	Ingestión de Suelo	
<i>No Cancerígeno</i>	Residencial	Ingestión de Suelo Contacto Dérmico Ingestión de Vegetales	Todos los plaguicidas cancerígenos
	Industrial	Ingestión suelo Contacto Dérmico	Mayor aporte: Metamidofos
	Recreacional	Ingestión de Suelo	
	Agricultura	Ingestión de Suelo Contacto Dérmico Ingestión de Vegetales	Todos los plaguicidas cancerígenos
	Excavación	Suma Ingestión de Suelo e Inhalación de Vapores	

El lote en las condiciones que presenta respecto a los datos evaluados, no es apto para uso residencial, agrícola, industria, recreacional y para excavaciones de construcción.

4.5.3 Análisis de resultados evaluación de riesgo

El efecto en salud de los plaguicidas depende de la duración de la exposición y de la dosis alcanzada. Un aspecto a tener en cuenta en los enterramientos de plaguicidas es que usualmente contienen plaguicidas obsoletos [Davies, 1984]. Para el caso de la situación del lote Santa Elena en Cartagena de Indias, la exposición de la población está dada por la vecindad a un enterramiento de plaguicidas.

Teniendo en cuenta que las rutas de exposición son la forma en que un agente (plaguicidas) se traslada desde su fuente hasta el ser humano [EPA, 2007b], para el caso de los plaguicidas enterrados, las rutas de exposición serían las siguientes: 1) del sitio de enterramiento al suelo superficial y 2) aire, vía volatilización de estas sustancias desde el suelo superficial o las aguas superficiales. Estas rutas de exposición configuran vías de exposición, es decir, las formas en que un agente ingresa al ser humano que en este caso serían: piel, ingestión e inhalación.

Por tal motivo, los plaguicidas enterrados generan exposiciones agregadas debido a las múltiples rutas de exposición. Además, se da acumulación de la exposición ya que, en general, los enterramientos contienen muchas sustancias que comparten mecanismos de toxicidad.

Con base en los resultados obtenidos podemos realizar un análisis detallados sobre cómo los diferentes compartimentos ambientales están interaccionando.

4.5.3.1 Evaluación de Riesgo Barrio Ciudadela 2000

Si se revisan las características encontradas en los suelos del barrio Ciudadela 2000, éstos se pueden describir como suelos que han sido disturbados por una gran cantidad de relleno o recebo que ha sido depositado sobre el suelo original. De tal manera que el suelo superficial es material rocoso y aparentemente no pertenece al suelo original. Para poder alcanzar el suelo original en algunos puntos la profundidad alcanzada fue de más de un metro.

En las muestras no se encontró contaminación superior a los límites de cuantificación y además el recebo actúa como una barrera aislante o lentejón, de tal manera que el compartimento aire no se ve comprometido “on-site”, así que se puede decir que no hay riesgo para los habitantes de la ciudadela 2000 directamente por el suelo en el cual está construida.

4.5.3.2 Evaluación de Riesgo Lote Colombiatón con los datos del año 2006

Después de realizar la evaluación de riesgo a este lote con los datos reportados del 2006, se puede concluir que si hay riesgo “on-site”, puesto que los valores reportados indican concentraciones altas de los plaguicidas e igualmente valores de riesgo significativamente altos, de tal manera que existe riesgo mediante la ruta de Ingestión de suelo, el Contacto

dérmico con el suelo e Ingestión de verduras en caso de realizar cultivos, por lo tanto sería contraproducente habitar el lote o darle cualquier tipo de uso bajo las condiciones actuales. Este lote presenta dos zonas claras, una con material aislante o lentejón posiblemente depositado durante la construcción del barrio Colombiatón y otra sin él, pero en este caso el recebo aunque puede actuar como aislante, es recomendable realizar una remediación.

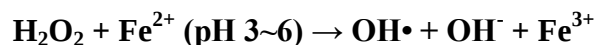
4.5.3.3 Evaluación de Riesgo Lote Colombiatón con datos actuales

En este estudio solo se pudo realizar un muestreo preliminar de suelos, debido a inconvenientes de tipo administrativo con los propietarios del lote logística solo se pudieron recoger tres muestras y una de ellas presentó residualidad de los compuestos de la familia del DDT. Aunque hay presencia de los DDT's, debido al poco número de muestras, no se puede concluir si hay riesgo. Este resultado está de acuerdo con el hecho del que los plaguicidas hallados pertenecen a una de las familias de contaminantes más persistentes como son los: o,p'-DDD, o,p'-DDT, o,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT y p,p'-DDE, así que no es extraño después de tantos años encontrar el plaguicida original DDT (sin degradación significativa) y en menor concentración sus derivados DDD Y DDE, indicadores de que el proceso degradativo está en curso pero que para que ellos desaparezcan de un modo natural debe pasar un gran número de años. Por lo que se debe plantear procesos de recuperación de suelos de manera rápida. Por otra parte en cuanto a la matriz aire, el lote Colombiatón no se pudo evaluar durante un tiempo significativo y en esa muestra no se reportó presencia de contaminantes por encima del límite de detección.

4.5.3.4 Propuesta de Limpieza de Suelos

Conocidos los resultados de la evaluación de riesgo que concluyen en una remediación inmediata del lote Colombiatón, se sugiere realizar el proceso de remediación química con el método de oxidación química “in situ” conocido como Fenton, que usa peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como reactivo base; otras alternativas de remediación como lavado del suelo, extracción del vapor, biotratamiento e incineración, no son recomendables debido al tamaño del área y a que los plaguicidas se encuentran a metros de profundidad de la superficie.

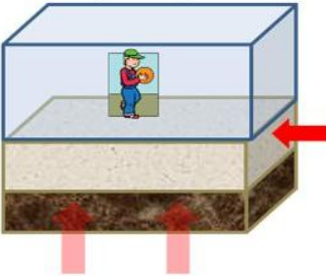
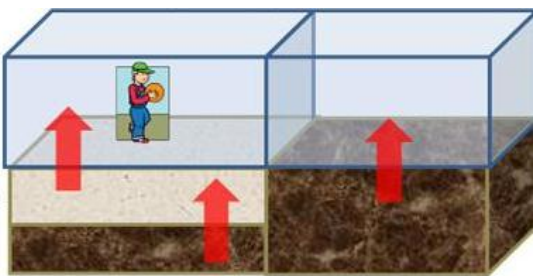
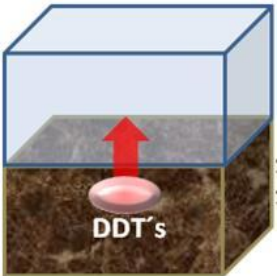
El método Fenton consiste en aplicar peróxido sobre el suelo contaminado y se espera que los contaminantes orgánicos sean transformados en CO_2 y H_2O como se muestra a continuación:



Para que este proceso conlleve a una remediación exitosa, se deben conocer y ajustar diferentes condiciones que pueden afectar el proceso entre ellas: la relación de H_2O_2 y la cantidad de contaminante, el efecto de la concentración de H_2O_2 , características del suelo como disponibilidad de Fe (actúa como catalizador), contenido orgánico (no es selectivo,

puede ocurrir competencia), capacidad buffer (debe hacerse a pH controlado)-, el tiempo de reacción y el efecto del tipo del contaminante. Aunque parece complejo, este procedimiento se ha aplicado de manera efectiva sobre suelos contaminados con plaguicidas [Dalla Villa y Pupo Nogueira, 2006] y comparado a las tecnologías actualmente usadas, el proceso ofrece las ventajas relacionadas con la simplicidad, el costo, y la gama de la eficacia así que se sugiere estudiarlo para la remediación del lote Colombiatón.

4.5.3.5 Panorama general

Zona	Descripción gráfica	Característica	Riesgo
Ciudadela 2000 Colegio Cancha de Beisbol		Material de Recebo	No hay riesgo ON SITE
Lote Colombiatón (Datos 2005)	 (a) (b)	(a) Material de Recebo (b) Contacto directo suelo	Riesgo ON SITE
Lote Colombiatón (Datos actuales)		Contacto directo suelo	No es posible definir si hay riesgo

Evaluando los diagramas de compartimentos ambientales y la posible influencia entre ellos se puede determinar que el suelo del lote Colombiatón como única fuente de riesgo offsite para los habitantes del Barrio Ciudadela 2000, no representa un riesgo debido a que no tienen contacto directo en este momento, y este contacto se debe seguir evitando.

La matriz agua no fue evaluada, ni la superficial ni la subterránea, ya que se supone que los habitantes del barrio no se abastecen de esta agua. Premisa que solo se cumple en este caso

y hay que tener en cuenta que las aguas subterráneas pueden migrar hacia la ciénaga de la virgen.

El aire evaluado tanto en el colegio, casas, vías y techos de la Ciudadela 2000, con los muestreadores pasivos por periodos de hasta tres meses y un monitoreo por 24 horas con muestreador activo, permitieron detectar la presencia del plaguicida Clorpirifos, plaguicida que se encuentra reportado como presente en el lote Colombiatón según los estudios realizados en el 2005, pero también en la actualidad este mismo plaguicida del tipo insecticida, se aplica para el control de las hormigas y cualquier otro insecto, de tal manera que no es concluyente el origen de su presencia.

El muestreo de aire realizado en el lote Colombiatón solamente corresponde a una evaluación con un muestreador pasivo y de un mes de evaluación, lastimosamente no se pudo verificar con el muestreador activo, el cual funciona con un flujo de aire de mayor y podría haber dado mayor claridad si el aire sería una ruta de exposición.

5 CONCLUSIONES

- El lote Colombiatón en las condiciones que presenta respecto a los datos evaluados, no es apto para uso residencial, agrícola, industria, recreacional y para excavaciones de construcción. Por lo que se recomienda su remediación antes de iniciar cualquier tipo de proyecto.
- Según los datos encontrados los habitantes de Ciudadela 2000 y estudiantes y personal de Colegio Ciudadela 2000 no se encuentran expuestos “ON SITE” a pesticidas por ingestión de suelos e inhalación de aire ya que no se encontró presencia de pesticidas en la zona, además se encontró una capa de recebo en el suelo que al parecer actúa como barrera evitando una exposición directa.
- Se detectó la presencia del plaguicida toxafeno y la familia de los organoclorados del DDT en un área extendida del lote, lo que indica que es necesario no solo prestar atención a las zonas críticas sino al lote en su totalidad.
- De la evaluación de riesgo cancerígeno y no cancerígeno totales del lote Colombiatón se puede concluir que existen de valores de riesgo significativamente altos y no permiten pensar en utilizar el lote de estudio en el estado en que se encuentra actualmente
- Se encontró que la ingestión de verduras constituye una vía de exposición de alto riesgo, por lo que se debe evitar sembrar cultivos comestibles en la zona de Colombiaton.
- Debido a que en este momento las únicas personas que habitan el lote son los vigilantes que realizan su labor a diario en el sitio, estas son las personas que en este momento están expuestas a un riesgo alto por lo que se recomienda que se tomen las medidas necesarias para la protección de este personal.
- El lote Colombiatón puede ser una fuente de riesgo “OFF SITE” para los residentes en Ciudadela 2000, se recomienda evitar el contacto con esta zona.
- El muestreo de suelo permitió encontrar características especiales de la zona como la capa de recebo, que fue una característica clave en la evaluación de riesgo.
- El muestreo de aire pasivo con PUF se realizó de manera adecuada, aunque no se encontró ningún tipo de pesticida de interés en las muestras, se piensa que las concentraciones son muy bajas y que para el monitoreo de la zona los muestreadores deben dejarse más tiempo instalados (mayor a tres meses).
- La comparación de resultados de análisis de muestras entre el laboratorio de la Universidad del Valle y el laboratorio acreditado SGS evidencia que el tratamiento de

muestras fue confiable y que existe seguridad de que no se presentó contaminación cruzada ni alteración de las muestras durante su transporte y análisis.

- Los parámetros estadísticos del método cromatográfico validado soportan que se logró implementar un método multiresiduo para plaguicidas organoclorados y organofosforados con límites de detección y cuantificación aceptables y comparables con los de un laboratorio acreditado.
- De acuerdo a lo que se planteó en el modelo conceptual, se encontró que las principales rutas de exposición a la contaminación son el contacto dérmico de suelo, ingestión de suelo e inhalación de aire. Así que fue acertado evaluar las matrices aire y suelo superficial.
- Los modelos RISC 4.0 y SADA5.0 fueron herramientas valiosas para realizar la evaluación de riesgo del lote Colombiaton y el los resultados obtenidos con estos software fueron complementarios. Se obtuvo el cálculo de riesgo cancerígeno y no cancerígeno para población adulta y niños, riesgo por plaguicida, riesgo para diferentes exposiciones como ingestión de vegetales, riesgo para diferentes usos del suelo, así como los mapas de distribución del riesgo en la zona y los niveles de limpieza necesarios para cada pesticida.
- Se sugiere remediación tipo Fenton, como la técnica más adecuada para la zona de estudio.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R., NELSON, P.N. Y KOOKANA, R.S. The molecular composition of soil organic matter as determined by ¹³C NMR and elemental analyses and correlation with pesticide sorption. *European Journal of Soil Science*, 2006, vol. 57, no. 6, p. 883-893.
- ARIAS-ESTÉVEZ, M., LÓPEZ-PERIAGO, E., MARTÍNEZ-CARBALLO, E., SIMAL-GÁNDARA, J., MEJUTO, J.-C. Y GARCÍA-RÍO, L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, vol. 123, no. 4, p. 247-260.
- ARIAS VERDES, J.A., ROJAS COMPANIONI, D., DIERKMEIER CORCUELA, G., RIERA BETANCOURT, C. Y CABRERA CRUZ, N. *Plaguicidas organoclorados*. México D.F., México ECO, 1990. 65 p.
- BARR, D.B., WILDER, L.C., CAUDILL, S.P., GONZALEZ, A.J., NEEDHAM, L.L. Y PIRKLE, J.L. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population: implications for urinary biologic monitoring measurements. *Environ Health Perspect*, Feb 2005, vol. 113, no. 2, p. 192-200.
- BOHLIN, P. *Passive Sampling of PAHs and Some Trace Organic Compounds in Occupational and Residential air – needs, evaluation and limits*. Göteborg, Sweden: Geson Hylte Tryck, 2010. 88 p.
- BOQUÉ, R. La selectividad en análisis químico. *Técnicas de Laboratorio*, 2005, vol. 299, no. 1, p. 114-117.
- BRAVO, R., CALTABIANO, L.M., WEERASEKERA, G., WHITEHEAD, R.D., FERNANDEZ, C., NEEDHAM, L.L., BRADMAN, A. Y BARR, D.B. Measurement of dialkyl phosphate metabolites of organophosphorus pesticides in human urine using lyophilization with gas chromatography-tandem mass spectrometry and isotope dilution quantification. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, May 2004, vol. 14, no. 3, p. 249-259.
- CANALES, R. Y LECKIE, J. Models of Exposure to Pesticides. En: OTT, STEINEMANN Y WALLACE. *Exposure Analysis*. CRC Press, 2006, p. 471-483.
- CARLON, C., PIZZOL, L., CRITTO, A. Y MARCOMINI, A. A spatial risk assessment methodology to support the remediation of contaminated land. *Environment International*, Apr 2008, vol. 34, no. 3, p. 397-411.
- COCHRAN, W.G. Y COX, G.M. *Diseños experimentales*. 2 ed.: Trillas, 1995. 661 p.
- CHENG, Y. Y NATHANAIL, P.C. Generic Assessment Criteria for human health risk assessment of potentially contaminated land in China. *Science of The Total Environment*, 2009, vol. 408, no. 2, p. 324-339.
- DALLA VILLA, R. Y PUPO NOGUEIRA, R.F. Oxidation of p,p'-DDT and p,p'-DDE in highly and long-term contaminated soil using Fenton reaction in a slurry system. *Science of The Total Environment*, Dec 1 2006, vol. 371, no. 1-3, p. 11-18.
- DAVIES, J.E. Epidemiologic Concerns for Exposure Assessment. En: MARIE. *Studies in Environmental Science*. Elsevier, 1984, vol. Volume 24, p. 67-77.
- DEVICIC LUENGO, Y.A. Desarrollo de una metodología basada en un sig 3d para evaluación de sitios contaminados: un enfoque de caso. Tesis de Maestría en Ciencias (Especialidad en Sistemas Ambientales). Monterrey, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, División de Ingeniería y Arquitectura, 2001. 114 p.

- DI SANTE, M., MAZZIERI, F. Y PASQUALINI, E. Assessment of the sanitary and environmental risks posed by a contaminated industrial site. *J Hazard Mater*, 2009, vol. 171, no. 1–3, p. 524-534.
- EPA *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1989.
- EPA. Organophosphorus Compounds by Gas Chromatography: Capillary Column Technique. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1994, vol. Method 8141A, p. 35.
- EPA. Organochlorine pesticides by gas chromatography. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1996a, vol. Method 8081A, p. 44.
- EPA. Soxhlet Extraction. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1996b, vol. Method 3540C, p. 8.
- EPA. Ultrasonic Extraction. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1996c, vol. Method 3550B, p. 14.
- EPA. Determination of Polychlorinated, Polybrominated and Brominated/Chlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Ambient Air. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 1999, vol. Method TO-9A, p. 94.
- EPA *Framework for metals risk assessment, risk assessment forum*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 2007a. 170 p.
- EPA. Ultrasonic Extraction. *En*. Washington D. C. - United States: U.S. Environmental. Protection Agency, 2007b, vol. Method 3550C, p. 17.
- EPA. Integrated Risk Information System (IRIS): A-Z List of Substances. Washington D. C. - United States, 2012, [citado 14/08/2012]. Disponible en: <<http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>>.
- EURACHEM *The fitness for purpose of analytical methods: A laboratory guide to method validation and related topics*. United Kingdom: EURACHEM, 1998. 75 p.
- EVANS, J. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología, 2003.
- FAO. Disposal of bulk quantities of obsolete pesticides in developing countries. *En*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996, vol. 4.
- FAO *Evaluación de la contaminación del suelo: Manual de referencia*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Agriculture and Consumer Protection, 2000.
- FERRARI, F., TREVISAN, M. Y CAPRI, E. Predicting and measuring environmental concentration of pesticides in air after soil application. *Journal of environmental quality*, Sep-Oct 2003, vol. 32, no. 5, p. 1623-1633.
- FRYER, M., COLLINS, C.D., FERRIER, H., COLVILE, R.N. Y NIEUWENHUIJSEN, M.J. Human exposure modelling for chemical risk assessment: a review of current approaches and research and policy implications. *Environmental Science & Policy*, 2006, vol. 9, no. 3, p. 261-274.
- GAY, J.R. Y KORRE, A. A spatially-evaluated methodology for assessing risk to a population from contaminated land. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 142, no. 2, p. 227-234.

- GEVAO, B., SEMPLE, K.T. Y JONES, K.C. Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental Pollution*, 2000, vol. 108, no. 1, p. 3-14.
- GSI. GSI Chemical properties database. Houston, Texas. United States, 2010, [citado 14/08/2012]. Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>.
- HARNER, T., POZO, K., GOUIN, T., MACDONALD, A.-M., HUNG, H., CAINEY, J. Y PETERS, A. Global pilot study for persistent organic pollutants (POPs) using PUF disk passive air samplers. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 144, no. 2, p. 445-452.
- HENRY, J.G. Y HEINKE, G.W. *Ingeniería ambiental*. 2 ed. México: Prentice Hall, 1999. 800 p.
- IMAM, E., KUSHWAHA, S.P.S. Y SINGH, A. Evaluation of suitable tiger habitat in Chandoli National Park, India, using multiple logistic regression. *Ecological Modelling*, 2009, vol. 220, no. 24, p. 3621-3629.
- INSHT. Notas Técnicas de Prevención 512: Plaguicidas organofosforados (I): aspectos generales y toxicocinética. En: España: Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2006, vol. 512.
- IZE LEMA, I., ZUK, M. Y ROJAS-BRACHO, L. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. 2 ed. México, D.F., México: Instituto Nacional de Ecología, 2010. 220 p.
- JENKINS, J.J. Y THOMSON, P.A. OSU Extension Pesticide Properties Database. Oregon State University Extension Service, January 1999, vol. EM, no. 8709, p. 1.
- KAMRIN, M.A. *Pesticide profiles : toxicity, environmental impact, and fate*. Boca Raton: CRC/Lewis Publishers, 1997. 676 p.
- KERLE, E.A., JENKINS, J.J. Y VOGUE, P.A. Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Oregon State University Extension Service, April 2007, vol. EM, no. 8561-E, p. 1-8.
- KLÁNOVÁ, J. *Application of Passive Sampler for Monitoring of POPs in Ambient Air: Application of the Passive Air Sampling Technique as a Tool for Trend Determination and Effectiveness Evaluation of International Conventions. Pilot study for development of the monitoring network in the African continent (MONET_AFRICA)*. Czech Republic: Masaryk University, 2008. 129 p.
- KOLLURU, R.V. *Manual de evaluación y administración de riesgos*. México: McGraw-Hill, 1999. 683 p.
- KORRE, A., DURUCAN, S. Y KOUTROUMANI, A. Quantitative-spatial assessment of the risks associated with high Pb loads in soils around Lavrio, Greece. *Applied Geochemistry*, 2002, vol. 17, no. 8, p. 1029-1045.
- KUMAR, Y. Pesticides in Ambient Air in Alberta. En: DIVISION. Edmonton, Alberta, Canada: Alberta Environment, 2001, p. 40.
- MACKAY, D. *Multimedia Environmental Models: The Fugacity Approach*. 2 ed.: Taylor & Francis, 2001. 272 p.
- MALATO RODRÍGUEZ, S., BLANCO GÁLVEZ, J., ESTRADA GASCA, C.A. Y BANDALA, E.R. Degradación de plaguicidas. En: BLESA. *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea (CYTED)*. La Plata, Argentina: Gráfica 12 y 50, 2001, p. 269-284.

- MANQUILLO CASTAÑO, J.A. Validación de un método analítico de multiresiduos de pesticidas en suelo por cromatografía de gases (CG). Tesis de Pregrado: Químico Puro. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2012.
- MARCOUX, C. Y URPELAINEN, J. Special Interests, Regulatory Quality, and the Pesticides Overload. *Review of Policy Research*, 2011, vol. 28, no. 6, p. 585-612.
- MARTÍNEZ, A.P. Y ROMIEU, I. *Introducción al monitoreo atmosférico*. México: Metepec, ECO, GTZ, Departamento del Distrito Federal, 1997. 262 p.
- MASSART, D.L., VANDEGINSTE, B.G.M. Y BUYDENS, L.M.C. *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics*. 2 ed.: Elsevier, 1997. 886 p.
- MAVDT. Concepto Técnico 886 del 15 de Junio de 2006. En. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006.
- MCNAIR, H.M. Y MILLER, J.M. *Basic Gas Chromatography*. 2 ed.: John Wiley & Sons, 2009. 239 p.
- MILLER, J.N. Y MILLER, J.C. *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. USA: Pearson Educación, 2002.
- MIN.AMBIENTE. Decreto 1443. En. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.
- MONDRAGÓN ERAZO, M. Validación de un método analítico de plaguicidas organoclorados en sedimentos del Río Cauca por cromatografía de gases. Tesis de Pregrado: Químico Puro. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2012.
- MONTESANO, M.A., OLSSON, A.O., KUKLENYIK, P., NEEDHAM, L.L., BRADMAN, A.S. Y BARR, D.B. Method for determination of acephate, methamidophos, omethoate, dimethoate, ethylenethiourea and propylenethiourea in human urine using high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization tandem mass spectrometry. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, Jul 2007, vol. 17, no. 4, p. 321-330.
- ODEQ *Guidance Identification Hot Spots*. Oregon, USA: Oregon Department of Environmental Quality, 1998. 33 p.
- ORDOÑEZ BETANCOURTH, J.E. Evaluación de los efectos en la salud respiratoria, en una población vecina a un enterramiento de plaguicidas en la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis de Maestría en Epidemiología. Cali, Colombia: Universidad del Valle, Escuela de Salud Pública, 2011.
- PICÓ, J.A. Y FONT G, Y. Revisión de los métodos de determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos. *Revista de Toxicología*, 2003, vol. 20, p. 166-175.
- PNUMA *Guía para el plan de vigilancia mundial de contaminantes orgánicos persistentes*. Châtelaïne, Genova, Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007. 156 p.
- PNUMA *Manual del Programa del Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar*. PNUMA, Programa Ambiental del Caribe. Kingston, Jamaica: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008. 129 p.
- RECENA, M.C.P., CALDAS, E.D., PIRES, D.X. Y PONTES, E.R.J.C. Pesticides exposure in Culturama, Brazil—Knowledge, attitudes, and practices. *Environmental Research*, 2006, vol. 102, no. 2, p. 230-236.
- RODRÍGUEZ SAHAGÚN, J.D.J., LÓPEZ MARTÍNEZ, J.D., GARCÍA CARRILLO, M., SALAZAR SOSA, E., ZÚÑIGA TARANGO, R. Y VÁZQUEZ VÁZQUEZ, C. Evaluación

- de plaguicidas organoclorados en suelos de la Comarca Lagunera, México. *Agrofaz*, 2006, vol. 6, no. 1, p. 77-84.
- RULL, R.P. Y RITZ, B. Historical pesticide exposure in California using pesticide use reports and land-use surveys: an assessment of misclassification error and bias. *Environ Health Perspect*, October 2003, vol. 111, no. 13, p. 1582–1589.
- SALVARREY, A. Y GRISTO, P. Guía para la identificación y evaluación preliminar de sitios potencialmente contaminados. *En*. Montevideo, Uruguay: Proyecto Plan Nacional de Implementación Programa Sitios Contaminados (NIP - DINACA - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente), 2005, p. 30.
- SÁNCHEZ MARTÍN, M.J. Y SÁNCHEZ CAMAZANO, M. *Los plaguicidas: adsorción y evolución en el suelo*. 1 ed. Salamanca, España: CeresNet, 1984. 51 p.
- SHEN, L. Y WANIA, F. Compilation, Evaluation, and Selection of Physical–Chemical Property Data for Organochlorine Pesticides. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2005, vol. 50, no. 3, p. 742-768.
- SIEBERS, J., BINNER, R. Y WITTICH, K.-P. Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. *Chemosphere*, 2003, vol. 51, no. 5, p. 397-407.
- SINHA, P., LAMBERT, M.B. Y SCHEW, W.A. Evaluation of a risk-based environmental hot spot delineation algorithm. *Journal of Hazardous Materials*, Oct 22 2007, vol. 149, no. 2, p. 338-345.
- SKOOG, D.A., CROUCH, S.R., HOLLER, F.J. Y ANZURES, M.B. *Principios de Análisis Instrumental*. 6 ed.: Cengage Learning Latin America, 2008. 1038 p.
- SPENCE, L.R. Y WALDEN, T. *RISC4 - User's Manual*. Pleasanton, California, USA: Spence Engineering & BP Oil International, 2001. 464 p.
- WATTS, R.J. *Hazardous wastes : sources, pathways, receptors*. New York: J. Wiley, 1998. xvi, 764 p.
- WEINBERG, J. *Guías para las ONG sobre los contaminantes orgánicos persistentes (COP)*. Texcoco, Edo. de México, México: International Pops Elimination Network, 2009a. 114 p.
- WEINBERG, J. *Guías para las ONG sobre los plaguicidas peligrosos y el SAICM*. Texcoco, Edo. de México, México: International Pops Elimination Network, 2009b. 76 p.
- WHO. Guidelines on the management of public health pesticides. *En*: CONSULTATION. Chiang Mai, Thailand: World Health Organization, 2003, p. 53.
- YU, S.J. *The toxicology and biochemistry of insecticides*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2008. xi, 276 p.

7 ANEXOS

CONTENIDO

7 Anexos	101
7.1 Anexo 1: Concentraciones de plaguicidas encontradas en suelos del lote Colombiatón y reportadas en el Concepto Técnico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)	102
7.2 Anexo 2: Protocolo de recolección de muestras y Resultados CDC	110
7.3 Anexo 3: Resultados de análisis de muestras de suelo y aire reportados por el laboratorio SGS	117
7.4 Anexo 4: Semivariogramas y análisis geoestadístico para los plaguicidas reportados en el lote Colombiatón	123
7.5 Anexo 5: Mapas de Distribución de plaguicidas en el lote Colombiatón	128
7.6 Anexo 6: Protocolo de calibración del muestreador de puf activo TISCH TE 1000	132
7.7 Anexo 7: Resultados de Curvas de Calibración para plaguicidas organoclorados y organofosforados	140
7.8 Anexo 8: Comandos utilizados y resultados arrojados por el programa R.2.7.2	141
7.9 Anexo 9: Datos de entrada utilizados para correr el programa RISC y resultados	144
7.10 Anexo 10: Reporte Generado por el software SADA	153

7.1 ANEXO 1: CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS ENCONTRADAS EN SUELOS DEL LOTE COLOMBIATÓN Y REPORTADAS EN EL CONCEPTO TÉCNICO DEL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT)

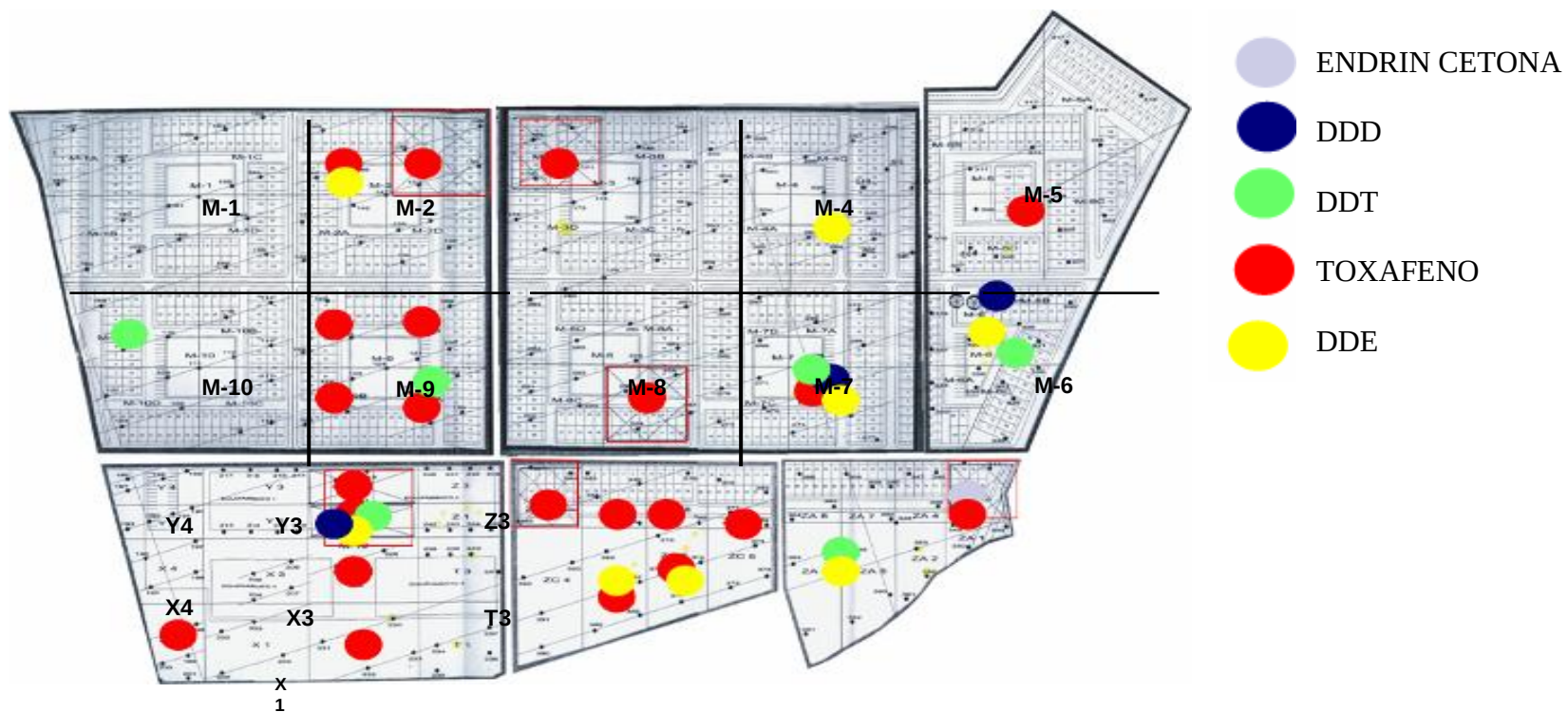


Tabla 7.1 Concentraciones por plaguicida en mg/kg y ubicadas por cuadrantes

Cuadrante	DDD	DDT	DDE	Toxafeno	Diazinon	Phorate	Metamidofos	Clorpirifos	Endrin aldehido	Malathion	Endrin cetona
M 10 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 A	ND	0,099	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 A	ND	0,099	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 A	ND	0,099	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 A	ND	0,099	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 10 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 B	ND	ND	ND	3,124	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 B	ND	ND	ND	3,124	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 B	ND	ND	ND	3,124	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 B	ND	ND	ND	3,124	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 C	ND	ND	ND	2,928	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 C	ND	ND	ND	2,928	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 C	ND	ND	ND	2,928	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 C	ND	ND	ND	2,928	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 D	ND	ND	ND	0,442	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 D	ND	ND	ND	0,442	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 D	ND	ND	ND	0,442	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 D	ND	ND	ND	0,442	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 A	ND	0,574	ND	1,665	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 A	ND	0,574	ND	1,665	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 A	ND	0,574	ND	1,665	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 9 A	ND	0,574	ND	1,665	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 B	ND	ND	0,049	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 B	ND	ND	0,049	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 B	ND	ND	0,049	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 B	ND	ND	0,049	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 2 C	ND	ND	ND	8,41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

[illegible]

Cuadrante	DDD	DDT	DDE	Toxafeno	Diazinon	Phorate	Metamidofos	Clorpirifos	Endrin aldehido	Malathion	Endrin cetona
X 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 2	ND	ND	ND	0,447	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 2	ND	ND	ND	0,447	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 2	ND	ND	ND	0,447	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 2	ND	ND	ND	0,447	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
X 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Y 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 4	ND	ND	ND	232,242	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 4	ND	ND	ND	232,242	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 4	ND	ND	ND	232,242	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 4	ND	ND	ND	232,242	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 2	ND	ND	ND	16,837	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 2	ND	ND	ND	16,837	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 2	ND	ND	ND	16,837	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z 2	ND	ND	ND	16,837	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 4	0,533	ND	ND	1,949	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 4	0,533	ND	ND	1,949	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 4	0,533	ND	ND	1,949	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 4	0,533	ND	ND	1,949	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 2	ND	ND	ND	2,203	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 2	ND	ND	ND	2,203	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 2	ND	ND	ND	2,203	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 2	ND	ND	ND	2,203	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 3	ND	ND	0,212	1,54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 3	ND	ND	0,212	1,54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T 3	ND	ND	0,212	1,54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

[illegible]

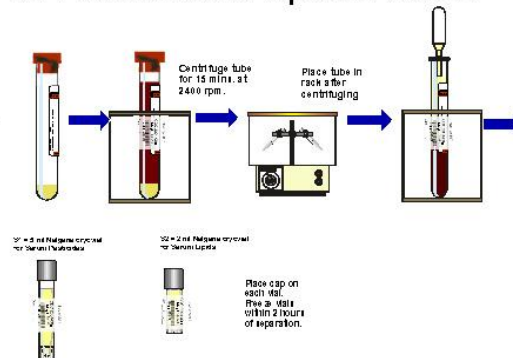
Cuadrante	DDD	DDT	DDE	Toxafeno	Diazinon	Phorate	Metamidofos	Clorpirifos	Endrin aldehido	Malathion	Endrin cetona
M 6 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 6 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M 6 C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 3	ND	ND	ND	61,243	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,427
Z A 3	ND	ND	ND	61,243	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,427
Z A 3	ND	ND	ND	61,243	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,427
Z A 3	ND	ND	ND	61,243	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,427
Z A 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 2	ND	0,049	0,149	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 2	ND	0,049	0,149	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 2	ND	0,049	0,149	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 5	0,013	0,026	0,012	ND	0,85	ND	0,36	0,79	0,006	0,16	ND
Z A 5	0,013	0,026	0,012	ND	0,85	ND	0,36	0,79	0,006	0,16	ND
Z A 5	0,013	0,026	0,012	ND	0,85	ND	0,36	0,79	0,006	0,16	ND
Z A 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z A 8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 7	ND	ND	ND	1,245	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 7	ND	ND	ND	1,245	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 7	ND	ND	ND	1,245	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 7	ND	ND	ND	1,245	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 6	ND	ND	0,186	1,754	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 6	ND	ND	0,186	1,754	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 6	ND	ND	0,186	1,754	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 6	ND	ND	0,186	1,754	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Z C 8	0,472	0,491	0,201	1,135	ND	0,52	1,64	0,58	0,049	ND	ND
Z C 8	0,472	0,491	0,201	1,135	ND	0,52	1,64	0,58	0,049	ND	ND
Z C 8	0,472	0,491	0,201	1,135	ND	0,52	1,64	0,58	0,049	ND	ND
Z C 3	0,06	0,16	0,013	3,818	1,27	ND	0,027	2,24	0,006	ND	ND
Z C 3	0,06	0,16	0,013	3,818	1,27	ND	0,027	2,24	0,006	ND	ND

[illegible]

7.2 ANEXO 2: PROTOCOLO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y RESULTADOS CDC

Specimen Collection Procedure for Pesticides and Lipids in Serum

Collect one 10ml SST.
Vacutainer on each participant.
Allow the tube to fill using the
vacuum in the tube.
Remove the tube from the
needle holder and mix
several times
(tube contains a clot activator).
Label the tube and place
upright to clot for 2 hours.



Please Note:

Place the bar-coded label as indicated above.
Place the 5 ml cryovials and 2 ml cryovials in separate gridded boxes.
Freeze the 5 ml cryovials and 2ml cryovials at -20C.
When ready to ship, place each box of samples inside a leak proof zip bag with absorbent material.
Ship on dry ice.
Place dry ice label (write in amount) and "EXEMPT HUMAN SPECIMEN" label on the outside of the shipping container.

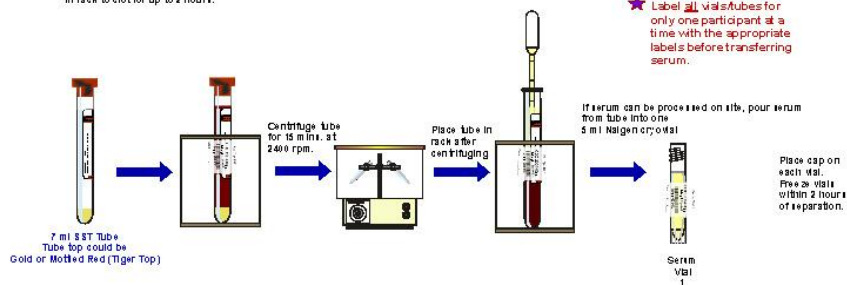
Ship to: Charles Dodson
CDC, Bldg 110, Room 1211
4770 Buford Hwy
Atlanta, GA 30341
770.488.4305

10/27/09

CDC Study 2009-0085

Specimen Collection Procedure for Ferritin in Serum

Allow tube to fill completely.
Mix several times (tube contains
a clot activator) and label with
appropriate label. Place upright
in rack to clot for up to 2 hours.

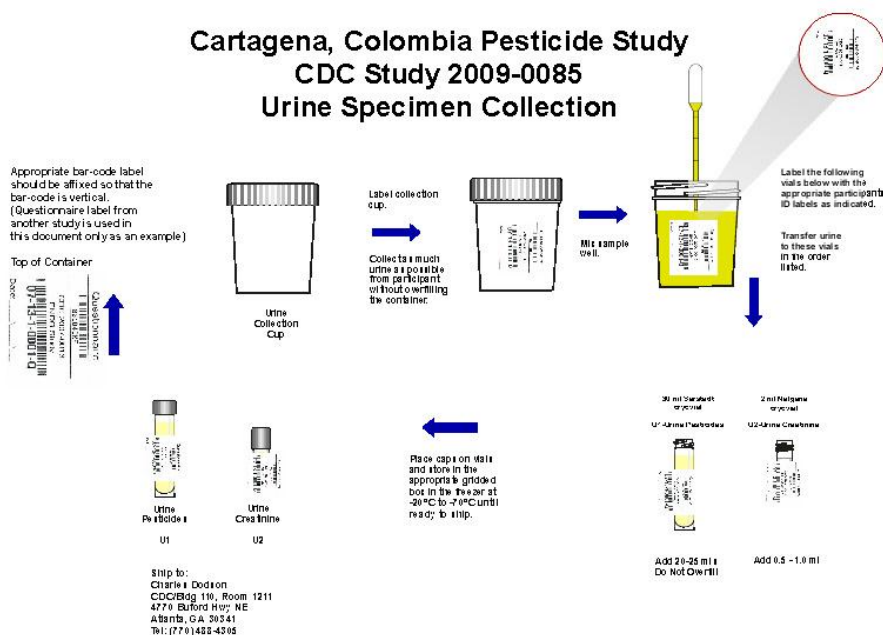


05/24/04

Page 2 of 2

CDC 2004-0070

Cartagena, Colombia Pesticide Study CDC Study 2009-0085 Urine Specimen Collection



10/27/09



DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES

Public Health Service

Centers for Disease Control
and Prevention

August 6, 2010

Fabián Méndez, M.D., Ph.D.
Grupo GESP
Profesor Escuela de Salud Pública
Universidad del Valle
Cali, Columbia

Dear Dr. Méndez:

Please find enclosed Excel data files (CARTEGENA_PCB.xls and CARTEGENA_PST.xls) containing the PCB and organochlorine pesticide results for 100 specimens from the Evaluation of Health Effects Associated with Buried Pesticides near Cartagena, Columbia Study (090085). Also enclosed is a Report Key containing descriptions of variable names and report codes used. To aid in the statistical analysis of data from truncated frequency distributions, we are providing quantifiable results less than the respective method detection limits (Report Code = 'GND') when observed for individual analytes. Non-detect results should be reported to participants as <DL (whole-weight) and <LP_DL (lipid adjusted).

These laboratory results have been reviewed and approved by a quality assurance officer to assure that they conform to acceptable quality standards. If you have any questions concerning these results, please contact Wayman Turner at (770) 488-7974.

Sincerely,

James L. Pirkle, M.D., Ph.D.
Deputy Director for Science
Division of Laboratory Sciences
National Center for Environmental Health

Enclosures
cc: Wayman Turner, OATB
Study No. 2009-0085



DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES

Public Health Service

Centers for Disease Control
and Prevention (CDC)
Atlanta GA 30341-3724

January 24, 2011

Fabián Méndez, M.D., Ph.D.
Universidad del Valle
Escuela de Salud Pública
Calle 4B N° 36-140
Cali, Colombia

SUBJECT: Laboratory results for: Cartagena, Colombia Pesticide Study (2009-0085)
Urinary organophosphorus insecticide metabolites

Dear Dr. Méndez:

Enclosed please find the results on 101 urine samples analyzed for six dialkylphosphate (DAP) metabolites: dimethylphosphate (DMP), diethylphosphate (DEP), dimethylthiophosphate (DMTP), dimethyldithiophosphate (DMDTP), diethylthiophosphate (DETP), and diethyldithiophosphate (DEDTP) for: Cartagena Colombia Pesticide Study (Case Number: 2009-0085). This analysis was conducted using a modification of the method reported by Bravo R, Caltabiano LM, Weerasekera G, Whitehead RD, Fernandez C, Needham LL, Bradman A, Barr DB (2004): Measurement of dialkyl phosphate metabolites of organophosphorus pesticides in human urine using lyophilization with gas chromatography-tandem mass spectrometry and isotope dilution quantification. J Expo Anal Environ Epidemiol. 2004 May; 14(3):249-59. US reference range values for the 6 DAP metabolites measured can be found at <http://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf>.

Please note that we could not report the DMP concentration for sample 09-85-0045-U1 because of the presence of interfering compound(s) in the urine matrix (this result is noted as Code 15 in the report file). The full results of the study will be sent to you by email.

If you have any questions concerning these results, please contact Antonia M. Calafat, Ph.D. at 770-488-7891 or aic7@cdc.gov

Sincerely yours,

James L. Pirkle, M.D., Ph.D.
Director
Division of Laboratory Sciences
National Center for Environmental Health

Enclosures



DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES

Public Health Service
Centers for Disease Control
and Prevention (CDC)

Memorandum

DATE Jan 24, 2011

FROM Chief, Personal Care Products/ Pesticide Laboratory, Division of Laboratory Sciences

SUBJECT Cartagena, Colombia Pesticide Study (Case Number 2009-0085)
Urinary organophosphorus insecticide metabolites
Analytes= 6 N= 101

TO Chief, Organic Analytical Toxicology Branch, DLS (F17)

Through Lee-Yang Wong, QA Officer (F17) _____

Enclosed please find the results on 101 urine samples analyzed for six dialkylphosphate (DAP) metabolites: dimethylphosphate (DMP), diethylphosphate (DEP), dimethylthiophosphate (DMTP), dimethyldithiophosphate (DMDTP), diethylthiophosphate (DETP), and diethyldithiophosphate (DEDTP) for: Cartagena Colombia Pesticide Study (Case Number: 2009-0085). This analysis was conducted using a modification of the method reported by Bravo R, Caltabiano LM, Weerasekera G, Whitehead RD, Fernandez C, Needham LL, Bradman A, Barr DB (2004): Measurement of dialkyl phosphate metabolites of organophosphorus pesticides in human urine using lyophilization with gas chromatography-tandem mass spectrometry and isotope dilution quantification. J Expo Anal Environ Epidemiol. 2004 May; 14(3):249-59. US reference range values for the 6 DAP metabolites measured can be found at <http://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf>. Please note that we could not report the DMP concentration for sample 09-85-0045-U1 because of the presence of interfering compound(s) in the urine matrix (this result is noted as Code 15 in the report file).

Quality control (QC) was established by the repeat analysis of three in-house pools whose target values and confidence limits were previously determined. Shewhart plots of the QC measurements and the QC evaluations are attached. Data are reported in µg/L.

Antonia M. Calafat, Ph.D.

ANALYSIS SUMMARY : Dialkylphosphate in Urine									
Analyte Name	Analyte Abbreviation	NHANES code	Parent chemical	Chemical class	Method	LSTD	Units	Matrix	+Median - 95th
Diethyldithiophosphate	DEDTP	DED	O,O-diethyl substituted OP insecticides containing two sulfurs	Organophosphate	OP Screen	0.4929-0.7179	µg/L	Urine	0.1 - 0.9
Diethylphosphate	DEP	DEP	O,O-diethyl substituted OP insecticides	Organophosphate	OP Screen	0.4479-0.7009	µg/L	Urine	1.2 - 13.0
Dimethyldithiophosphate	DMDTP	DMD	O,O-dimethyl substituted OP insecticides containing two sulfurs	Organophosphate	OP Screen	0.5400-0.7738	µg/L	Urine	<LOD - 19.0
Dimethylphosphate	DMP	DMP	O,O-dimethyl substituted OP insecticides	Organophosphate	OP Screen	0.4881-0.6452	µg/L	Urine	0.7 - 14.0
Dimethylthiophosphate	DMTP	DMT	O,O-dimethyl substituted OP insecticides containing one sulfur	Organophosphate	OP Screen	0.4187-0.6110	µg/L	Urine	2.7 - 48.0
Diethylthiophosphate	DETP	DTP	O,O-diethyl substituted OP insecticides containing one sulfur	Organophosphate	OP Screen	0.5736-0.7455	µg/L	Urine	0.5 - 2.2
LSTD, lowest standard. <LOD, less than the limit of detection: DMDTP = 0.1 ng/mL for NHANES 2003-2004 (Fourth NHANES report Appendix D) +Median and 95th percentile values for the U.S. population six years of age and older from NHANES 2003-2004 (http://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf)									

The report file consists of 6 fields (described below) and can be opened using Microsoft Excel.

Column 1: Sample ID

Column 2: Analyte (longer name)

Column 3: Amount (non-diluted results for each sample in ng/mL)

Column 4: Comment

Column 5: NHANES analyte code

Column 6: Year and month of analysis (as YYYY-M)

<LSTD = amount below lowest standard

NHANES Comment Codes used:

15 = Interfering substances present

7.3 ANEXO 3: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO Y AIRE REPORTADOS POR EL LABORATORIO SGS

7.3.1 Certificados de acreditación de laboratorio



Accreditatiecertificaat nr. 005-TEST

In uitvoering van de beschikkingen van het koninklijk besluit van 31 januari 2006 tot oprichting van BELAC, bevestigt het Accreditatiebureau dat het beproevingslaboratorium

SGS BELGIUM NV
Noorderlaan, 87
2030 ANTWERPEN - België

de bekwaamheid bezit om de testen zoals beschreven in de bijlage, die integraal deel uitmaakt van dit certificaat, overeenkomstig de criteria van de norm NBN EN ISO/IEC 17025:2005 uit te voeren. Het respecteren van de accreditatievoorwaarden wordt nagegaan aan de hand van regelmatige toezichten.

De Voorzitter van het Accreditatiebureau BELAC,

Uitgifte datum : **2007-04-16**
 Geldigheidsdatum : **2011-05-09**

Nicole MEURÉE-VANLAETHEM

.be



Certificat d'Accréditation n° 005-TEST

En application des dispositions de l'arrêté royal du 31 janvier 2006 créant BELAC, le Bureau d'Accréditation atteste que le laboratoire d'essais

SGS BELGIUM NV
Noorderlaan, 87
2030 ANTWERPEN - Belgique

possède, conformément aux critères de la norme NBN EN ISO/IEC 17025:2005, la compétence pour effectuer les essais décrits dans l'annexe qui fait partie intégrante du présent certificat. Le respect des conditions d'accréditation fait l'objet de surveillances régulières.

La Présidente du Bureau d'Accréditation BELAC,

Date d'émission : **2007-04-16**
 Date de validité : **2011-05-09**

Nicole MEURÉE-VANLAETHEM

La version originale de ce certificat est en néerlandais.

7.3.2 Límites de detección reportados por el laboratorio

Tabla 7.2 Límites de detección reportados por el laboratorio

Plaguicida	Límite de detección muestras de suelo (mg/kg)	Límite de detección muestras de PUF (µg)
α -HCH	0,02	8
β -HCH	0,02	8
γ -HCH	0,02	8
δ -HCH	0,02	8
ε -HCH	0,02	8
Aldrin	0,02	8
Dieldrin	0,02	8
Endrin	0,05	20
Heptaclor	0,02	8
α -Heptachlorepoxyde	0,05	14
β -Heptachlorepoxyde	0,02	14
α -Endosulfan	0,05	20
β -Endosulfan	0,05	20
Endosulfansulfate	0,05	20
cis-chlordane	0,02	8
trans-chlordane	0,02	8
o,p'-DDD	0,02	8
o,p'-DDT	0,05	8
o,p'-DDE	0,02	8
p,p'-DDD	0,05	8
p,p'-DDT	0,02	8
p,p'-DDE	0,02	8
Methoxychlor	0,02	8
Endrin aldehyde	0,05	20
Endrin ketone	0,05	20
Clorpirifos-ethyl	0,1	20
Diazinon	0,05	20
Dichlorvos	0,05	20
Dimethoate	0,05	20
Disulfoton	0,05	20
Ethoprofos	0,1	40
Parathion-methyl	0,1	40
Parathion-ethyl	0,1	40
Fenclorfos (Ronnel)	0,1	40
Azinphos-methyl (Gution)	0,05	20
o,o,o-Triethyl phosphorothioate	0,1	40
Propoxur	0,1	40
Prothiofos	0,1	40
Sulfotep	0,1	40
Phorate	0,1	40
Thionazine	0,1	40
Thiobencarb	0,1	40
Parlar 26 (Toxafeno)	0,01	4

7.3.3 Resultados

7.3.3.1 Resumen resultados de Muestreo Preliminar Suelos

Tabla 7.3 Resumen resultados de Muestreo Preliminar Suelos

Puntos	Latitud N	Longitud O	Altura (m)	Profundidad (cm)	Plaguicida encontrado	Concentración (mg/kg)
Ciudadela						
1	10°22'16.00"	75°28'26.90"	65	50	NA	NA
2	10°22'12.80"	75°28'22.20"	37	30	NA	NA
3	10°22'12.30"	75°28'22.20"	39	30	NA	NA
4	10°22'12.90"	75°28'21.40"	36	30	NA	NA
5	10°22'21.60"	75°28'22.30"	37	50	NA	NA
6	10°22'25.30"	75°28'19.30"	53	50	NA	NA
7	10°22'25.40"	75°28'16.90"	28	30	NA	NA
8	10°22'23.90"	75°28'17.30"	26	30	NA	NA
9	10°22'20.30"	75°28'16.20"	27	70	NA	NA
Colegio						
10	10°22'27.20"	75°28'13.00"	21	50	NA	NA
11	10°22'25.30"	75°28'13.60"	22	50	NA	NA
12	10°22'28.70"	75°28'17.30"	21	50	NA	NA
13	10°22'27.02"	75°28'16.11"	25	70	NA	NA
14	10°22'23.90"	75°28'12.30"	26	50	NA	NA
Colombiatón						
15	10°22'36.3"	75°28'13.2"	18	70	NA	NA
16	10°22'36.0"	75°28'11.9"	26	70	NA	NA
17	10°22'34.2"	75°28'0.09"	21	50	o,p'-DDD	0,066
					o,p'-DDT	0,27
					o,p'-DDE	0,028
					p,p'-DDD	2,2
					p,p'-DDD	2,2
					p,p'-DDD	2,2
					p,p'-DDT	10
					p,p'-DDE	0,76

NA: No Aplica

7.3.3.2 Resumen resultados de Muestreo Definitivo de Suelos

Tabla 7.4 Resumen resultados de Muestreo Definitivo de Suelo

Muestra	Latitud N	Longitud O	Altura (m)	Profundidad (m)	Plaguicida encontrado
Ciudadela					
1	10,37328	75,47196	± 5	55	NA
2	10,37108	75,47377	± 4	100	NA
3	10,37098	75,47359	± 6	70	NA
4	10,37258	75,47038	± 6	60	NA
5	10,37009	75,47285	± 6	60	NA
7	10,37177	75,47349	± 4	70	NA
8	10,37249	75,47261	± 7	90	NA
10	10,37098	75,47235	± 6	70	NA
11	10,37088	75,47309	± 9	90	NA
12	10,37164	75,47355	± 4	70	NA
13	10,37217	75,46989	± 6	70	NA
14	10,37245	75,47294	± 5	80	NA
15	10,37191	75,47262	± 4	70	NA
16	10,37179	75,47166	± 5	50	NA
17	10,37184	75,47211	± 7	60	NA
18	10,37062	75,47381	± 6	70	NA
19	10,37228	75,47204	± 5	60	NA
20	10,3725	75,47221	± 6	70	NA
22	10,3729	75,4726	± 3	70	NA
23	10,37211	75,4709	± 5	70	NA
24	10,37228	75,4712	-	60	NA
26	10,37243	75,46985	± 6	60	NA
27	10,37218	75,47186	± 6	60	NA
28	10,37256	75,47067	± 7	60	NA
29	10,37371	75,47192	± 4	65	NA
30	10,3732	75,47184	± 6	50	NA
31	10,37309	75,47158	± 6	70	NA
Colegio					
32	10,37311	75,47148	± 4	50	NA
33	10,37323	75,47136	± 4	70	NA
34	10,3734	75,47122	± 4	55	NA
35	10,37361	75,47117	± 4	50	NA
36	10,3737	75,47126	± 4	70	NA
37	10,37383	75,47139	± 5	50	NA
38	10,37395	75,47198	± 6	60	NA
39	10,37388	75,47184	± 5	70	NA
40	10,37393	75,4708	± 4	70	NA
41	10,3741	75,47073	± 5	60	NA
42	10,37424	75,47068	± 6	70	NA
43	10,37435	75,4706	± 6	90	NA
44	10,37433	75,47053	± 3	70	NA
45	10,37419	75,47055	± 6	60	NA
46	10,37408	75,47061	± 5	50	NA
47	10,37386	75,47071	± 4	60	NA
48	10,37377	75,47049	± 4	70	NA
49	10,37399	75,47043	± 4	65	NA

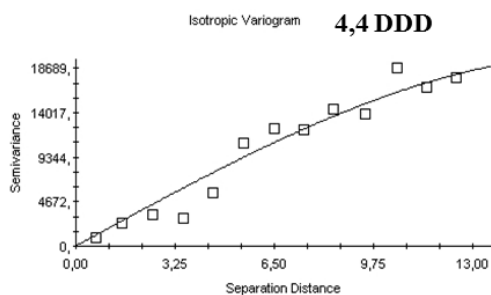
Muestra	Latitud N	Longitud O	Altura (m)	Profundidad (m)	Plaguicida encontrado
50	10,37413	75,47038	± 6	60	NA
51	10,37424	75,47031	± 4	80	NA
52	10,37411	75,47105	± 8	80	NA
53	10,37448	75,47123	± 7	90	NA
Alrededores Zona Confinamiento					
54	10,37462	75,47143	± 4	100	NA
55	10,37372	75,47086	± 4	60	NA
56	10,37364	75,47078	± 4	70	NA
57	10,37348	75,47051	± 5	50	NA
58	10,37317	75,47009	± 5	65	NA
59	10,37294	75,46958	± 5	50	NA
60	10,37273	75,46924	± 6	70	NA
61	10,37295	75,46911	± 6	50	NA
62	10,37317	75,46942	± 5	60	NA
63	10,3734	75,46971	± 5	70	NA
64	10,3734	75,46999	± 5	55	NA
65	10,37369	75,47035	± 4	60	NA
66	10,37397	75,47012	± 4	70	NA
67	10,37353	75,47026	± 4	60	NA
68	10,37337	75,46939	± 5	55	NA
69	10,37345	75,46892	± 4	50	NA
70	10,37342	75,46866	± 4	80	NA
247	10,3999	75,51292	± 6	50	NA
248	10,40079	75,51358	± 6	60	NA
249	10,40106	75,51334	± 7	70	NA

7.3.3.3 Resumen resultados de Muestreo de aire activo y pasivo

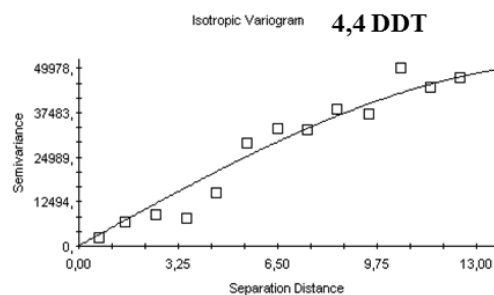
Tabla 7.5 Resumen resultados de muestreo de aire activo y pasivo

Muestra PUF	Duración (días)	Latitud N	Longitud O	Plaguicida encontrado	Masa (µg)
Activo 1	1	10°22'15,78"	75°28'20,7"	Clorpyrifos-ethyl	21
Activo 2	1	10°22'27,9"	75°28'15,7"	NA	NA
Activo 3	1	10°22'22,12"	75°28'11,7"	NA	NA
Activo 4	1	10°24'7,3"	75°30'44,1"	NA	NA
Pasivo 1	15	10°22'22,2"	75°28'11,8"	NA	NA
Pasivo 2	15	10°22'28,5"	75°28'15,8"	NA	NA
Pasivo 3	15	10°22'15,8"	75°28'20,7"	NA	NA
Pasivo 4	15	10°22'22,6"	75°28'19,9"	NA	NA
Pasivo 5	15	10°22'30,7"	75°28'14,7"	NA	NA
Pasivo 6	15	10°24'06,9"	75°30'44,5"	NA	NA
Pasivo 1	30	10°22'22,2"	75°28'11,8"	NA	NA
Pasivo 2	30	10°22'28,5"	75°28'15,8"	NA	NA
Pasivo 3	30	10°22'15,8"	75°28'20,7"	NA	NA
Pasivo 4	30	10°22'22,6"	75°28'19,9"	NA	NA
Pasivo 5	30	10°22'30,7"	75°28'14,7"	NA	NA
Pasivo 6	30	10°24'06,9"	75°30'44,5"	NA	NA
Blanco de transporte 1				NA	NA
Blanco de transporte 2				NA	NA

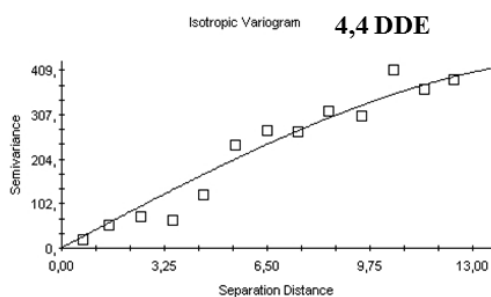
7.4 ANEXO 4: SEMIVARIOGRAMAS Y ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA LOS PLAGUICIDAS REPORTADOS EN EL LOTE COLOMBIATÓN



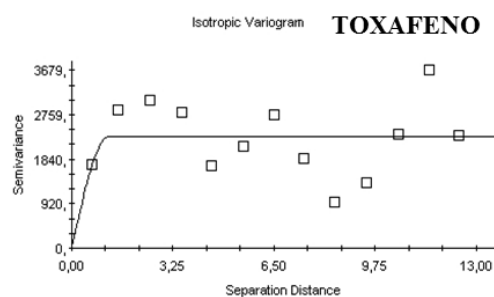
Spherical model ($Co = 10,00000$; $Co + C = 20070,00000$; $Ao = 17,11$; $r2 = 0,947$;
RSS = $2,872E+07$)



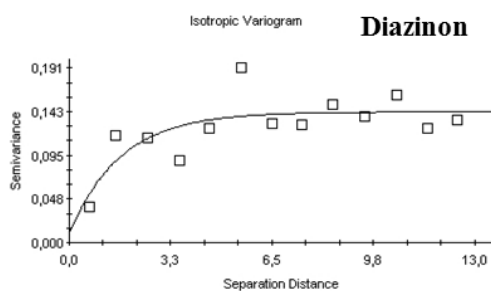
Spherical model ($Co = 100,00000$; $Co + C = 51300,00000$; $Ao = 16,15$; $r2 = 0,948$;
RSS = $2,106E+08$)



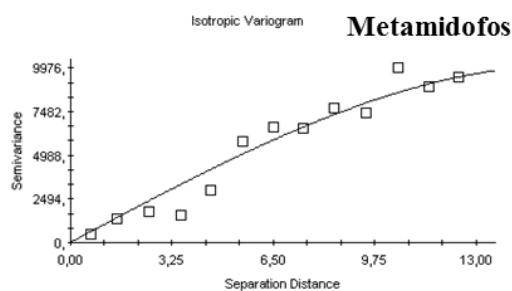
Spherical model ($Co = 1,00000$; $Co + C = 439,20000$; $Ao = 17,13$; $r2 = 0,948$;
RSS = 13832,)



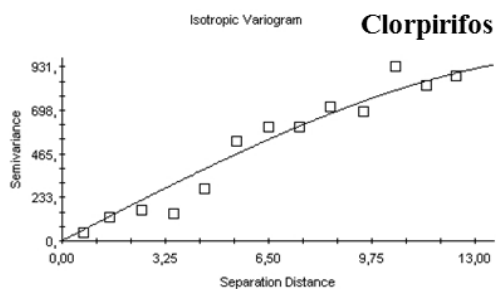
Spherical model ($Co = 1,00000$; $Co + C = 2318,00000$; $Ao = 1,19$; $r2 = 0,046$;
RSS = $6,603E+06$)



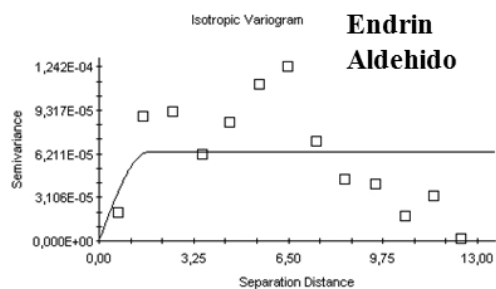
Exponential model ($Co = 0,00990$; $Co + C = 0,14280$; $Ao = 1,7$; $r2 = 0,590$;
RSS = $6,391E-03$)



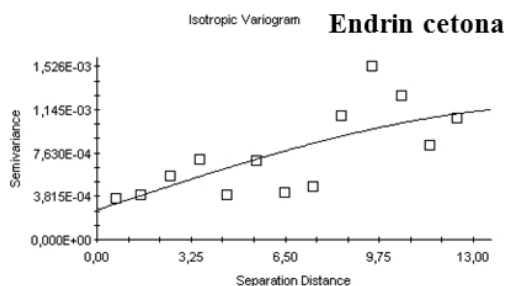
Spherical model ($Co = 10,00000$; $Co + C = 10130,00000$; $Ao = 15,91$; $r2 = 0,946$;
RSS = $8,397E+06$)



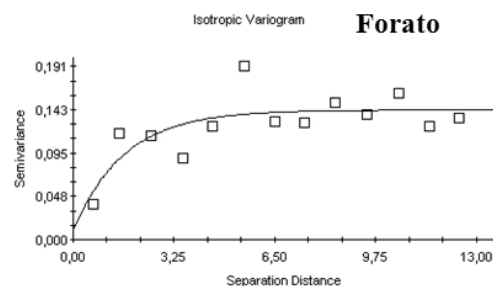
Spherical model ($C_0 = 1,00000$; $C_0 + C = 1002,60000$; $A_0 = 17,21$; $r_2 = 0,948$; $RSS = 70055$.)



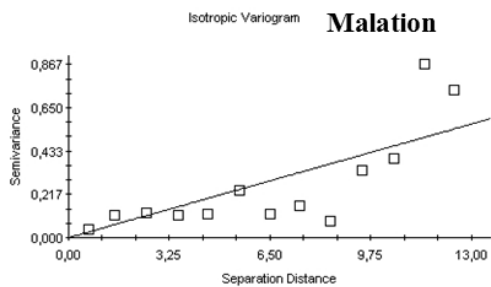
Spherical model ($C_0 = 0,00000$; $C_0 + C = 0,00006$; $A_0 = 1,69$; $r_2 = 0,096$; $RSS = 1,621E-08$)



Spherical model ($C_0 = 0,00026$; $C_0 + C = 0,00118$; $A_0 = 16,36$; $r_2 = 0,521$; $RSS = 8,302E-07$)



Exponential model ($C_0 = 0,00990$; $C_0 + C = 0,14280$; $A_0 = 1,65$; $r_2 = 0,590$; $RSS = 6,391E-03$)



Linear model ($C_0 = 0,00010$; $C_0 + C = 0,17020$; $A_0 = 3,89$; $r_2 = 0,622$; $RSS = 0,329$)

Tabla 7.6 Ajuste de una función al semivariograma

Modelo	Nugget	Sill Co+C	Rango (a)	Rango efectivo (m)	r ²	RSS
4,4 DDD						
Esférico	1000,00	20070,00	17,11	17,11	0,947	2,872E+07
Exponencial	10,00	21120,00	8,43	25,29	0,932	5,291E+07
Lineal	10,00	6110,00	3,90	3,90	0,998	3,122E+07
4,4 DDT						
Esférico	100,00	51300,00	16,15	16,15	0,948	2,106E+08
Exponencial	100,00	51300,00	7,24	21,720	0,925	4,473E+08
Lineal	10,00	16320,00	3,90	3,90	0,935	2,227E+08
4,4 DDE						
Esférico	1,00	439,20	17,13	17,13	0,948	13832
Exponencial	1,00	512,90	9,92	29,760	0,938	22092
Lineal	0,10	133,60	3,90	3,90	0,935	14861
Toxafeno						
Esférico	1000000	2318,00	1,19	1,19	0,046	6,603E+06
Exponencial	1,00	2310,00	0,38	1,14	0,035	6,689E+06
Lineal	2273,48	2273,48	12,433	12,433	0,001	6,920E+06
Diazinon						
Esférico	0,00010	0,1352	2,49	2,49	0,548	7,158E-03
Exponencial	9900,00	0,1428	1,65	4,950	0,590	6,391E-03
Lineal	0,0926	0,1571	12,433	12,433	0,309	0,0297

Tabla 7.7 Ajuste de una función al semivariograma

Modelo	Nugget Co	Sill Co+C	Rango (a)	Rango efectivo (m)	r ²	RSS
Forato						
Esférico	1,00	4,9550	17,240	17,240	0,949	1,69
Exponencial	0,01	5,029	8,05	24,150	0,931	3,33
Lineal	0,001	1,50	3,90	3,90	0,937	1,82
Metamidofos						
Esférico	10,00	10130,00	15,910	15,910	0,948	8,397E+06
Exponencial	10,00	10130,00	7,11	21,330	0,924	1,812E+07
Lineal	10,00	3262,00	3,90	3,90	0,935	8,852E+06
Clorpirifos						
Esférico	1,00	1002,60	17,21	17,21	0,948	70055
Exponencial	1,00	1012,90	7,97	23,91	0,930	138757
Lineal	0,10	303,60	3,90	3,90	0,936	75460
Endrin Aldehido						
Esférico	0,00	0,000063	1,690	1,690	0,096	1,621E-08
Exponencial	0,00	0,000063	0,590	1,770	0,064	1,676E-08
Lineal	0,000061	0,000061	12,433	12,433	0,247	1,771E-08
Malation						
Esférico	261,00	0,001182	16,360	16,360	0,521	8,302E-07
Exponencial	0,000235	0,00154	11,710	35,130	0,506	8,572E-07
Lineal	0,000289	0,001176	12,433	12,433	0,525	4,528E-07
Endrin Cetona						
Esférico	0,001	0,929	30,990	30,990	0,604	0,345
Exponencial	0,001	1,552	30,990	92,970	0,585	0,365
Lineal	100,00	0,170	3,890	3,890	0,622	0,329

Tabla 7.8 Ajuste de una función al semivariograma

Modelo	Nugget Co	Sill Co+C	Rango (a)	Rango efectivo (m)	r ²	RSS
Toxafeno h=4						
Esférico	219,00	2251,00	2,410	2,410	0,000	468214
Exponencial	435,00	2251,00	0,060	0,180	0,000	468214
Lineal	2251,41062	2251,41602	9,721	9,721	0,946	468214
Diazinon h=4						
Esférico	0,033300	0,1446	5,860	5,860	0,999	1,025E-06
Exponencial	0,025	0,153	2,72	8,16	0,969	4,554E-05
Lineal	0,0905	0,1525	9,721	9,721	0,764	5,681E-03
Endrin Aldehido h=3						
Esférico	0,000007	0,000071	1,830	1,830	0,000	2,120E-09
Exponencial	0,000015	0,000071	0,050	0,150	0,000	2,120E-09
Lineal	71,00	0,000071	10,299	10,299	0,000	2,120E-09
Malation h=3						
Esférico	224,00	0,001848	27,520	27,520	0,750	9,820E-08
Exponencial	0,000201	0,003192	29,400	88,200	0,735	1,040E-07
Lineal	0,000217	0,001114	10,299	10,299	0,767	1,492E-06
Endrin Cetona h=4						
Esférico	0,001	0,603	25,45	25,45	0,889	3,994E-03
Exponencial	0,001	1,114	29,19	87,57	0,879	4,454E-03
Lineal	100,00	0,134	3,90	3,90	0,901	3,501E-03

Tabla 7.9 Ajuste de los semivariogramas para el cálculo de la grilla

Parámetro	Distancia de estimación	Modelo	Nugget Co	Sill Co+C	Porcentaje de Nugget	r ²	Rango (m)
4,4 DDD	1m	Lineal	10,00	6110,00	16.37	0,998	3,90
4,4 DDT	1m	Esférico	100,00	51300,00	19.49	0,948	16,15
4,4 DDE	1m	Esférico	1,00	439,20	0.22	0,948	16,15
Toxafeno	4m	“Lineal”	2251,41062	2251,41062	0.00	0,946	9,721
Diazinon	4m	Esférico	0,033300	0,1446	23.03	0,999	5,860
Forato	1m	Esférico	1,00	4,9550	20.18	0,949	17,240
Metamidofos	1m	Esférico	10,00	10130,00	0.099	0,948	15,910
Clorpirifos	1m	Esférico	1,00	17,21	5.81	0,948	17,21
Endrin aldehido	3m	Pepita puro	-	-	-	0,000	-
Malation	3m	Lineal	0,000217	0,001114	1.94	0,767	10,299
Endrin cetona	4m	Esférico	0,0001	0,134	0.075	0,901	3,90

Tabla 7.10 Tamaño de la grilla calculada

Parámetro	Rango (m)	Tamaño de grilla (m)	Cada cuantas cuadrillas en la grilla se debe muestrear	Número total de cuadrículas a analizar por parámetro
4,4 DDD	3,90	4,0	1	6250
4,4 DDT	16,15	16,0	4	1562
4,4 DDE	16,15	16,0	4	1562
Toxafeno	9,721	10,0	2	3125
Diazinon	5,860	6,0	1	6250
Forato	17,240	17,0	4	1562
Metamidofos	15,910	16,0	4	1562
Clorpirifos	17,21	17,0	4	1562
Endrin aldehído	-	-	-	-
Malation	10,299	10,0	2	3125
Endrin cetona	3,90	4,0	1	6250

7.5 ANEXO 5: MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL LOTE COLOMBIATÓN

7.5.1 Localización de los puntos evaluados. Mapa

A partir de los datos reportados por el concepto técnico, se ubicaron los puntos georeferenciados de los cuales existía registro de toma y análisis de muestras. En la Figura 1(a) se presenta la distribución geoespacial de cada uno de ellos y La Figura 1(b) resalta con color rojo aquellos puntos en los cuales se encontraron residuos de plaguicidas y en azul los que no reportaban presencia de contaminantes



Figura 7.1 Distribución de puntos de muestreos registrados en el Concepto Técnico 886.

Para evaluar adecuadamente un lote con las características que presenta la contaminación en Colombiaton hay que tener claro que las contaminaciones de tipo antropogénico como es el caso de la zona de estudio, poseen típicamente una distribución heterogénea a través del espacio o del medio. Por lo tanto es evidente encontrar una gran variabilidad en las concentraciones reportadas y en su distribución espacial.

7.5.2 Interpolación de los Datos

En la Figura 2(a) se observa la distribución de metamidofos en el suelo superficial siendo muy puntual en tres de zonas con concentraciones superiores al 0,0008 (mg/kg) considerada esta última como la mínima concentración aceptable de limpieza, calculada por este estudio.

La distribución de del plaguicida malation (Figura 2b) en el suelo superficial presenta un foco único en los límites del lote y cercanías a Villacorelca, corresponde a una muestra compuesta de tres puntos reportando valores menores de a 0,16 (mg/kg). La Figura 3(a), representa la distribución del forato. Se identifican dos zonas, la primera localizada en la parte superior que registra el valor más alto del contaminante, conformado por cuatro puntos que están localizados a 20m cada uno, de la cual hicieron una muestra compuesta y la segunda zona con concentraciones menores de la zona crítica anterior pero que están por encima de los valores de limpieza de 0,095 (mg/kg).

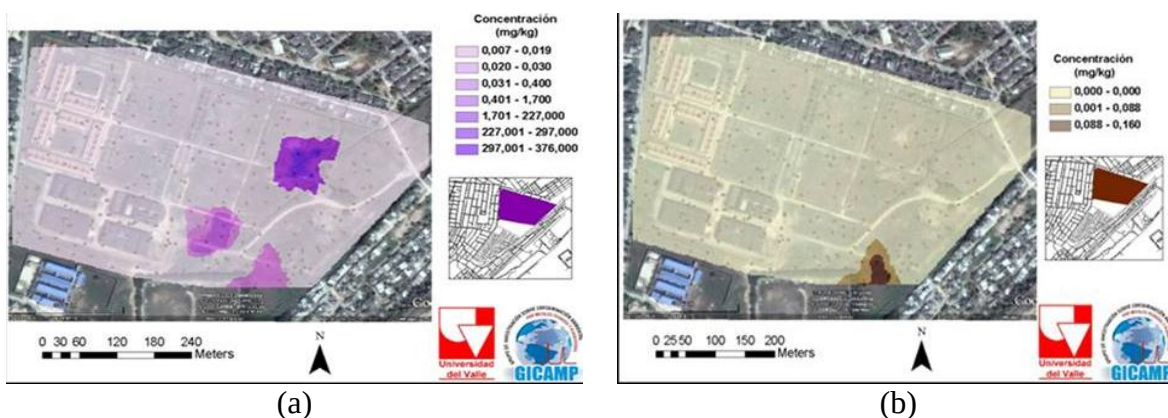


Figura 7.2 Distribución espacial del (a) metamidofos y (b) Malation en la zona de estudio.

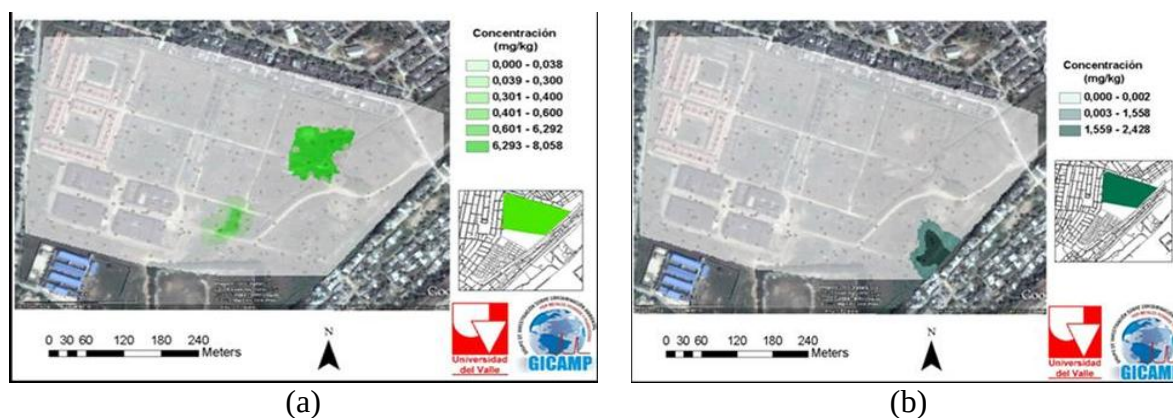


Figura 7.3 Distribución espacial del (a) Forato y (b) Endrin Cetona en la zona de estudio.

El origen de la endrin cetona y la endrin aldehído es la endrina. La persistencia de la endrina en el medio ambiente depende en gran parte de las condiciones locales. Ciertos cálculos indican que la endrina puede permanecer en el suelo por más de 10 años. La presencia de endrina cetona y aldehído se debe a la degradación de la endrina cuando se expone a altas temperaturas o a la luz. No se sabe que le sucede a la cetona o al aldehído de la endrina cuando se liberan al medio ambiente. Sin embargo, la cantidad de endrina que se degrada a aldehído o a cetona de endrina es muy pequeña. La ubicación de la endrin cetona (Figura 3(b)) y el endrin aldehído (Figura 4(a)) en el lote, permite indicar que se trata de dos focos distintos de contaminación puesto que no hay superposición de la presencia aunque si están muy cercanos, lo cual indica que se trata de dos puntos diferentes de contaminación pero que el compuesto original era el insecticida endrin.

La representación espacial del plaguicida diazinon, permite ubicarlo casi en las mismas zonas donde está localizado el metamidofos, igualmente hay zonas que coinciden con el endrin aldehído, el forato y el malation, lo que indica que en estos tres puntos es posible se hayan realizado enterramientos de material y que serían focos para realizar la limpieza del lote, ya que se confirma la presencia de varios contaminantes.

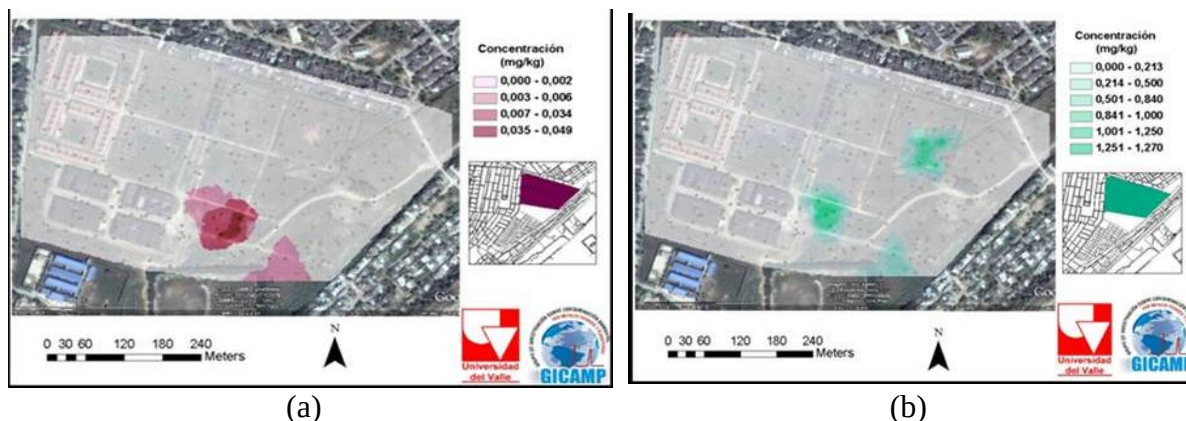


Figura 7.4 Distribución espacial del (a) Endrín Aldehído y (b) Diazinon en la zona de estudio.

La distribución que presentan el DDT, el DDD y el DDE en el lote (Figuras 5(a), 5(b) y 6(a)) es bastante interesante pues están distribuidos ampliamente por todo el lote. Coincide su distribución y las concentraciones más altas, como se sabe hay una relación en la presencia de estos compuestos con los procesos degradativos. La evaluación realizada por este estudio sugiere un límite de limpieza de 0,0066 mg/Kg para el DDT.

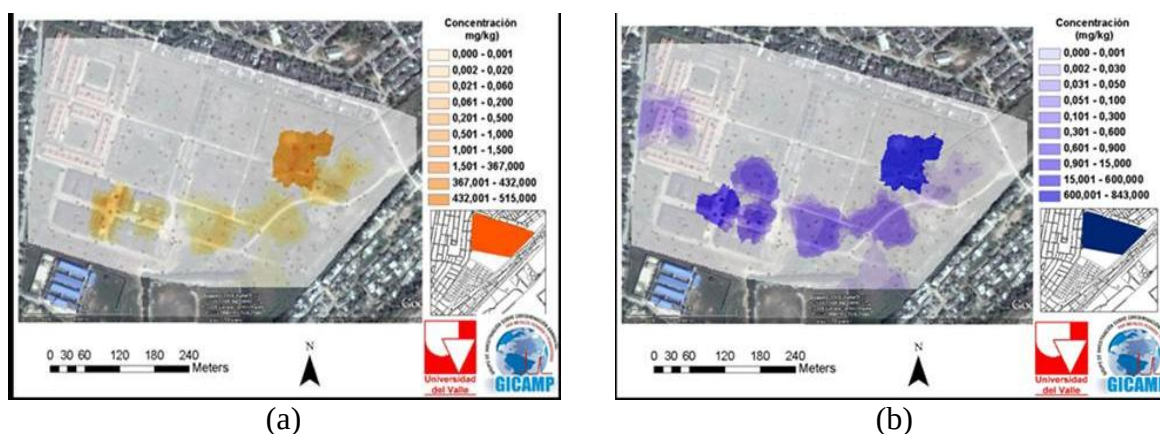


Figura 7.5 Distribución espacial del (a) DDT y (b) DDD en la zona de estudio.

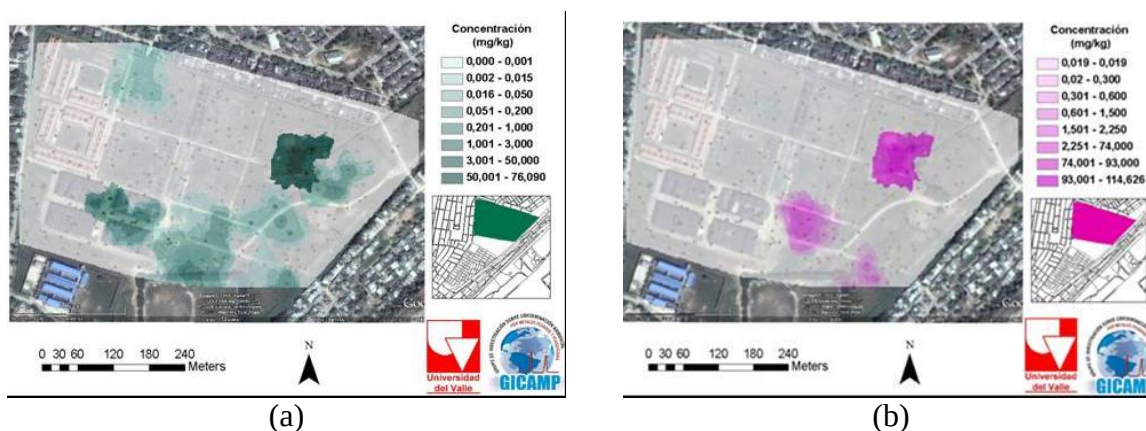


Figura 7.6 Distribución espacial del (a) DDE y (b) Clorpirifos en la zona de estudio.

Como se puede ver en la Figura 6(b), la distribución espacial del clorpirifos coincide con la distribución general de los plaguicidas diazinon, metamidofos, endrin aldehído, forato y el malation, lo que indica que estos tres puntos merecen especial atención para cualquier intento de limpieza del lote. En la Figura 7 se reportan las distribuciones de las concentraciones del toxafeno, al igual que las de la familia del DDT, se encuentran por la mayor parte del lote, con zonas de concentraciones muy altas, (mayores de 200 ppm). Es un plaguicida para seguirlo con gran cuidado debido a su toxicidad y características de sinergismo donde la exposición combinada de organoclorados y organofosforados potencia los efectos de los primeros. El valor de limpieza calculado para el toxafeno es de 2,2 ppm.

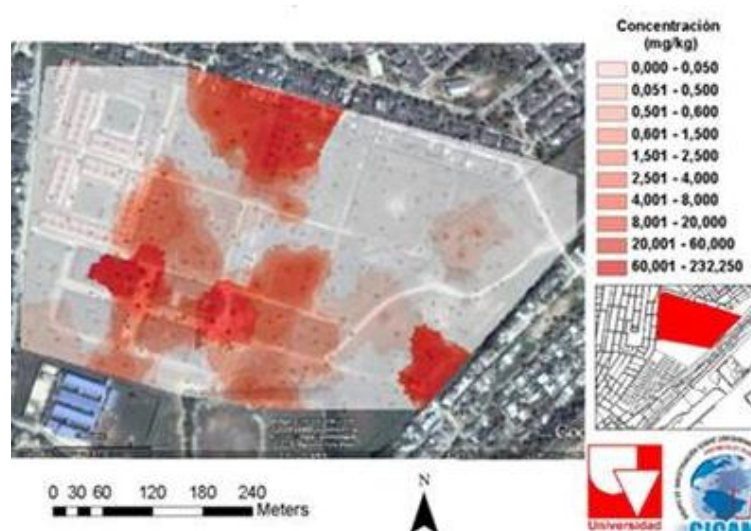


Figura 7.7 Distribución espacial del toxafeno en la zona de estudio

7.6 ANEXO 6: PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN DEL MUESTREADOR DE PUF ACTIVO TISCH TE 1000

7.6.1 Conexión del equipo

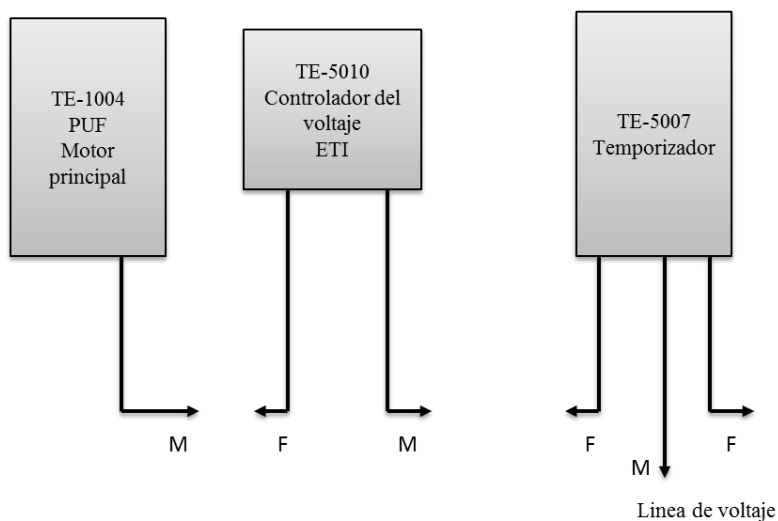


Figura 7.8 Esquema de conexión del equipo

- 1) El cable macho del motor TE-1004 se conecta al cable hembra del Control del voltaje
- 2) El cable macho del Control de voltaje se conecta al cable hembra del Temporizador que se encuentra en el lado izquierdo
- 3) El otro cable hembra del Temporizador que se encuentra en el lado derecho, todo el tiempo esta desconectado y es un conector adicional.



(a)



(b)



(c)

Figura 7.9 Foto cable hembra sin conexión (a), Cable macho que se encuentra en el Temporizador va a la línea de voltaje (b), Fotos de las conexiones (b)

7.6.2 Procedimiento de calibración

- 1) La calibración del sistema de muestreo PUF se realiza sin filtro de espuma (TE-1010) y sin filtro de papel en el módulo de muestreo. Sin embargo, el cartucho de vidrio vacío debe permanecer en el módulo para asegurar un buen sello a través del módulo.



Figura 7.10 Ensamblaje del módulo PUF sin filtros para la calibración

- 2) Instalar el Calibrador TE-5040A (orificio) en la parte superior del soporte de filtro de 4". Apretar y asegurarse de que no haya fugas.

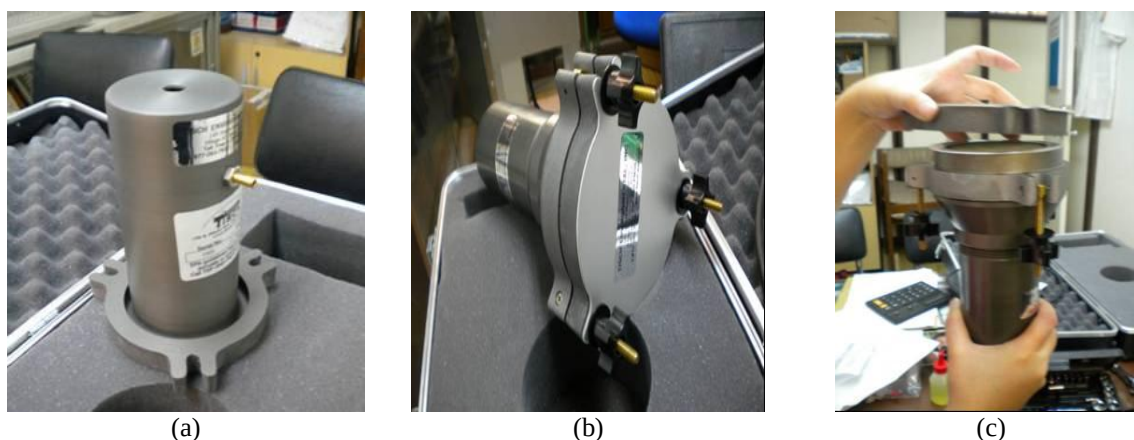


Figura 7.11 (a) Calibrador, (b) Modulo PUF, (c) Modulo PUF sin filtro de papel y sin filtro de espuma

- 3) Abrir los dos puertos en la parte superior del manómetro de agua y conectar la manguera negra desde el puerto de manómetro hasta el Calibrador TE-5040A para la toma de presión. Dejar el lado opuesto del puerto de manómetro abierto a la atmósfera.



Figura 7.12 Ajuste del Calibrador al módulo PUF



Figura 7.13 Manómetro con ambos puertos abiertos y Ajuste en el calibrador de la manguera que va al manómetro para la calibración

- 4) Abrir completamente la válvula de paso (el mango debe estar recto hacia arriba), este se encuentra dentro del armazón directamente sobre el motor.

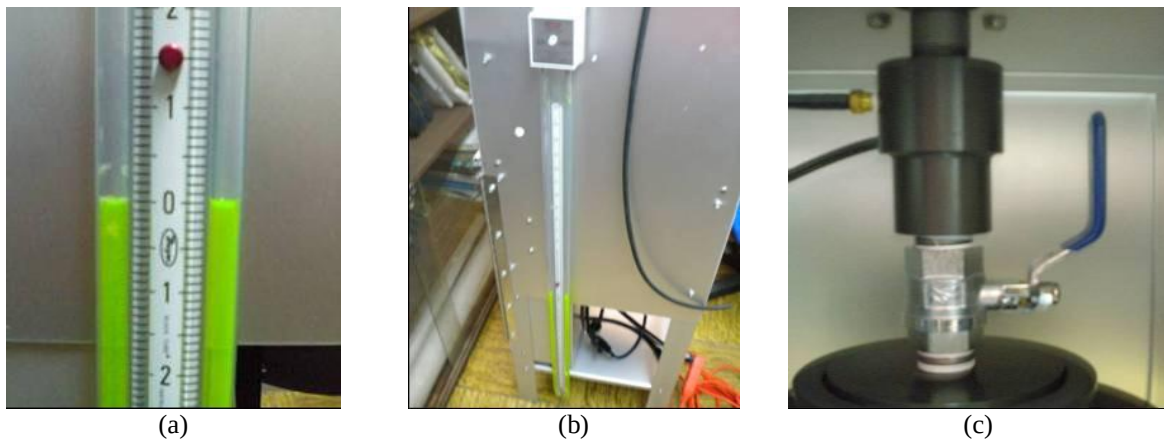


Figura 7.14 (a) Posición inicial de los niveles de agua a presión atmosférica (b) Ubicación del manómetro (c) Válvula de paso abierta (mango recto)

- 5) Antes de conectar el equipo a la fuente de energía verificar que el interruptor manual en el temporizador se encuentra apagado. Conectar y encender el sistema, activando el interruptor manual en el temporizador. Dejar unos minutos para que el motor se caliente.



Figura 7.15 (a) Temporizador Foto 18. (b) Medidor Magnehelic a 60 pulgadas

- 6) Ajustar y apretar el tornillo de control de voltaje (variac) en el TE-5010 para obtener una lectura de 70 pulgadas en el marcador del Medidor Magnehelic (u 80 como se desee). No cambiar hasta finalizar la calibración.
- 7) Con 70 pulgadas en el medidor como punto de calibración inicial, registre esta cifra y la lectura del manómetro de agua en la hoja de datos. Para leer el manómetro un lado va arriba y el otro va abajo, sumar ambos lados, estas son las pulgadas de agua.
- 8) Cerrar la válvula de paso ligeramente para reajustar el registro del medidor hasta 60 pulgadas. Registrar esta cifra y la lectura del manómetro de agua en la hoja de datos.
- 9) Utilizando el procedimiento anterior, ajustar la válvula de paso para las lecturas a 50, 40 y 30 pulgadas y registrar las lecturas del manómetro de agua en la hoja de datos. Se deben tener 5 juegos de números de 10 números en total.

10) Apagar manualmente el muestreador.



GRUPO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES Y PLAGUICIDAS

HOJA DE CALIBRACIÓN MUESTREADOR ACTIVO PUF TISCH TE1000

EMPLAZAMIENTO

LOCALIZACION:
MUESTREADOR: TE-PUFFECHA:
RESPONSABLE:

CONDICIONES

Altura PUF (cm):
P atmosférica (mm Hg):
T (°C):Altura PUF (cm):
P atmosférica (mm Hg):
T (K):

CALIBRACION ORIFICIO

Marca: Tisch
Modelo: TE-5040A
Serial #: 1602Pendiente Qst:
Intercepto Qst:
Fecha certificacion: 6-09

CALIBRACIÓN

Test #	H2O (in)	Qstd (m3/min)	FLUJO (magn)	FLUJO (corregido)	REGRESIÓN LINEAL
1					
2					Pendiente:
3					Intercepto:
4					r2:
5					

CALCULOS

$$Qstd = 1/m [\text{Sqrt}(H2O(Pa/Pstd)(Tstd/Ta)) - b]$$

$$FLUJO(\text{corregido}) = \text{Sqrt}((\text{magn})(Pa/Pstd)(Tstd/Ta))$$

Qstd = tasa de flujo estándar
 FLUJO(magn) = lectura del Medidor Magnehelic
 FLUJO(corregido) = tasa de flujo corregido
 m = pendiente Qstd del Calibrador
 b = intercepto Qstd del Calibrador
 Ta = Temperatura durante la calibración (K)
 Pa = Presión durante la calibración (mm Hg)
 Tstd = 298 K
 Pstd = 760 mm Hg

Para los siguientes calculos de flujo de muestreador
 $1/m [\text{Sqrt}(\text{magn})(Pav/760)(298/Tav)) - b]$
 m = pendiente del muestreador
 b = intercepto del muestreador
 (magn) = Lectura Magnehelic
 Tav = Temperatura diaria promedio
 Pav = Presión diaria promedio



GRUPO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES Y PLAGUICIDAS

HOJA DE CALIBRACIÓN MUESTREADOR ACTIVO PUF TISCH TE1000

EMPLAZAMIENTO

LOCALIZACION: UNIVALLE
MUESTREADOR: TE-PUF

FECHA: 24-09-09
RESPONSABLE: GICAMP

CONDICIONES

Altura PUF (cm):

P atmosf. (mm Hg):

670

T (°C):

26

T (K):

299

CALIBRACION ORIFICIO

Marca: Tisch

Pendiente Qst:

10,39946

Modelo: TE-5040A

Intercepto Qst:

-0,04665

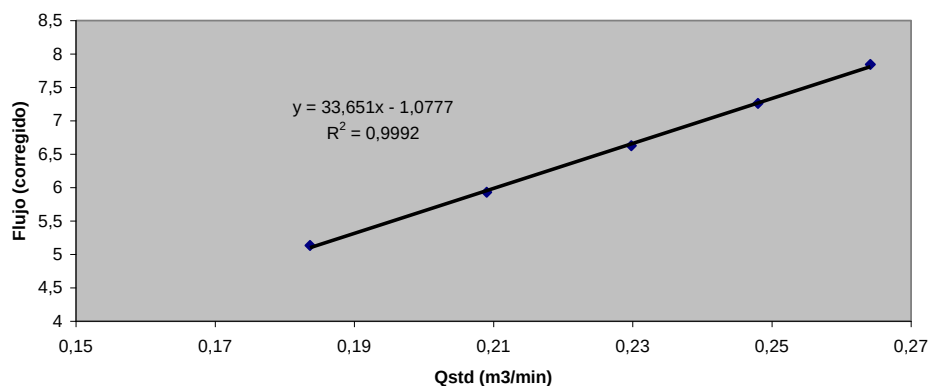
Serial #: 1602

Fecha certificacion: 6-09

CALIBRACIÓN

Test #	H2O (in)	Qstd (m3/min)	FLUJO (magn)	FLUJO (corregido)	REGRESIÓN LINEAL
1	8,3	0,2641616	70	7,84245731	
2	7,3	0,2480165	60	7,26070461	Pendiente: 33,651
3	6,25	0,2298227	50	6,62808616	Intercepto: -1,0777
4	5,15	0,2090342	40	5,92834049	r2: 0,9992
5	3,95	0,1836251	30	5,13409346	

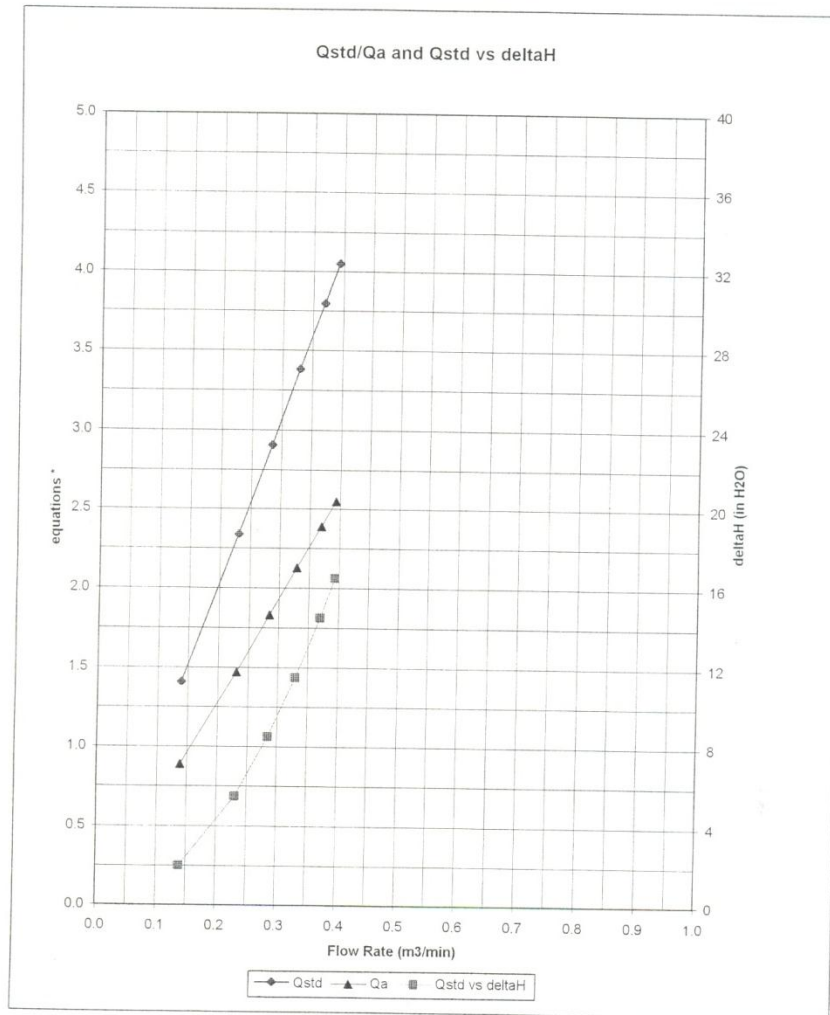
Curva de calibración 24-09-09





TISCH ENVIRONMENTAL, INC.
145 SOUTH MIAMI AVE.
VILLAGE OF CLEVELAND, OH 44102
513.467.9000
877.263.7610 TOLL FREE
513.467.9009 FAX
WWW.TISCH-ENV.COM

AIR POLLUTION MONITORING EQUIPMENT



* y-axis equations:

Qstd series: $\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_a}{P_{std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_a} \right)}$

Qa series: $\sqrt{(\Delta H (T_a / P_a))}$

#1602



TISCH ENVIRONMENTAL, INC.
145 SOUTH MIAMI AVE.
VILLAGE OF CLEVELAND, OH 45002
513.467.9000
877.263.7610 TOLL FREE
513.467.9009 FAX
WWW.TISCH-ENV.COM

AIR POLLUTION MONITORING EQUIPMENT

ORIFICE TRANSFER STANDARD CERTIFICATION WORKSHEET TE-5040A

Date - Jun 15, 2009 Rootsmeter S/N 9833620 Ta (K) - 298
Operator Jim Tisch Orifice I.D. - 1602 Pa (mm) - 755.65

PLATE OR VDC #	VOLUME START (m3)	VOLUME STOP (m3)	DIFF VOLUME (m3)	DIFF TIME (min)	METER	ORFICE
					DIFF Hg (mm)	DIFF H2O (in.)
1	NA	NA	1.00	7.1080	3.6	2.00
2	NA	NA	1.00	4.2580	10.0	5.50
3	NA	NA	1.00	3.4210	15.3	8.50
4	NA	NA	1.00	2.9380	20.7	11.50
5	NA	NA	1.00	2.5960	26.1	14.50
6	NA	NA	1.00	2.4280	29.7	16.50

DATA TABULATION

Vstd	(x axis) Qstd	(y axis)		Va	(x axis) Qa	(y axis)
0.9894	0.1392	1.4102		0.9951	0.1400	0.8881
0.9811	0.2304	2.3385		0.9867	0.2317	1.4728
0.9741	0.2847	2.9071		0.9797	0.2863	1.8309
0.9669	0.3291	3.3814		0.9725	0.3310	2.1296
0.9598	0.3697	3.7970		0.9653	0.3718	2.3913
0.9552	0.3934	4.0504		0.9607	0.3956	2.5509
Qstd slope (m) =		10.39946		Qa slope (m) =		6.51196
intercept (b) =		-0.04665		intercept (b) =		-0.02938
coefficient (r) =		0.99993		coefficient (r) =		0.99993
y axis = SQRT [H2O (Pa/760) (298/Ta)]				y axis = SQRT [H2O (Ta/Pa)]		

CALCULATIONS

Vstd = Diff. Vol [(Pa-Diff. Hg)/760] (298/Ta)
Qstd = Vstd/Time

Va = Diff Vol [(Pa-Diff Hg)/Pa]
Qa = Va/Time

For subsequent flow rate calculations:

Qstd = 1/m{ [SQRT (H2O (Pa/760) (298/Ta))] - b}
Qa = 1/m{ [SQRT H2O (Ta/Pa)] - b}

7.7 ANEXO 7: RESULTADOS DE CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS Y ORGANOFOSFORADOS

	ALTAS			INTERMEDIAS			BAJAS		
	Intercepto	Pendiente	R	Intercepto	Pendiente	R	Intercepto	Pendiente	R
Alfa-BHC	1,645	0,0037	0,982	0,241	0,0367	0,999	0,009	0,0069	0,999
Beta-BHC	1,198	0,0005	0,993	0,044	0,0014	0,995	0,033	0,0017	0,999
Gamma-BHC	2,657	0,0023	0,997	0,380	0,1312	0,999	0,007	0,0052	0,999
Endosulfan Alfa	0,597	0,0013	0,996	-0,038	0,0019	0,996	0,103	0,0013	0,999
DDE	0,376	0,0023	0,995	-0,048	0,0041	0,997	0,092	0,0028	0,999
Dieldrin	0,432	0,0014	0,997	-0,003	0,0017	0,997	0,122	0,0012	1,000
Endrin	0,461	0,0008	0,997	0,127	0,0011	0,998	0,111	0,0011	0,998
DDT	0,220	0,0005	0,990	0,039	0,0013	0,999	0,061	0,0011	0,999
Metoxicloro	0,031	0,0003	0,998	0,341	-0,1142	-0,998	-0,001	0,0005	1,000
Endrin Cetona	0,500	0,0005	0,997	0,973	183,43	1,000	0,074	0,0007	0,996
Aldrin	////////	////////	////////	-0,239	0,0050	0,995	0,023	0,0036	0,999
Diclorvos	0,699	0,0002	0,988	0,133	0,0003	0,994	0,070	0,0002	0,984
Sulfotep	-0,011	0,0000	0,994	-0,031	0,0000	0,902	0,002	0,0000	0,914
Thionazin	-0,430	0,0002	0,971	0,063	0,0001	0,999	0,053	0,0001	0,953
Profos	0,014	0,0001	0,975	0,033	0,0001	1,000	-0,032	0,0001	0,993
Dimetoato	0,067	0,0003	1,000	0,117	0,0002	0,996	0,040	0,0003	0,994
Diazinon	0,083	0,0001	0,975	0,055	0,0001	0,997	-0,028	0,0002	0,988
Disulfoton	-0,120	0,0001	0,922	-0,003	0,0001	0,995	0,011	0,0001	0,961
Metil-Parathion	0,655	0,0005	0,998	0,031	0,0006	0,992	////////	////////	////////
Clorpirifos	-7,527	0,0139	0,961	0,220	0,0006	0,998	0,057	0,0009	0,996
Parathion	-7,027	0,0011	0,658	-0,015	0,0000	0,958	////////	////////	////////
Prothiofos	0,613	0,0007	0,989	-0,146	0,0010	0,986	0,083	0,0010	0,998
Famfur	0,627	0,0009	0,980	-0,160	0,0011	0,998	0,118	0,0009	0,997
Guthion	0,034	0,0001	0,995	-0,004	0,0001	0,993	-0,023	0,0001	0,994

7.8 ANEXO 8: COMANDOS UTILIZADOS Y RESULTADOS ARROJADOS POR EL PROGRAMA R.2.7.2

```
> a<-file.choose()
> a
[1] "C:\\Documents and
Settings\\usuario\\Escritorio\\CARTAGENA\\COLOMBIATON\\mitadND.txt"
> b<-read.table(a,h=T)
> summary(b)
```

DDD		DDT		DDE		TOXAFENO		DIAZINON		PHORATE		METAMIDOFOS	
CLORPIRIFOS	Min. : 0.0005	ENDRINALD	Min. : 0.001	Min. : 0.001	Min. : 0.050	Min. : 0.2125	Min. : 0.0380	Min. :					
0.0068	Min. : 0.019	Min. : 0.002000											
1st Qu.:	0.0005	1st Qu.:	0.001	1st Qu.:	0.001	1st Qu.:	0.2125	1st Qu.:	0.0380	1st Qu.:			
0.0068	1st Qu.:	0.019	1st Qu.:	0.002000									
Median :	0.0005	Median :	0.001	Median :	0.001	Median :	0.2125	Median :	0.0380	Median :			
0.0068	Median :	0.019	Median :	0.002000									
Mean :	7.1728	Mean :	11.849	Mean :	1.112	Mean :	6.430	Mean :	0.2481	Mean :	0.1542	Mean :	
5.2337	Mean :	1.653	Mean :	0.002585									
3rd Qu.:	0.0005	3rd Qu.:	0.001	3rd Qu.:	0.001	3rd Qu.:	0.2125	3rd Qu.:	0.0380	3rd Qu.:			
0.0068	3rd Qu.:	0.019	3rd Qu.:	0.002000									
Max. :	514.9000	Max. :	842.000	Max. :	76.200	Max. :	232.242	Max. :	1.2700	Max. :	8.0700	Max. :	
:376.1400	Max. :	114.880	Max. :	0.049000									
MALATHION	Min. : 0.000000	ENDRINCET	Min. : 0.00200	N	Min. : 10.37	W	Min. : -75.47						
1st Qu.:	0.000000	1st Qu.:	0.00200		1st Qu.:	10.38	1st Qu.:	-75.47					
Median :	0.000000	Median :	0.00200		Median :	10.38	Median :	-75.47					
Mean :	0.001661	Mean :	0.03556		Mean :	10.38	Mean :	-75.47					
3rd Qu.:	0.000000	3rd Qu.:	0.00200		3rd Qu.:	10.38	3rd Qu.:	-75.47					
Max. :	0.160000	Max. :	2.42700		Max. :	10.38	Max. :	-75.47					

```
> library(boot)
> y<-b
> xm.boot <- boot(y$DDD, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.034, 12.530 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$DD, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
Error en tapply(1L:n, as.numeric(strata)) :
arguments must have same length
> xm.boot <- boot(y$DDT, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.11, 20.68 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$DDE, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
```

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS

Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :

boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :

Level Basic

95% (0.029, **1.925**)

Calculations and Intervals on Original Scale

> xm.boot <- boot(y\$TOXAFENO, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)

> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS

Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :

boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :

Level Basic

95% (2.749, **9.457**)

Calculations and Intervals on Original Scale

> xm.boot <- boot(y\$DIAZINON, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)

> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS

Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :

boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :

Level Basic

95% (0.2249, **0.2676**)

Calculations and Intervals on Original Scale

> xm.boot <- boot(y\$PHORATE, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)

> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS

Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :

boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

Intervals :

Level Basic

95% (0.0413, **0.2409**)

Calculations and Intervals on Original Scale

> xm.boot <- boot(y\$METAMIDOFOS, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)

> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS

Based on 10000 bootstrap replicates

CALL :

boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

```

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.015,  9.151 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$CLORPIRIFOS, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

```

```

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

```

```

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.045,  2.864 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$ENDRINALD, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

```

```

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

```

```

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.0019,  0.0031 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$MALATHION, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

```

```

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

```

```

Intervals :
Level      Basic
95%      (-0.0006,  0.0033 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> xm.boot <- boot(y$ENDRINCET, function(x, i) mean(x[i]), R = 10000)
> boot.ci(xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 10000 bootstrap replicates

```

```

CALL :
boot.ci(boot.out = xm.boot, conf = c(0.95), type = c("basic"))

```

```

Intervals :
Level      Basic
95%      ( 0.0020,  0.0607 )
Calculations and Intervals on Original Scale

```

7.9 ANEXO 9: DATOS DE ENTRADA UTILIZADOS PARA CORRER EL PROGRAMA RISC Y RESULTADOS

Scenarios:

Child Resident - RME

Adult Resident - RME

Routes:

Ingestion of soil

Dermal contact with soil

Inhalation of indoor air

Ingestion of root vegetables

Ingestion of above ground vegetables

Chemicals:

Forato

Diazinon

DDT

DDE

DDD

Clorpirifos

Metamidofos

Toxafeno

Malathion

Endrinetona

Endrinaldehido

NOTE: A zero hazard index may indicate that a RfD was not entered for that chemical.

Scenarios		1 Child Resident - RME	2 Adult Resident - RME
Lifetime and body weight	Body Weight (kg)	15	70
	Lifetime (years)	70	70
Ingestion of soil	Soil Ingestion Rate (mg/day)	200	100
	Exp. Frequency Soil (events/year)	350	350
	Exp. Duration Soil (years)	6	24
	Total Skin Surface Area (cm ²)	7280	23000
Dermal contact with soil	Fraction Skin Exposed to Soil (-)	0,55	0,25
	Adherence Factor for Soil (mg/cm ²)	0.20	0.20
	Exposure Freq. Soil (events/year)	350	350
	Exposure Duration Soil (years)	6	24
Inhalation of indoor air	Inhalation rate (m ³ /hr)	0,62	0,83
	Time indoors (hours/day)	24	24
	Lung Retention Factor (-)	1	1
	Exp. Freq. Indoor Air (events/yr)	350	350
	Exp. Duration Indoor Air (yr)	6	30

Scenarios	Ingestion of soil				Dermal contact with soil				Inhalation of indoor air	
	Absorption Adjustment Factor for Ingestion of Soil (-)		Soil Bioavailability (-)		Dermal Exposure to Soil (-)		Soil Bioavailability (-)		Absorption Adjustment Factor for Inhalation (-)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Forato	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Diazinon	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
DDT	1,00	1,00	1,00	1,00	0,03	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00
DDE	1,00	1,00	1,00	1,00	0,03	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00
DDD	1,00	1,00	1,00	1,00	0,03	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00
Clorpirifos	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Metamidofos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Toxafeno	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Malathion	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Endrinetona	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Endrinaldehido	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00

Scenarios	Ingestion of root vegetables / Ingestion of above ground vegetables (from chemical database)							
	Koc [(mg/l)/(mg/l)]		log Kow		Vegetable Uptake Factor [-]		Kd [(mg/L)/(mg/kg)]	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Forato	4,44E+02	4,44E+02	3,40	3,40	3,90	3,90	ND	ND
Diazinon	1,30	1,30	3,90	3,90	0,24	0,24	ND	ND
DDT	2,30	2,30	6,80	6,80	3,78E-03	3,78E-03	ND	ND
DDE	0,04	0,04	6,00	6,00	6,45E-03	6,45E-03	ND	ND
DDD	1,53E+05	1,53E+05	5,90	5,90	1,24E-02	1,24E-02	ND	ND
Clorpirifos	6830	6830	4,70	4,70	5,11E-02	5,11E-02	ND	ND
Metamidofos	3,80	3,80	ND	ND	112	112	ND	ND
Toxafeno	7,72E+04	7,72E+04	5,80	5,80	1,71E-02	1,71E-02	ND	ND
Malathion	3,10	3,10	2,40	2,40	1,60	1,60	ND	ND
Endrinetona	9,72E+03	9,72E+03	5,00	5,00	ND	ND	ND	ND
Endrinaldehido	3,27E+03	3,27E+03	4,80	4,80	6,33E-02	6,33E-02	ND	ND

Media concentrations

Scenarios	Concentration in Surficial Soil (mg/kg) a		Conc. in Garden Soil (mg/kg) (This will be the same as surficial soil conc) a		Concentration in Indoor Air (mg/m ³) b		Concentration used to calculate hazard index c	
	1	2	1	2	1	2	1	2
	Exposure Duration (years)				6	30	6	7
Forato	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01	2,40E-01	7,74E-08	7,74E-08	7,74E-08	7,74E-08
Diazinon	2,70E-01	2,70E-01	2,70E-01	2,70E-01	5,62E-08	5,62E-08	5,62E-08	5,62E-08
DDT	2,10E+01	2,10E+01	2,10E+01	2,10E+01	2,53E-08	2,53E-08	2,53E-08	2,53E-08
DDE	1,90E+00	1,90E+00	1,90E+00	1,90E+00	2,75E-07	2,75E-07	2,75E-07	2,75E-07
DDD	1,30E+01	1,30E+01	1,30E+01	1,30E+01	2,99E-09	2,99E-09	2,99E-09	2,99E-09
Clorpirifos	2,90E+00	2,90E+00	2,90E+00	2,90E+00	1,83E-08	1,83E-08	1,83E-08	1,83E-08
Metamidofos	9,20E+00	9,20E+00	9,20E+00	9,20E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Toxafeno	9,50E+00	9,50E+00	9,50E+00	9,50E+00	3,77E-09	3,77E-09	3,77E-09	3,77E-09
Malathion	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03	1,13E-10	1,13E-10	1,13E-10	1,13E-10
Endrinetona	6,07E-02	6,07E-02	6,07E-02	6,07E-02	5,90E-11	5,90E-11	5,90E-11	5,90E-11
Endrinaldehido	3,10E-03	3,10E-03	3,10E-03	3,10E-03	2,44E-09	2,44E-09	2,44E-09	2,44E-09

a Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

b Obtained from Fate and Transport output, AVERAGE Concentration (over exposure duration) (used to calculate carcinogenic risk)

c Minimum of 7 years or exposure duration

Slope factors and reference doses

Scenarios	Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]		Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)		Inhalation Slope Factor [1/(mg/kg-day)]		Inhalation Reference Dose (mg/kg-day)		Dermal Slope Factor [1/(mg/kg-day)]		Dermal Reference Dose (mg/kg-day)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Forato	ND	ND	2,00E-04	2,00E-04	ND	ND	1,43E-05	1,43E-05	ND	ND	4,00E-04	4,00E-04
Diazinon	ND	ND	9,00E-04	9,00E-04	ND	ND	2,86E-04	2,86E-04	ND	ND	1,80E-03	1,80E-03
DDT	3,40E-01	3,40E-01	5,00E-04	5,00E-04	3,40E-01	3,40E-01	ND	ND	2,40E-01	2,40E-01	1,00E+00	4,00E+03
DDE	3,40E-01	3,40E-01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,40E-01	2,40E-01	1,00E+00	4,00E+03
DDD	2,40E-01	2,40E-01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,70E-01	1,70E-01	ND	ND
Clorpirifos	ND	ND	3,00E-03	3,00E-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Metamidofos	ND	ND	5,00E-05	5,00E-05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,00E-03	6,00E-03
Toxafeno	1,10E+00	1,10E+00	ND	ND	1,10E+00	1,10E+00	ND	ND	5,50E-01	5,50E-01	ND	ND
Malathion	ND	ND	2,00E-02	2,00E-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Endrinetona	ND	ND	3,00E-04	3,00E-04	ND	ND	2,86E-05	2,86E-05	ND	ND	4,00E-02	4,00E-02
Endrinaldehido	ND	ND	3,00E-04	3,00E-04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,00E-04	6,00E-04

Ingestion of soil

Daily Doses and Risk for	Scenarios	CADD (mg/kg-day)	LADD (mg/kg-day)	Cancer Risk (-)	Hazard Index (-)
Forato	1	3,08E-06	2,64E-07	0	1,54E-02
	2	3,30E-07	1,13E-07	0	1,65E-03
	Added		3,77E-07	0	
Diazinon	1	3,42E-06	2,93E-07	0	3,80E-03
	2	3,67E-07	1,26E-07	0	4,07E-04
	Added		4,19E-07	0	
DDT	1	2,64E-04	2,27E-05	7,71E-06	5,29E-01
	2	2,83E-05	9,71E-06	3,30E-06	5,67E-02
	Added		3,24E-05	1,10E-05	
DDE	1	2,46E-05	2,11E-06	7,17E-07	0
	2	2,64E-06	9,04E-07	3,07E-07	0
	Added		3,01E-06	1,02E-06	
DDD	1	1,60E-04	1,37E-05	3,30E-06	0
	2	1,72E-05	5,88E-06	1,41E-06	0
	Added		1,96E-05	4,71E-06	
Clorpirifos	1	3,66E-05	3,14E-06	0	1,22E-02
	2	3,92E-06	1,35E-06	0	1,31E-03
	Added		4,48E-06	0	
Metamidofos	1	1,17E-04	1,00E-05	0	2,34E+00
	2	1,25E-05	4,30E-06	0	2,51E-01
	Added		1,43E-05	0	
Toxafeno	1	1,21E-04	1,04E-05	1,14E-05	0
	2	1,30E-05	4,44E-06	4,89E-06	0
	Added		1,48E-05	1,63E-05	
Malathion	1	4,22E-08	3,62E-09	0	2,11E-06
	2	4,52E-09	1,55E-09	0	2,26E-07
	Added		5,17E-09	0	
Endrinetona	1	7,76E-07	6,65E-08	0	2,59E-03
	2	8,32E-08	2,85E-08	0	2,77E-04
	Added		9,50E-08	0	
Endrinaldehido	1	3,96E-08	3,40E-09	0	1,32E-04
	2	4,25E-09	1,46E-09	0	1,42E-05
	Added		4,85E-09	0	

Dermal contact with soil					
Daily Doses and Risk for	Scenarios	CADD (mg/kg-day)	LADD (mg/kg-day)	Cancer Risk (-)	Hazard Index (-)
Forato	1	1,23E-06	1,06E-07	0	3,08E-03
	2	3,79E-07	1,30E-07	0	9,49E-04
	Added		2,36E-07	0	
Diazinon	1	1,37E-06	1,17E-07	0	7,61E-04
	2	4,22E-07	1,45E-07	0	2,34E-04
	Added		2,62E-07	0	
DDT	1	3,18E-05	2,72E-06	6,48E-07	3,18E-05
	2	9,77E-06	3,35E-06	7,98E-07	2,44E-09
	Added		6,07E-06	1,45E-06	
DDE	1	2,96E-06	2,53E-07	6,03E-08	2,96E-06
	2	9,10E-07	3,12E-07	7,42E-08	2,27E-10
	Added		5,65E-07	1,35E-07	
DDD	1	1,92E-05	1,65E-06	2,77E-07	0
	2	5,92E-06	2,03E-06	3,41E-07	0
	Added		3,68E-06	6,18E-07	
Clorpirifos	1	1,47E-05	1,26E-06	0	0
	2	4,51E-06	1,55E-06	0	0
	Added		2,80E-06	0	
Metamidofos	1	4,68E-04	4,02E-05	0	7,81E-02
	2	1,44E-04	4,94E-05	0	2,40E-02
	Added		8,96E-05	0	
Toxafeno	1	4,84E-05	4,15E-06	2,28E-06	0
	2	1,49E-05	5,11E-06	2,81E-06	0
	Added		9,26E-06	5,09E-06	
Malathion	1	1,69E-08	1,45E-09	0	0
	2	5,20E-09	1,78E-09	0	0
	Added		3,23E-09	0	
Endrincetona	1	3,11E-07	2,66E-08	0	7,77E-06
	2	9,56E-08	3,28E-08	0	2,39E-06
	Added		5,94E-08	0	
Endrinaldehido	1	1,59E-08	1,36E-09	0	2,64E-05
	2	4,88E-09	1,67E-09	0	8,14E-06
	Added		3,03E-09	0	

Inhalation of indoor air

Daily Doses and Risk for	Scenarios	CADD (mg/kg-day)	LADD (mg/kg-day)	Cancer Risk (-)	Hazard Index (-)
Forato	1	7.42E-08	6.36E-09	0	5.19E-03
	2	2.11E-08	9.05E-09	0	1.48E-03
	Added		1.54E-08	0	
Diazinon	1	5.38E-08	4.62E-09	0	1.88E-04
	2	1.53E-08	6.57E-09	0	5.36E-05
	Added		1.12E-08	0	
DDT	1	2.42E-08	2.08E-09	7.06E-10	0
	2	6.90E-09	2.96E-09	1.00E-09	0
	Added		5.03E-09	1.71E-09	
DDE	1	2.64E-07	2.26E-08	0	0
	2	7.50E-08	3.21E-08	0	0
	Added		5.47E-08	0	
DDD	1	2.87E-09	2.46E-10	0	0
	2	8.15E-10	3.49E-10	0	0
	Added		5.95E-10	0	
Clorpirifos	1	1.76E-08	1.51E-09	0	0
	2	5.00E-09	2.14E-09	0	0
	Added		3.65E-09	0	
Metamidofos	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	Added		0	0	
Toxafeno	1	3.62E-09	3.10E-10	3.48E-10	0
	2	1.03E-09	4.41E-10	4.94E-10	0
	Added		7.52E-10	8.42E-10	
Malathion	1	1.08E-10	9.27E-12	0	0
	2	3.08E-11	1.32E-11	0	0
	Added		2.25E-11	0	
Endrinetona	1	5.66E-11	4.85E-12	0	1.98E-06
	2	1.61E-11	6.90E-12	0	5.63E-07
	Added		1.18E-11	0	
Endrinaldehido	1	2.34E-09	2.00E-10	0	0
	2	6.65E-10	2.85E-10	0	0
	Added		4.85E-10	0	

Ingestion of root vegetables

Daily Doses and Risk for	Scenarios	CADD (mg/kg-day)	LADD (mg/kg-day)	Cancer Risk (-)	Hazard Index (-)
Forato	1	1,10E-04	9,39E-06	0	5,48E-01
	2	4,23E-05	1,45E-05	0	2,12E-01
	Added		2,39E-05	0	
Diazinon	1	7,37E-06	6,32E-07	0	8,19E-03
	2	2,85E-06	9,77E-07	0	3,17E-03
	Added		1,61E-06	0	
DDT	1	9,09E-06	7,79E-07	2,65E-07	1,82E-02
	2	3,51E-06	1,20E-06	4,10E-07	7,03E-03
	Added		1,98E-06	6,74E-07	
DDE	1	1,44E-06	1,24E-07	4,21E-08	0
	2	5,58E-07	1,91E-07	6,51E-08	0
	Added		3,15E-07	1,07E-07	
DDD	1	1,81E-05	1,55E-06	3,72E-07	0
	2	6,98E-06	2,39E-06	5,75E-07	0
	Added		3,94E-06	9,46E-07	
Clorpirifos	1	1,70E-05	1,46E-06	0	5,67E-03
	2	6,58E-06	2,26E-06	0	2,19E-03
	Added		3,71E-06	0	
Metamidofos	1	1,19E-01	1,02E-02	0	2,38E+03
	2	4,61E-02	1,58E-02	0	9,21E+02
	Added		2,60E-02	0	
Toxafeno	1	1,88E-05	1,61E-06	1,77E-06	0
	2	7,27E-06	2,49E-06	2,74E-06	0
	Added		4,10E-06	4,51E-06	
Malathion	1	6,33E-07	5,43E-08	0	3,17E-05
	2	2,45E-07	8,39E-08	0	1,22E-05
	Added		1,38E-07	0	
Endrinetona	1	2,24E-07	1,92E-08	0	7,46E-04
	2	8,65E-08	2,97E-08	0	2,88E-04
	Added		4,88E-08	0	
Endrinaldehido	1	2,28E-08	1,96E-09	0	7,61E-05
	2	8,82E-09	3,02E-09	0	2,94E-05
	Added		4,98E-09	0	

Ingestion of above ground vegetables

Daily Doses and Risk for	Scenarios	CADD (mg/kg-day)	LADD (mg/kg-day)	Cancer Risk (-)	Hazard Index (-)
Forato	1	1,26E-04	1,08E-05	0	6,30E-01
	2	6,15E-05	2,11E-05	0	3,07E-01
	Added		3,19E-05	0	
Diazinon	1	8,48E-06	7,27E-07	0	9,43E-03
	2	4,14E-06	1,42E-06	0	4,60E-03
	Added		2,15E-06	0	
DDT	1	1,05E-05	8,96E-07	3,05E-07	2,09E-02
	2	5,10E-06	1,75E-06	5,94E-07	1,02E-02
	Added		2,64E-06	8,99E-07	
DDE	1	1,66E-06	1,42E-07	4,84E-08	0
	2	8,10E-07	2,78E-07	9,44E-08	0
	Added		4,20E-07	1,43E-07	
DDD	1	2,08E-05	1,78E-06	4,28E-07	0
	2	1,01E-05	3,48E-06	8,34E-07	0
	Added		5,26E-06	1,26E-06	
Clorpirifos	1	1,96E-05	1,68E-06	0	6,53E-03
	2	9,55E-06	3,27E-06	0	3,18E-03
	Added		4,95E-06	0	
Metamidofos	1	1,37E-01	1,18E-02	0	2,74E+03
	2	6,69E-02	2,29E-02	0	1,34E+03
	Added		3,47E-02	0	
Toxafeno	1	2,16E-05	1,85E-06	2,04E-06	0
	2	1,06E-05	3,62E-06	3,98E-06	0
	Added		5,47E-06	6,02E-06	
Malathion	1	7,28E-07	6,24E-08	0	3,64E-05
	2	3,55E-07	1,22E-07	0	1,78E-05
	Added		1,84E-07	0	
Endrincetona	1	4,11E-07	3,52E-08	0	1,37E-03
	2	2,00E-07	6,86E-08	0	6,67E-04
	Added		1,04E-07	0	
Endrinaldehido	1	2,62E-08	2,25E-09	0	8,75E-05
	2	1,28E-08	4,39E-09	0	4,27E-05
	Added		6,64E-09	0	

Scenarios	Ingestion of root vegetables		Ingestion of above ground vegetables	
	Soil-to-root Concentration Factor, Bvr		Soil-to-above-ground Concentration Factor, Bva	
	(mg/mg)		(mg/mg)	
	1	2	1	2
Forato	5,90E-01	5,90E-01	5,90E-01	5,90E-01
Diazinon	3,55E-02	3,55E-02	3,55E-02	3,55E-02
DDT	5,67E-04	5,67E-04	5,67E-04	5,67E-04
DDE	9,67E-04	9,67E-04	9,67E-04	9,67E-04
DDD	1,86E-03	1,86E-03	1,86E-03	1,86E-03
Clorpirifos	7,66E-03	7,66E-03	7,66E-03	7,66E-03
Metamidofos	1,70E+01	1,70E+01	1,70E+01	1,70E+01
Toxafeno	2,56E-03	2,56E-03	2,56E-03	2,56E-03
Malathion	2,50E-01	2,50E-01	2,50E-01	2,50E-01
Endrincetona	4,75E-03	4,75E-03	7,58E-03	7,58E-03
Endrinaldehido	9,49E-03	9,49E-03	9,49E-03	9,49E-03

CLEANUP

SUMMARY OF Clean-up levels

Clean-up Levels in Surface Soil	SSTLs
Receptor: Additive Receptor Case, [mg/kg]	
Forato	4.7E-05
Diazinon	5.2E-05
DDT	4.1E-03
DDE	3.7E-04
DDD	2.5E-03
Clorpirifos	5.6E-04
Metamidofos	1.8E-03
Toxafeno	1.8E-03
Malathion	6.4E-07
Endrincetona	1.2E-05
Endrinaldehido	6.0E-07

The exposure routes that depend on this source are:

Ingestion of soil

Dermal contact with soil

Ingestion of root vegetables

Ingestion of above ground vegetables

Vapor Model Soil Source

Exposure pathways depending on this source:

Inhalation of indoor air

Summary of Original Source Conditions for Vapor Model Soil Source

Original

Source Residual

	Conc [mg/kg]	Solubility [mg/l]	Conc. [mg/kg]
Forato	2.4E-01	4.4E+01	5.9E+02
Diazinon	2.7E-01	4.0E+01	7.0E+00
DDT	2.1E+01	3.1E-03	6.3E-04
DDE	1.9E+00	6.5E-02	8.9E-03
DDD	1.3E+01	9.0E-02	4.1E+02
Clorpirifos	2.9E+00	9.0E-01	1.8E+02
Metamidofos	9.2E+00	1.0E+06	2.5E+05
Toxafeno	9.5E+00	7.0E-03	1.6E+01
Malathion	3.3E-03	1.4E+02	3.3E+01
Endrincetona	6.1E-02	7.5E-02	2.2E+01
Endrinaldehido	3.1E-03	2.4E-02	2.4E+00

Site-Specific Target Levels (SSTLs) for Vapor Model Soil Source

SSTL, [mg/kg]

Forato	4.6E+01
Diazinon	5.1E+01
DDT	4.0E+03
DDE	3.7E+02
DDD	2.4E+03
Clorpirifos	5.5E+02
Metamidofos	1.8E+03
Toxafeno	1.8E+03
Malathion	6.3E-01
Endrincetona	1.2E+01
Endrinaldehido	5.9E-01

7.10 ANEXO 10: REPORTE GENERADO POR EL SOFTWARE SADA

7.10.1 Parametros de Exposicion – Suelo

Parameter	Units	Residential	Industrial	Recreational	Excavation	Agricultural
Exposure frequency	days/yr	350	250	40	20	350
Adult exposure duration	years	24	25	24	1	24
Child exposure duration	years	6	0	6	0	6
Adult soil ingestion rate	mg/day	100	100	100	480	100
Child soil ingestion rate	mg/day	200	0	200	0	200
Fraction ingested	unitless	1	1	1	1	1
Inhalation rate	m ³ /day	20	20	20	20	20
Adult surface area	m ² /day	0,53	0,316	0,53	0,53	0,53
Adherence factor	mg/cm ²	1	1	1	1	1
Gamma exposure factor	unitless	1	0,3333	0,041667	0,3333	1
Gamma shielding factor	unitless	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Body weight (Adult)	kg	70	70	70	70	70
Body weight (Child)	kg	15	15	15	15	15
Lifetime	years	70	70	70	70	70
Plant MLF	unitless	0,26				0,26
Pasture MLF	unitless	0,26				0,26

7.10.2 Fisicoquímicos

Physical Contaminant Parameters	Units	DDD	DDT	DDE	Toxafeno	Diazinon
Soil-to-air Volatilization Factor (VF)	m ³ /kg	7260000	8610000	3280000	7230000	2010000
Soil-to-air Particulate Emission Factor (PEF)	m ³ /kg	1.32E7	1.32E7	1.32E7	1.32E7	1.32E7
Dermal Absorption Factor (ABS)	unitless	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Permeability Constant (KP)	cm/hr	0,4	1,06	0,916	0,0724	0,0134
Saturation Coefficient (CSAT)	mg/kg					325
Soil-to-plant wet uptake (BV Wet)	(mg/kg)/(mg/kg)	0,00333	0,00158	0,00381	0,013	0,0481
Soil-to-plant dry uptake (BV Dry)	(mg/kg)/(mg/kg)	0,0164	0,00778	0,0188	0,062	0,238
Milk transfer coefficient (Milk BTF)	day/kg	0,005	0,018	0,004	0,0005	0,00005
Beef transfer coefficient (Beef BTF)	day/kg	0,016	0,057	0,013	0,0016	0,00016
Fish bioaccumulation factor (Fish BTF)	L/kg	8620	41800	20500	5600	171

Physical Contaminant Parameters	Forato	Metamidofos	Clorpirifos	Endrin	Malation	Units
Soil-to-air Volatilization Factor (VF)		214000		2220000		m ³ /kg
Soil-to-air Particulate Emission Factor (PEF)	1.32E7	1.32E7	1.32E7	1.32E7	1.32E7	m ³ /kg
Dermal Absorption Factor (ABS)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	unitless
Permeability Constant (KP)	0,0166	0,000071	0,046	0,0445	0,000872	cm/hr
Saturation Coefficient (CSAT)	138	123000	46		40,5	mg/kg
Soil-to-plant wet uptake (BV Wet)	0,795	18,6	0,00649	0,0165	0,16	(mg/kg)/(mg/kg)
Soil-to-plant dry uptake (BV Dry)	3,92	91,7	0,032	0,0816	0,79	(mg/kg)/(mg/kg)
Milk transfer coefficient (Milk BTF)	0,0000004	0,0000000017	0,0016	0,00031	0,0000063	day/kg
Beef transfer coefficient (Beef BTF)	0,0000013	0,0000000055	0,005	0,001	0,00002	day/kg
Fish bioaccumulation factor (Fish BTF)	110	3,16	1320	2010	13,1	L/kg