

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN AIRE Y POLVO POR
PLAGUICIDAS, EN 12 CENTROS EDUCATIVOS DEL CANTÓN DE MATINA, LIMÓN

Trabajo final de investigación aplicada, sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Salud Pública, para optar al grado y título de
maestría profesional en Salud Pública

LEONEL CÓRDOBA GAMBOA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2015



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a todos los niños y niñas del cantón de Matina que día a día van a la escuela sorteando dificultades sociales y ambientales con la convicción de que el estudio les va a ayudar a ser mejores cada día.

Agradecimientos

Un profundo agradecimiento a todos los directores y directoras de cada centro educativo que participaron en esta investigación, por abrirme la puerta de sus escuelas preocupados por sus estudiantes y por el cantón.

Agradecimiento al Programa ISA, por los datos y la oportunidad de realizar este trabajo; y a Berna por la guía interminable que empezó hace varios años y que seguirá por varios años más.

A Karla Solano por sus enseñanzas en el laboratorio y su forma tan amable de educarme en los quehaceres del LAREP y de los plaguicidas.

A Horacio por sus grandes aportes y paciencia al revisar esta investigación.

A Clemens Rupert, que no está mencionado como asesor, pero en todo mi trabajo en la Universidad ha sido un gran asesor y mentor; y todo el IRET por el apoyo que me han dado durante todo mi trabajo en el instituto.

Especiales agradecimientos a Juan Camilo Cano y a Rosario Quesada, por su amistad y apoyo en las interminables giras.

A mi familia por su apoyo incondicional, y aunque digan que no entienden lo que hago son mi soporte para hacer lo que hago.

A Karla A, por su apego, paciencia y cariño que sé que estarán ahí, Siempre!!!

Por último agradecer a los niños y niñas de Matina, muchos no sabrán que hacemos en sus escuelas, pero por ellos y ellas hacemos estos estudios, y haremos más.

“Este trabajo de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Salud Pública de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Salud Pública.”

M.Sc. Mario Piedra González

Representante Sistema de Estudios de Posgrado

Ph.D. Berendina Van Wendel de Joode

Directora de tesis

Ph.D. Horacio Chamizo García

Asesor

M.Sc. Karla Solano Díaz

Asesora

Dr. Juan Carazo Salas

Director Programa de Posgrado en Salud Pública

Leonel Córdoba Gamboa

Candidato

Tabla de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Tabla de contenidos	v
Resumen	vii
Índice de cuadros	ix
Índice de figuras	x
Índice de gráficos	x
Lista de abreviaturas	xi
Introducción	1
Capítulo I. Planteamiento del problema	3
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación.....	7
Capítulo II. Marco teórico	9
2.1 Salud.....	10
2.1.1 Concepto de salud.....	10
2.1.2 Salud pública.....	11
2.1.3 Salud ambiental.....	11
2.1.4 Evaluación de la contaminación ambiental y Salud Pública.....	12
2.2 Plaguicidas.....	12
2.3 El cultivo del banano.....	13
2.4 Plaguicidas utilizados en el cultivo de banano.....	14
2.5 Posibles efectos de la contaminación ambiental por plaguicidas usados en el cultivo de banano sobre la salud humana.....	19
2.6 Plaguicidas utilizados en otros cultivos.....	23
2.7 Evaluación de la contaminación ambiental por plaguicidas.....	23
2.8 Técnicas para medir la contaminación ambiental de plaguicidas en el aire y en el polvo.....	24
2.9 Contaminación ambiental a plaguicidas en aire y polvo medidos en otros estudios.....	26
2.10 Factores ambientales en la deriva de plaguicidas en aire y polvo.....	32

2.11 Operacionalización de las variables	33
Capítulo III. Metodología	35
3.1 Diseño del estudio y sitios de muestreo	36
3.2 Área del estudio	36
3.2.1 Cantón de Matina	36
3.2.2 Clima de Matina	40
3.3 Sitios de investigación	40
3.3.1 Muestreo aire pasivo	45
3.3.2 Muestreo aire activo	47
3.3.3 Muestreo polvo	49
3.4 Análisis de la información	50
3.4.1 Análisis químico	50
3.4.1.1 Selección de los plaguicidas	51
3.4.1.2 Extracción de las muestras de aire: pasivo y activo	53
3.4.1.3 Extracción de las muestras de polvo	54
3.4.1.4 Calculo límites de detección y cuantificación	54
3.4.2 Análisis estadístico	54
3.5 Alcances, limitaciones y consideraciones éticas de la investigación	56
Capítulo IV. Resultados	57
4.1 Centros educativos	58
4.2 Contaminación por plaguicidas	61
4.2.1 Aire pasivo	61
4.2.2 Aire activo	72
4.2.3 Resultados polvo	80
Capítulo V. Discusión y conclusiones	82
5.1 Discusión	83
5.2 Conclusiones	90
Capítulo VI. Recomendaciones	92
6.1 Recomendaciones	93
Capítulo VII. Bibliografía y anexos	94
7.1 Bibliografía	95
7.2 Anexos	109

Resumen

Antecedentes y objetivo general. Cerca del 25% de los centros educativos del cantón de Matina están cerca de plantaciones de banano donde se da un uso intensivo y extensivo de plaguicidas. Esta investigación tenía como objetivo analizar la contaminación ambiental en aire y polvo por plaguicidas, en una muestra de centros educativos que se encuentran a diferentes distancias de plantaciones bananeras en el cantón de Matina.

Metodología. Utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se seleccionaron diez centros educativos que estuvieran a menos de 100 metros (inmersos) y dos centros educativos que estuvieran a más de 1,5 kilómetros (no inmersos) de una plantación bananera. Desde junio de 2010 hasta diciembre de 2011 se tomaron muestras ambientales repetitivas de aire usando técnicas de recolección pasiva y activa. Durante cuatro periodos consecutivos, se tomaron 52 muestras de aire pasivo en 12 centros educativos, y 16 muestras de aire activo en tres centros educativos. Además, se tomaron muestras repetidas de polvo pasivo, depositado en (n=42). Las muestras se analizaron para conocer el contenido de plaguicidas mediante el empleo de cromatografía líquida de gases.

Resultados. Se detectaron 18 diferentes plaguicidas. Cinco de ellos fueron organofosforados. El clorpirifos, insecticida utilizado en las bolsas que protegen la fruta del banano, se detectó en el 98% de las muestras de aire pasivo (n=51) y en todas las de aire activo, las concentraciones en el aire pasivo fueron casi seis veces mayores en los centros educativos inmersos, en comparación con los no inmersos (mediana 16,9 ng/m³ versus 2,8 ng/m³ p<0,0001 Wilcoxon / Kruskall-Wallis); mientras, las concentraciones en el aire activo fueron cinco veces más altas en los inmersos, al compararlos con los no inmersos (mediana 5,1 versus 0,8 ng/m³ p <0,01 Wilcoxon / Kruskall-Wallis). El etoprofos se detectó en 34 muestras (79%) en los centros educativos inmersos y en 6 (67%) en los no inmersos en el muestreo pasivo de aire, posiblemente debido a la aplicación en plantaciones cercanas de piña. En el muestreo de aire activo, el etoprofos se detectó en nueve muestras (69%) en los inmersos y en dos (67%) en los no inmersos. El clorotalonil se detectó en 20 muestras (56%) de polvo obtenido de los centros educativos inmersos y en una (17%) en los no inmersos.

Se concluye que el aire y el polvo de los centros educativos están contaminados con plaguicidas y constituyen un riesgo potencial a la salud de los niños y trabajadores de estos centros.

Índice de cuadros

Cuadro 1: Descripción de los plaguicidas utilizados en el cultivo de banano, cantidad usada (2006), grupo químico, forma de aplicación, frecuencia de aplicación, condición en la región, los Estados Unidos y la Unión Europea. Modificado de Bravo <i>et al.</i> , 2013.....	16
Cuadro 2: Clasificación por toxicidad aguda según la OMS y la EPA para los plaguicidas utilizados en banano, según acción biocida, grupo químico e ingrediente activo...	20
Cuadro 3: Efectos crónicos en humanos, según el Manual de Plaguicidas, para cáncer según la clasificación de la EPA y el IARC, para los plaguicidas utilizados en banano según acción biocida, grupo químico e ingrediente activo.....	21
Cuadro 4: Resumen de estudios de evaluación ambiental por plaguicidas, utilizando muestras de aire y polvo en otros países.....	28
Cuadro 5: Operacionalización de las variables.....	34
Cuadro 6: Uso del suelo del cantón de Matina, 2005.....	38
Cuadro 7: Descripción de los sitios de muestreo, comunidad, tipo de muestreo, periodos y tiempos de muestreo por centro educativo.....	43
Cuadro 8: Lista de plaguicidas seleccionados para analizar para cada tipo de muestreos utilizados en esta investigación	51
Cuadro 9: Plaguicidas detectados en esta investigación.....	52
Cuadro 10: Descripción de los centros educativos.....	60
Cuadro 11: Análisis de partición realizado para el insecticida clorpirifos, agrupado por centros educativos, explicando el 68% de la varianza total.....	65
Cuadro 12: Concentraciones de plaguicidas por ingrediente activo en las muestras de aire pasivo y activo (XAD). Se presenta el porcentaje de las muestras arriba del límite de detección, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas con más del 50% de las muestras con concentraciones detectables, y la correlación de Spearman entre los diferentes muestreos.....	77

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de la división político administrativo del cantón de Matina.....	37
Figura 2: Mapa de uso del suelo en 2005 del cantón de Matina.....	39
Figura 3: Fórmula para calcular la distancia euclidiana.....	41
Figura 4: Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo en el cantón de Matina.....	42
Figura 5: Diagrama del equipo de muestreo pasivo de aire.....	45
Figura 6: Muestreador pasivo de aire.....	46
Figura 7: Dispositivo de vidrio con una resina de XAD de Supelco.....	47
Figura 8: Imagen del muestreador de aire activo	48
Figura 9: Muestreador activo de aire.....	49
Figura 10: Muestreador pasivo de aire, caja petri.....	50
Figura 11: Comparación de las densidades de las concentraciones de clorpirifos, según los poblados inmersos y no inmersos.....	64
Figura 12: Mapa de la concentración de clorpirifos según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año.....	66
Figura 13: Mapa de isóneas con la concentración de clorpirifos, según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año.....	67
Figura 14: Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el insecticida diazinon, la concentración mediana (0,3 – 3,7 ng/m ³) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año.....	68
Figura 15: Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el fungicida pirimetanil, la concentración promedio (0,7 – 16,1 ng/m ³) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año.....	71
Figura 16: Comparación de las densidades de las concentraciones de clorpirifos, según los poblados inmersos y no inmersos.....	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Porcentaje de detección en las muestras de aire pasivo, inmerso (n=43) versus no inmerso (n=9).....	62
Gráfico 2: Porcentaje de detección en las muestras de aire activo (XAD), inmerso (n=13) versus no inmerso (n=3).....	74
Gráfico 3: Porcentaje de detección en las muestras de aire activo (Filtro), inmerso (n=13) versus no inmerso (n=3).....	78
Gráfico 4: Porcentaje de detección en las muestras de polvo, inmerso (n=36) versus no inmerso (n=6).....	81
Gráfico 5: Comparación con otros estudios.....	85

Lista de abreviaturas

i.a: ingrediente activo

US-EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

OMS: Organización Mundial de la Salud

LAREP: Laboratorio de Residuos de Plaguicidas

IRET: Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas

UNA: Universidad Nacional

ISA: Infantes y Salud Ambiental

UE: Unión Europea

SIG: Sistemas de Información Geográfica

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

CORBANA: Corporación Bananera Nacional

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

OPS: Organización Panamericana de la Salud

Introducción

El cantón de Matina se destaca como el área de mayor cantidad de cultivo de banano de Costa Rica, con 9873 ha, lo que representa el 23,6% del cultivo de banano del país (CORBANA, 2013), el cual cultivo depende del uso continuo de plaguicidas. En 2006 se reportaron 27 i.a. de plaguicidas, con un uso total de 49,3 kilogramos i.a. por hectárea, por año, en alrededor de 41 mil hectáreas de cultivo de banano en el país. Este uso intensivo ha generado una preocupación creciente por los efectos que se pueda tener en la salud de las personas que viven alrededor de plantaciones bananeras (Barraza *et al.*, 2011; 2013), especialmente los niños.

El cultivo de banano, igual que otros de exportación, frecuentemente se encuentra cercano a zonas residenciales y a centros educativos. Las escuelas representan un lugar de educación y de encuentro social para los niños. Durante el período escolar, que se extiende por 9 meses al año, ellos están 25 o más horas semanales en las escuelas. Parte de los agroquímicos usados en el cultivo de banano se aplican durante el horario escolar. Otros, como las fumigaciones aéreas, generalmente se realizan en la madrugada o al final del día. Sin embargo, aparte de una deriva inmediata al momento de la aplicación, las sustancias también permanecen en el medio ambiente, contaminando de manera potencial, el ambiente escolar. La cercanía de las escuelas con las plantaciones hace que estos lugares sean, además de sitios de aprendizaje, espacios de posibles exposiciones a plaguicidas, principalmente por vía aérea. El aire es considerado como una de las mayores amenazas ambientales para la salud de los niños, al ser un factor de riesgo para enfermedades respiratorias a corto y largo plazos (OMS, 2004a).

Mediante esta investigación se analizó si el aire y el polvo de 12 centros educativos del cantón de Matina, fueron contaminados por los plaguicidas utilizados en el cultivo de banano. Se utilizó diferentes técnicas de muestreo de aire y de polvo para determinar la contaminación ambiental por plaguicidas en estas escuelas. Además,

con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se documentó la posible difusión de los plaguicidas en Matina.

La presente investigación consta de siete capítulos, el primero de ellos abarca el planteamiento del problema y los objetivos de esta investigación, así como la justificación de la investigación. El segundo capítulo tratará temas teóricos, definición de conceptos básicos para esta investigación y la presentación de estudios similares a nivel nacional e internacional. El tercer capítulo comprende la metodología utilizada en este estudio, se presenta el área de estudio, los sitios de investigación, el análisis químico y estadístico utilizado para obtener los resultados. En el cuarto capítulo se describen los resultados. El quinto capítulo se discuten los resultados obtenidos de esta investigación y se presentan las conclusiones de este trabajo. El sexto capítulo presenta las recomendaciones que surgieron del análisis y de la discusión de los resultados. Por último, el séptimo capítulo abarca la bibliografía y los anexos.

Capítulo I. Planteamiento del problema

1.1 Planteamiento del problema

La exportación de banano en Costa Rica ha convertido al país en el segundo exportador de banano en el mundo (FAO, 2014), vendiendo mayoritariamente a la Unión Europea (49%) y a los Estados Unidos (42%) (CORBANA, 2013).

El cultivo de banano depende del uso continuo de plaguicidas (Wesseling, 1997; Ramírez *et al.*, 2009; Bravo *et al.*, 2013); para 2006 se reportaron 27 i.a. de plaguicidas con un uso total de 49,3 kilogramos i.a. por hectárea, por año (Bravo *et al.*, 2013), en alrededor de 41 mil hectáreas de cultivo de banano en el país (CORBANA, 2013).

El uso de plaguicidas incluye la aplicación manual de nematicidas granulados, alta y extremadamente tóxicos (por ejemplo: clasificación de la OMS 1a y b - Anexo 2), herbicidas, el uso continuo de bolsas colocadas para proteger las frutas tratadas con insecticidas como clorpirifos (van Wendel de Joode *et al.*, 2012), bifentrina y buprofezin, y aplicaciones aéreas semanales de fungicidas como mancozeb, clorotalonil, tridemorf y propiconazol (Wesseling, 1997; Barraza *et al.*, 2011; Bravo *et al.* 2013).

El cultivo de banano, igual que en otros de exportación, como la piña y el melón, frecuentemente se encuentra no solo cercano a zonas residenciales, sino también a centros educativos. En algunas ocasiones se ha reportado casos de intoxicaciones agudas en estudiantes y profesores, como fue el caso de la Escuela Las Mercedes, en Guápiles, donde una maestra denunció la contaminación ambiental por las fumigaciones realizadas por una finca bananera (Diario digital El País, 2009). Sin embargo, en Costa Rica existen pocos estudios sobre la posible contaminación ambiental por plaguicidas, en las poblaciones de centros educativos.

Por otro lado, se ha documentado en varios medios de comunicación, matanzas de peces en áreas cercanas a plantaciones bananeras, en épocas de aplicación de nematicidas en estos cultivos, lo que causa graves daños ambientales (La Nación, 2013).

También, se ha demostrado en estudio anteriores, cómo los ríos cercanos a plantaciones bananeras están contaminados por los plaguicidas: propiconazol, cadusafos, diazinon, etoprofos, terbufos, clorpirifos, clorotalonil, imazalil y tiabendazol (Castillo *et al.*, 2000). Investigaciones sobre residuos de plaguicidas en fuentes de agua subterránea y agua utilizada para consumo humano en comunidades cercanas a plantaciones de piña y banano, indican una contaminación ambiental de estas aguas, ya que se encontró el plaguicida bromacil y ETU, el metabolito del plaguicida mancozeb (Ruepert, 2005; Skytt, 2011).

Solano (2009) realizó una medición ambiental de polvo en una escuela cercana a plantaciones bananeras, donde se detectaron los plaguicidas difenoconazol, cipermetrina, ciflutrina, clorotalonil y clorpirifos, y también en una escuela cercana a cultivos de piña y banano, donde detectaron bromacil, clorotalonil clorpirifos, diazinón, difenoconazol, etoprofos y cipermetrina, atribuyendo el arrastre de estos plaguicidas al viento. Además, Van Wendel de Joode *et al.* (2012) encontraron residuos de clorpirifos en el aire de una comunidad bananera, mediante un muestreo de aire activo y pasivo; las concentraciones fueron diez veces más altas que las resultantes de estudios similares ejecutados en los Estados Unidos. Adicionalmente, encontraron que niños que viven en áreas cercanas a plantaciones bananeras y fincas de plátano, tenían concentraciones urinarias altas, de 3,5,6-tricloro-2-piridinol (TCP), un biomarcador específico del insecticida clorpirifos. Estimaciones de la dosis diaria absorbida excedieron la dosis de referencia de la US-EPA (van Wendel de Joode *et al.*, 2012), lo que indica que el contacto ambiental con plaguicidas usados en plantaciones bananeras, puede ser substancial.

Ante la problemática descrita, los investigadores IRET-UNA iniciaron en 2009, el proyecto llamado “Un análisis holístico de la sostenibilidad de sistemas de producción de banano y plátano con énfasis en la exposición a plaguicidas y su relación con el neurodesarrollo de bebés de 0 a 2 años”, el cual se convirtió en el Programa ISA, con un enfoque ecosistémico a partir de 2011. Uno de sus objetivos es explorar las rutas de exposición a plaguicidas para la población humana cercana a las fincas bananeras.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar la contaminación ambiental en aire y polvo por plaguicidas, en una muestra de centros educativos que se encuentran a diferentes distancias de plantaciones bananeras en el cantón de Matina.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir los centros educativos y sus características con respecto al cultivo de banano.
- Estimar las concentraciones de plaguicidas presentes en el aire y en el polvo ambiental de diez centros educativos a menos de 100 metros, y dos a más de 1500 metros de fincas bananeras, en el cantón de Matina.
- Determinar si existen diferencias entre las escuelas con respecto a las concentraciones de plaguicidas medidas en aire y polvo.

1.3 Justificación

La región Huetar Atlántica representa el 98,2% de la producción de banano del país, donde se siembra como un monocultivo a gran escala. El cantón de Matina se destaca como el área de mayor cantidad de hectáreas sembradas por este cultivo a nivel nacional, con 9873 ha, que representan el 23,6% del cultivo de banano del país (CORBANA, 2013). El alto uso de plaguicidas en monocultivos producidos a gran escala, como el banano, implica un potencial problema de salud pública para las poblaciones cercanas a estos cultivos (Pimentel *et al.*, 1996; OPS, 2003; Idrovo, 2005).

Investigaciones realizadas en Costa Rica en trabajadores bananeros, han demostrado que estos se exponen, durante la aplicación de plaguicidas en el campo, mediante el contacto dermal y respiratorio (Lee, 2009; van Wendel de Joode *et al.*, 1996). También, la exposición a plaguicidas utilizados en las plantas empacadoras de banano, se considera un factor de riesgo, por producir daño cromosómico en mujeres, el cual se asocia al desarrollo de cáncer (Cuenca y Ramírez, 2004); además, los trabajadores expuestos a ciertos plaguicidas presentan mayor riesgo de padecer enfermedades agudas, como alergias, y en algunos casos tienen mayor riesgo de sufrir algunos tipos de cáncer (Wesseling *et al.* 1997; 2001).

Por ser los plaguicidas sustancias tóxicas, el uso intensivo ha generado una preocupación creciente por los efectos que puedan tener en la salud de las personas que viven alrededor de plantaciones bananeras (Barraza *et al.*, 2011; 2013), especialmente los niños. En relación con su peso corporal, ellos toman más agua, consumen más alimentos y respiran más que los adultos, y conductas tan características como el contacto constante entre las manos y la boca, y el estar y jugar en el suelo, los vuelve más vulnerables a peligros ambientales, y el metabolismo de los niños en ocasiones no procesa muy bien el contacto con algunos tóxicos (OMS, 2004).

Las escuelas representan un lugar de educación y de encuentro social para los niños durante el periodo escolar, que se extiende durante 9 meses al año; ellos están 25 o más horas semanales en las escuelas, que coinciden con las horas laborales de

los adultos. En zonas agrícolas también coinciden, en la mayoría de los casos, con las horas de aplicación de agroquímicos, y por la cercanía de las escuelas con las plantaciones, estos lugares se convierten, además de un lugar de aprendizaje, en un lugar de posibles exposiciones a plaguicidas, principalmente por vía aérea.

La contaminación del aire se considera una de las mayores amenazas ambientales para la salud de los niños, al ser un factor de riesgo para enfermedades respiratorias a corto y largo plazos (OMS, 2004a). El estudio de Weppner menciona al aire como una posible ruta de exposición (2006); además, Dalvie refiere que el viento es un factor principal en la difusión de los plaguicidas, desde su fuente hasta las viviendas y las escuelas (2014).

Otros estudios han reportado contaminaciones ambientales por plaguicidas en muestras de polvo, tierra, aire y agua, tomadas en el ambiente cercano de plantaciones bananeras (Solano, 2009; van Wendel de Joode *et al.*, 2012). Sin embargo, los estudios fueron pequeños (Solano, 2009) o no se enfocaron de forma sistemática sobre las concentraciones de plaguicidas en el aire (van Wendel de Joode *et al.*, 2012). Lo anterior es importante, debido a que investigaciones a nivel internacional indican que el aire puede ser una vía de exposición relevante para la población general (Weppner, 2006; Dalvie, 2014). La investigación actual pretende entender si los estudiantes y personal de los centros educativos cercanos al cultivo de banano, están expuestos a plaguicidas a través del aire.

Tomando en cuenta cuestiones legales, ambientales y de posible contaminación ambiental en los centros educativos, se desarrollará este trabajo de investigación, incorporando análisis de muestras ambientales, posibles rutas de contaminación ambiental y propuestas para la reducción de la contaminación por plaguicidas.

Capítulo II. Marco teórico

Este apartado abarcará los principales conceptos por utilizar en esta investigación: salud, salud pública, salud ambiental y evaluación de la contaminación ambiental. También se analizará el concepto de plaguicida, se presentará la evolución del cultivo de banano en Costa Rica, y se profundizará en los plaguicidas utilizados en el cultivo de banano, su uso y los posibles efectos a corto y largo plazos, en seres humanos.

Además, se presentarán ejemplos de cómo, en otros estudios, se han realizado evaluaciones de la contaminación ambiental por plaguicidas, de las técnicas para medir esta contaminación en aire y polvo, y acerca de los factores que pueden influir en la contaminación ambiental por plaguicidas.

2.1 Salud

La salud ha tenido varios conceptos a lo largo del tiempo, este apartado presenta algunos conceptos que han dado organizaciones internacionales y personajes importantes en la salud pública; también abordará los conceptos de salud pública, salud ambiental y acerca de las evaluaciones de la contaminación como herramienta para la salud pública.

2.1.1 Concepto de salud

Existen varias definiciones sobre qué es salud; según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como “el más completo estado de bienestar físico, mental y social que se pueda lograr y no solamente la ausencia de enfermedad” (1948).

Para Frenk J (1994), la salud es un punto de encuentro donde confluye lo biológico y lo social, el individuo y la comunidad, la política social y la económica. Además de su valor intrínseco, la salud es un medio para la realización personal y colectiva. Constituye, por lo tanto, un índice del éxito alcanzado por una sociedad y sus

instituciones de gobierno, en la búsqueda del bienestar, que es el sentido último del desarrollo.

Salvador Allende, en 1973, definió la salud como “*un proceso dialéctico, biológico y social, producto de la interrelación del hombre con el medio, influido por los medios de producción y se expresa por niveles de bienestar físico, mental y social. Por lo tanto la salud es primero que nada, un problema de estructura económica y social*” (Archivos salud publica Chile, 1970).

2.1.2 Salud pública

El concepto de salud ha llevado un proceso de transformación de un punto individual hacia un concepto de conjunto, en el cual se incluye la salud como un tema comunitario, social; es aquí donde la salud pública se define como “el esfuerzo organizado por la sociedad para proteger, promover y restaurar la salud de las personas, mediante acciones colectivas” (Benavides *et al.*, 2005).

En un nivel más amplio, tomando en cuenta las redes sociales, comerciales y de información existente, la salud pública entra a una nueva dimensión, donde según Frenk J, se produce una transferencia internacional de riesgos, sean estos ambientales, infecciosos o derivados de los estilos de vida (2007).

2.1.3 Salud ambiental

Según la OMS (2014), “la salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos a una persona....engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud”.¹ En este sentido, la posible contaminación del ambiente por plaguicidas, afecta directamente la salud de

¹ Recuperado de: http://www.who.int/topics/environmental_health/es/

las personas y prevenir enfermedades potenciales causadas por los plaguicidas, es fundamental para la salud pública; así como del análisis de los factores ambientales como el viento que puede incidir en la propagación de los plaguicidas afectando la salud humana.

2.1.4 Evaluación de la contaminación ambiental y salud pública

Desde los años 50, la relación entre las amenazas ambientales y la salud humana en comunidades, empezó a tomar relevancia y a captar la atención de profesionales en salud, políticos y población en general (OMS, 2001).

La evaluación de estas relaciones es de utilidad para la salud pública, porque organiza, estructura y reúne información científica para ayudar a identificar situaciones o problemas que puedan ser amenazas, anticipan problemas potenciales, establecen prioridades, y proveen bases para la toma de decisiones políticas en controles regulatorios y acciones correctivas (Asante-Duah, 2002).

2.2 Plaguicidas

Los plaguicidas son definidos por la US-EPA, como cualquier sustancia o mezcla de sustancias creada para prevenir, destruir, repeler o mitigar alguna plaga (2005). Además, los plaguicidas están diseñados para interferir con la vida de una gran variedad de organismos en seres vivos (Wesseling, 1997).

Los plaguicidas pueden agruparse según su acción biocida en: insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, rodenticidas, bactericida, entre otros (OMS, 2004b). También se pueden agrupar, por su composición química, en: insecticidas organofosforados, carbamatos, organoclorados, piretrinas y piretroides, y compuestos arsenicales; herbicidas clorofenílicos, triazinas, compuestos nitrofenólicos y nitrocresólicos, bipyridilos y compuestos arsenicales; fungicidas conazoles,

tiocarbamatos, etileno bisditiocarbamatos, tioftalimidas y compuestos organometálicos (OMS, 2004b).

El uso de plaguicidas en Costa Rica ha crecido aceleradamente desde la década de los 90 (Ramírez, 2010), por varias razones; entre las principales: la resistencia de plagas a ciertos plaguicidas y las exigencias de los mercados internacionales para recibir productos agrícolas (Bravo *et al.*, 2013). Este alto consumo de plaguicidas ha llegado a posicionar a Costa Rica como uno de los países donde se utilizan más plaguicidas (World Resource Institute, 2011), pues hubo un crecimiento acelerado en la cantidad de los importados, versus un lento crecimiento de las áreas de cultivo, en promedio: 2,82 kg/i.a./año por habitante y 27,5 kg/i.a./año por hectárea agrícola (Ramírez, 2011).

2.3 El cultivo del banano

El cultivo y la producción de banano en Costa Rica fueron impulsados a partir de 1872 por parte de empresarios estadounidenses, inicialmente en la costa caribeña, pero más adelante se expande a la costa del pacífico sur (Ortiz *et al.*, 2001). En 1898 se creó la United Fruit Company, por parte de empresarios estadounidenses que desarrollaron un monopolio de comercialización del banano (Bermúdez y Ponchet, 1980), el cual llegó a incorporar la producción de siete países de Centroamérica y El Caribe, incluyendo Costa Rica (Jiménez, 2010).

Esta producción intensiva y extensiva originó uno de los principales productos de exportación de Costa Rica; para 2013, el área sembrada de banano en el país, alcanzó las 42017 hectáreas, representando 106 millones de cajas de banano exportadas, alrededor de 1920 mil toneladas métricas (CORBANA, 2013), lo que convierte a Costa Rica en el segundo mayor exportador de banano en el mundo (FAO, 2014). Sin embargo, este nivel de exportación ha sido alcanzado por la rápida expansión de territorios destinados al cultivo de banano (Cano, 2013), y al uso intensivo de

plaguicidas para controlar las fuertes plagas que atacan los monocultivos (Ortiz *et al.*, 2001; Díaz, 2011).

El desarrollo del sector bananero trajo consigo la expansión de las comunidades ya existentes, y la creación de otras que crecieron al margen de la línea del ferrocarril (CATIE, 2008). Varias surgieron a partir de cuadrantes construidos por las compañías bananeras para alojar a sus trabajadores (Abarca, 2013). En los primeros años del siglo XX, se creó la primera escuela de Matina, en la comunidad del mismo nombre (Municipalidad de Matina, 2008).

El nivel de exportación alcanzado a través de los años, además de generar trabajo e ingresos económicos al país, ha traído problemas sociales y laborales, como los descritos por Cano (2013). Movimientos sociales como el Foro Emaús, ligado a sindicatos, iglesias y otras organizaciones, han luchado para mejorar las condiciones laborales de los trabajadores del sector bananero y disminuir contaminaciones ambientales, en particular respecto a la exposición a plaguicidas (Barraza, 2013).

2.4 Plaguicidas utilizados en el cultivo de banano

En el cultivo de banano se produce un uso intensivo de plaguicidas de diferentes tipos; Bravo *et al.* (2013) señalan que para 2006 se utilizaron, solo en la provincia de Limón, 27 i.a (14 fungicidas, 5 herbicidas, 2 insecticidas y 6 nematocidas), lo que representa 49,29 kg i.a./ha/año (2013). El Cuadro 1 hace referencia a los plaguicidas reportados a 2006 en el cultivo de banano, agrupados por acción biocida, grupo químico al cual pertenece, ingrediente activo, cantidad utilizada en ese año, forma y frecuencia de aplicación, condición de uso en Centroamérica, los Estados Unidos y la Unión Europea, y si el LAREP del IRET puede analizarlos.

En el Cuadro 1 se observa que el grupo acción biocida más utilizado en el banano, es el de los fungicidas, debido a la gran resistencia que crean los hongos a los diferentes tipos de fungicidas (FAO, 2013), seguido de los nematocidas, herbicidas e

insecticidas. Los ingredientes activos más utilizados son el mancozeb, el terbufos, el glifosato y la bifentrina. Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado, en muestras de agua, residuos de plaguicidas como el miclobutanil y el buprofezin, que se están utilizando en el cultivo de banano, pero sin que se tengan datos de la cantidad utilizada en la producción de banano (comunicación personal, Clemens Rupert, 2015).

También se presenta que la fumigación aérea es el mecanismo de aplicación más utilizado en las bananeras y es empleado únicamente para la aplicación de fungicidas, mientras que el otro mecanismo de aplicación muy usado en las plantaciones, es la bomba de espalda, principalmente para la aplicación de herbicidas y nematicidas. Por otro lado, los insecticidas se aplican mediante el uso de bolsas tratadas con algún ingrediente activo; esta bolsa permanece alrededor de la fruta desde que aparece la primera flor, hasta el momento de cortar la fruta.

Además, se debe considerar que el cultivo de banano en el cantón de Matina, es el predominante, sin embargo, otros cultivos a menor escala dentro del cantón de Matina, y cultivos de mayor escala en cantones vecinos, pueden causar que en esta investigación se encuentren en las muestras, presencia de plaguicidas utilizados en cultivos de piña, arroz y plátano, por ejemplo. Además, se conoce de estudios en parte del cantón de Matina, que han detectado en aguas superficiales, residuos de plaguicidas empleados en los cultivos de piña en el cantón de Siquirres, y que por causa de la escorrentía están llegando a zonas lejanas de la fuente de aplicación (Vargas, 2013).

Cuadro 1: Descripción de los plaguicidas utilizados en el cultivo de banano, cantidad utilizada (2006), grupo químico, forma de aplicación, frecuencia de aplicación, condición en la región, los Estados Unidos y la Unión Europea. Modificado de Bravo *et al.*, 2013

Acción biocida ^a	Grupo químico ^b	Ingrediente activo ^a	Cantidad (kg i.a./ha/año) ^a	Forma de aplicación ^c	Frecuencia de aplicación ^c	Condición legal en Centroamérica (CA), los Estados Unidos (EEUU) y la Unión Europea (UE) ^b	Analizado en el LAREP ^d
Fungicidas	Azol, clorado	Tebuconazol	0,07	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Benzimidazol	Tiabendazol	0,06	Empacadora	Uso diario	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Benzonitrilo, clorado	Clorotalonil	1,14	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Conazol, clorado	Difenoconazol	0,37	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Conazol, clorado	Imazalil	0,07	Empacadora	Uso diario	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Conazol, clorado	Propiconazol	0,02	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Conazol, clorado, fluorado	Epoxiconazol	0,61	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, UE: registrado EEUU: no registrado	Sí
	Ditiocarbamato	Mancozeb	26,14	Aéreo	40 - 50 veces al año	CA: registrado EEUU, UE, Belice: restringido	No
	Estrobilurina	Azoxistrobina	0,19	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
	Estrobilurina, clorado	Piraclostrobin	0,19	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado El Salvador, EEUU, UE: no registrado	No
	Estrobina, antibiótico, fluorado	Trifloxistrobina	0,03	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA, EEUU, UE: registrado	No
	Morfolina	Fenprofimorf	2,1	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado El Salvador, EEUU, UE: no registrado	Sí
	Morfolina	Spiroxamina	0,2	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado Belice, El Salvador, EEUU, UE: no registrado	Sí

Continuación Cuadro 1...

Acción biocida ^a	Grupo químico ^b	Ingrediente activo ^a	Cantidad (kg i.a./ha/año) ^a	Forma de aplicación ^c	Frecuencia de aplicación ^d	Condición ^b	Analizado en el LAREP
	Morfolina	Tridemorf	4,22	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado EEUU: no registrado UE: prohibido	No
	Pirimidina	Pirimetanil	0,60	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado El Salvador, EEUU, UE: no registrado	Sí
	Triazole	Bitertanol	0,18	Aéreo	Alternado con el uso del mancozeb	CA: registrado EEUU, UE: no autorizado	Sí
Subtotal			33,83				
Herbicidas	Ácido fosforoso	Glifosato	2,34	Bomba espalda	3 – 6 veces al año	CA, EEUU, UE: registrado	No
	Ácido fosforoso	Glufosinato	0,004	Bomba espalda	1 – 2 veces al año	CA, UE: registrado EEUU: no aprobado	No
	Bipiridilo	Diquat	0,004	Bomba espalda	1 – 2 veces al año	CA, EEUU, UE: registrado Belice: restringido	No
	Bipiridilo	Paraquat	0,10	Bomba espalda	1 – 2 veces al año	Guatemala y Honduras: registrado Belice, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua y Panamá: restringido EEUU: no registrado UE: excluido	No
	Urea, clorado	Diuron	0,04	Bomba espalda	1 – 2 veces al año	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
Subtotal			2,49				
Insecticidas	Organofosforado, clorado	Clorpirifos	0,69	Bolsa impregnada	Varias veces al año, una por cada fruta	UE, El Salvador, Guatemala, Honduras y Panamá: registrado EEUU, Belice, Costa Rica y Nicaragua: restringido**	Sí
	Piretroide	Bifentrina	1,08	Bolsa impregnada	Varias veces al año, una por cada fruta	CA, EEUU, UE: registrado	Sí
Subtotal			1,77				

Continúa...

Continuación Cuadro 1...

Acción biocida ^a	Grupo químico ^b	Ingrediente activo ^a	Cantidad (kg i.a./ha/año) ^a	Forma de aplicación ^c	Frecuencia de aplicación ^d	Condición ^b	Analizado en el LAREP
Nematicidas	Carbamato	Carbofuran	2,02	Manual con dispensador	1 vez al año	EEUU, Belice, El Salvador, Costa Rica y Nicaragua: restringido Guatemala, Honduras y Panamá: registrado UE: excluido**	Sí
	Carbamato	Oxamil	0,34	Manual con dispensador	1 vez al año	CA, UE: registrado EEUU, Belice: restringido	Sí
	Organofosforado	Cadusafos	0,97	Bomba manual	2 – 3 veces al año	CA: registrado Belice: restringido UE: excluido	Sí
	Organofosforado	Etoprofos	1,38	Bomba manual	2 – 3 veces al año	EEUU, Belice, El Salvador, Costa Rica, Panamá y Nicaragua: restringido UE, Guatemala y Honduras: registrado**	Sí
	Organofosforado	Fenamifos	2,32	Bomba manual	2 – 3 veces al año	CA: registrado Belice: restringido UE: excluido	Sí
	Organofosforado	Terbufos	4,18	Bomba manual	2 – 3 veces al año	EEUU, Belice, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua: restringido Guatemala, Honduras y Panamá: registrado UE: excluido**	Sí
Subtotal			11,21				
Total			49,26				

Fuente: ^ABravo *et al.*, 2013; ^BManual de plaguicidas de Centroamérica IRET (<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr>);

^CComunicación personal Ing. Fernando Ramírez; ^DComunicación personal M.Sc. Karla Solano. ** Incorporado en la docena sucia de PAN-Internacional.

2.5 Posibles efectos de la contaminación ambiental por plaguicidas usados en el cultivo de banano, sobre la salud humana

Toda sustancia tiene un efecto en la salud humana, en menor o mayor medida, positiva o negativamente, retomando lo dicho por Paracelso “Todas las sustancias son venenos, no existe ninguna que no lo sea. La dosis diferencia un veneno de un remedio”.

Así, sustancias como los plaguicidas utilizados con el fin de eliminar plagas en los cultivos de alimentos para humanos, pueden causar efectos adversos en la salud, por ejemplo: lesiones de ojos y piel, problemas respiratorios, neurológicos e inmunológicos, efectos reproductivos, envenenamientos y cáncer (Wesseling, 1997). Entre los efectos reproductivos, se ha relacionado con algunas malformaciones congénitas, como anencefalia, espina bífida, hidrocefalia, labio leporino, fisura palatina, hipospadia y síndrome de Down (Rojas, 2000). Otros estudios a nivel internacional, han demostrado efectos neuroconductuales en niños expuestos prenatalmente a algunos plaguicidas organofosforados (Bouchard *et al.*, 2011; Eskenazi *et al.*, 2010; Engel *et al.*, 2007; Young *et al.*, 2005) y a plaguicidas organoclorados (Forns, 2012).

Diferentes formas de exposición a plaguicidas son las que pueden generar estos efectos; por un lado, exposiciones ocupacionales, principalmente de aquellas personas que trabajan directamente con los plaguicidas en la preparación o en la aplicación en el campo, pero también las exposiciones no ocupacionales, que pueden ser no intencionales, mediante exposiciones ambientales moderadas a través del agua o del aire, por aplicaciones en plantaciones agrícolas, o como método para controlar plagas dentro de viviendas (Wesseling, 1997).

Tomando en cuenta los efectos que causan los plaguicidas, la OMS (Anexo 2) y la US-EPA (Anexo 3) han hecho una clasificación por toxicidad aguda para cada uno de los plaguicidas. En cuanto a los plaguicidas utilizados en el banano, esta es la clasificación según la OMS (WHO, 2006) y la EPA (EPA, 2002):

Cuadro 2: Clasificación por toxicidad aguda, según la OMS y la EPA, para los plaguicidas utilizados en banano, según acción biocida, grupo químico e ingrediente activo

Acción biocida	Grupo químico	Ingrediente activo	Efectos agudos (OMS)	Efectos agudos (EPA)
Fungicidas	Azol, clorado	Tebuconazol*	II	II
	Benzimidazol	Tiabendazol*	III	III
	Benzonitrilo, clorado	Clorotalonil*	U	II
	Conazol, clorado	Difenoconazol*	II	III
	Conazol, clorado	Imazalil*	II	II
	Conazol, clorado	Propiconazol*	II	II
	Conazol, clorado, fluorado	Epoconazol*	No hay datos.	III
	Ditiocarbamato	Mancozeb*	U	IV
	Estrobilurina	Azoxistrobina*	U	No hay datos.
	Estrobilurina clorado	Piraclostrobin	No hay datos.	No hay datos.
	Estrobina, antibiótico, fluorado	Trifloxistrobina	U	III
	Morfolina	Fenprofimorf	III	No hay datos.
	Morfolina	Spiroxamina	II	II
	Morfolina	Tridemorf*	II	No hay datos.
	Pirimidina	Pirimetanil*	III	IV
Triazole	Bitertanol	U	III	
Herbicidas	Ácido fosforoso	Glifosato*	III	III
	Ácido fosforoso	Glufosinato	II	No hay datos.
	Bipiridilo	Diquat*	II	II
	Bipiridilo	Paraquat*	II	II
	Urea, clorado	Diuron*	III	III
Insecticidas	Organofosforado, clorado	Clorpirifos*	II	II
	Piretroide	Bifentrina*	II	II
Nematicidas	Carbamato	Carbofuran*	Ib	I
	Carbamato	Oxamil*	Ib	I
	Organofosforado	Cadusafos*	Ib	III
	Organofosforado	Etoprofos*	Ia	II
	Organofosforado	Fenamifos*	Ib	I
	Organofosforado	Terbufos*	Ia	No hay datos.

*Considerado por PAN-Internacional como plaguicidas altamente tóxicos (PAN-Internacional, 2009)

Fuente: elaboración propia a partir de Bravo *et al.*, 2013

Para estos mismos plaguicidas, los efectos crónicos o a largo plazo son más difíciles de determinar; en muchos casos solo se han realizado estudios con animales, y en otros, los estudios con seres humanos son muy pocos. El siguiente cuadro muestra algunos de los efectos que se pueden dar a largo plazo, y algunos efectos crónicos específicos producidos por el contacto con alguno de los plaguicidas utilizados en el banano.

Cuadro 3: Efectos crónicos en humanos, según el Manual de Plaguicidas; para cáncer, según la clasificación de la EPA y el IARC; para los plaguicidas utilizados en banano, según acción biocida, grupo químico e ingrediente activo

Acción biocida	Grupo químico	Nombre	Efecto crónico	Ejemplo de efecto crónico específico en humanos	Fuente
Fungicidas	Azol, clorado	Tebuconazol	E-C ¹	Nd	
	Benzimidazol	Tiabendazol	C ¹ -G	Puede producir daño en los linfocitos.	Santovito, A., Cervella, P., & Delpero, M., 2011
	Benzonitrilo, clorado	Clortalonil	C ^{1, 2}	Dermatitis	Penagos, H., Ruepert, C., Partanen, T., & Wesseling, C., 2004
	Conazol, clorado	Difenoconazol	E-C ^{1, 2}	Nd	
	Conazol, clorado	Imazalil	E-C ¹	Aberraciones cromosómicas	Şişman, T., & Türkez, H., 2010
	Conazol, clorado	Propiconazol	E-C ¹	Afectación de la albúmina en el suero humano	Wang, C., & Li, Y., 2011
	Conazol, clorado, fluorado	Epoiconazol	C ¹	Posibilidad de ser disruptor endocrino	Chambers, J. <i>et al.</i> , 2013
	Ditiocarbamato	Mancozeb	N-E-C ¹	Daños a la tiroides y por ende posible disruptor endocrino Posible causante de defectos en el tubo neural	Goldner WS <i>et al.</i> , 2010 Nordby, K. C., Andersen, A., Irgens, L. M., & Kristensen, P., 2005
	Estrobilurina	Azoxistrobina	M	Produce disminución en la producción de estrógenos	Prutner, W <i>et al.</i> , 2013
	Estrobilurina clorado	Piraclostrobin	G	Posible genotóxico y citotóxico	Çayır, A., Coskun, M., & Coskun, M., 2012

Continúa...

Continuación Cuadro 3...

Acción biocida	Grupo químico	Nombre	Efecto crónico	Ejemplo de efecto crónico específico en humanos	Fuente
Fungicidas	Estrobina, antibiótico, fluorado	Trifloxistrobina		Nd	
	Morfolina	Fenpropimorf		Nd	
	Morfolina	Spiroxamina		Nd	
	Morfolina	Tridemorf	T	Nd	
	Pirimidina	Pirimetanil	C ¹	Nd	
	Triazole	Bitertanol	E	Nd	
Herbicidas	Ácido fosforoso	Glifosato	N-E-G	Crecimiento de células cancerígenas	Thongprakaisang, S. <i>et al.</i> , 2013
	Ácido fosforoso	Glufosinato	E	Parálisis del sexto nervio craneal	Park, J <i>et al.</i> , 2013
	Bipiridilo	Diquat	G	Reducción del crecimiento celular en neuroblastomas En concentraciones más altas, altera la función mitocondrial.	Slaughter, M. R <i>et al.</i> , 2002
	Bipiridilo	Paraquat	N-T-E-M	Neurodegenerativo y factor para la enfermedad de Parkinson	Baltazar, M. T. <i>et al.</i> , 2014.
	Urea, clorado	Diuron	T-E-C ¹	Alteraciones hormonales y producción de folículos en los ovarios	Orton, F. <i>et al.</i> , 2009
Insecticidas	Organofosforado, clorado	Clorpirifos	N-E	Cambios estructurales en el cerebro humano en desarrollo	Rauh, V. <i>et al.</i> , 2012
	Piretroide	Bifentrina	C ¹	Puede causar problemas materno-fetales.	Zhao, M. <i>et al.</i> , 2014
Nematicidas	Carbamato	Carbofuran	N-E-M	Alteración del equilibrio oxidativo y la estabilidad de la membrana de los eritrocitos	Sharma, R. <i>et al.</i> 2012
	Carbamato	Oxamil	N	Nd	
	Organofosforado	Cadusafos	N	Nd	
	Organofosforado	Etoprofos	N	Nd	
	Organofosforado	Fenamifos	N	Nd	
	Organofosforado	Terbufos	N	Daño al ADN	Wu, J. <i>et al.</i> , 2011

N: neurotóxico, T: teratogénico, E: disruptor endocrino, M: mutagénico, G: genotóxico, C: carcinogénico

¹Clasificación de cáncer EPA (Anexo 4)

²Clasificación cáncer IARC (Anexo 5)

Fuente: elaboración propia a partir de Bravo *et al.* 2013

2.6 Plaguicidas utilizados en otros cultivos

Otros cultivos presentes en el área de estudio y en cultivos de cantones aledaños, también utilizan varios plaguicidas, no tantos como en el banano, pero cultivos como la piña, el arroz y el plátano, usan grandes cantidades de insecticidas, herbicidas y fungicidas, respectivamente. En el cultivo de piña, el plaguicida más común es el insecticida diazinon; en el arroz es el herbicida propanil, y en el plátano, el fungicida mancozeb (Bravo *et al.*, 2013).

Se debe considerar la presencia de otros plaguicidas utilizados en varios cultivos, ya que al establecerse los plaguicidas usados en el banano, como principal fuente de contaminación, es factible obviar la presencia de los demás plaguicidas que puedan estar causando contaminación ambiental.

2.7 Evaluación de la contaminación ambiental por plaguicidas

Las emisiones de varias sustancias contaminantes, desde diferentes fuentes, producen diversas concentraciones de estos contaminantes en medios ambientales y de transporte, como el aire, el agua, los alimentos, el suelo y el polvo (OMS, 2001). Las mediciones constantes de estos contaminantes, por ejemplo en el aire, pueden llevarse a cabo para medir niveles de exposición ambiental (Nieuwenhuijsen, 2003); por ejemplo, Kim midió la presencia de algunos plaguicidas organofosforados en aire y polvo, para determinar una posible exposición ambiental a estos plaguicidas (2013). Aunque en estudios de exposición ambiental no se toman en cuenta las vías de exposición humana (ingesta, inhalación y dermal), conviene considerarlas para futuros estudios epidemiológicos, donde debe haber una fuerte correlación entre la exposición ambiental y personal (Nieuwenhuijsen, 2003).

Así, las exposiciones ambientales se pueden denominar como exposiciones externas, en las cuales se consideran elementos como el aire, alimentos, agua de consumo, suelo, polvo y microorganismos en partículas; y la exposición que se da en los seres humanos se puede nombrar como exposición interna, este tipo de exposición principalmente sucede por inhalación, ingesta y exposición dermal (OMS, 2001). Para la EPA, una importante ruta de exposición ambiental por plaguicidas es el aire, por el transporte de sustancias que puede realizar desde la fuente hasta lugares distantes, donde puede afectar a las poblaciones en general (2005).

Algunos estudios han demostrado la exposición a plaguicidas en escuelas o centros educativos, y uno de ellos ha evidenciado que los niños están expuestos a pequeñas dosis de plaguicidas dentro de las escuelas, por la cercanía a plantaciones agrícolas (Dalvie *et al.*, 2014). Otro estudio ha analizado la ocurrencia de enfermedades agudas relacionadas con la exposición a plaguicidas en ambientes escolares, por ejemplo: tos, vómitos, dolores de cabeza, irritación de ojos, prurito, taquicardia, demostrando la necesidad de reducir las exposiciones a plaguicidas en las escuelas (Alarcón, 2005). Sin embargo, la exposición a plaguicidas en escuelas, a través de la deriva de estos, es un problema que se ha venido evidenciando en varios estudios, principalmente por los problemas de salud que puedan sufrir los niños en los centros educativos (Needham, 2000; Koch, 2002; Lu, 2004; Alarcón, 2005; Fenske, 2005; Weppner, 2006; Dalvie, 2013).

2.8 Técnicas para medir la contaminación ambiental de plaguicidas en el aire y en el polvo

Existen varias técnicas para medir la contaminación de plaguicidas en aire y en el polvo. Esta investigación utilizó las mediciones de aire pasivo, en las cuales las sustancias se acumulan de forma pasiva por acciones físicas o naturales, y mediciones de aire activas por la succión de aire a través de un motor. Se utilizaron también las muestras de polvo pasivas, por la posibilidad que ofrece este de encontrar sustancias

que se depositan en el medio y que no se detectan o se detectan en menor cantidad en el aire.

Las mediciones ambientales pasivas de aire han servido para demostrar cómo en zonas urbanas, alejadas de regiones agrícolas, están contaminadas por plaguicidas organoclorados, bifenilos policlorados (PCB) y polibromodifenil éteres (PBDE) (Harner *et al.*, 2004, 2006a, 2006b y 2006c); y también se ha probado en varias investigaciones, para medir la deriva de bifenilos policlorados y plaguicidas organoclorados en el Ártico y en el Antártico (Choi, 2008). Estas mediciones pasivas de aire se realizan utilizando una espuma conocida como PUF (espumas de poliuretano, por sus siglas en inglés), y ha sido ampliamente utilizada para detectar contaminantes orgánicos persistentes (COPs) (Shoeib y Harner, 2002; Jaward *et al.*, 2004).

En Costa Rica, este tipo de muestreo pasivo ha sido validado para el uso de plaguicidas en ambientes tropicales donde, entre otros plaguicidas, se encontró clorpirifos (Gouin *et al.*, 2008b), y también se ha muestreado en la costa Pacífica (van Leeuwen, 2006) y en El Caribe (van Wendel de Joode *et al.*, 2012); comparando los datos con los muestreadores activos, Gouin *et al.*, demostraron que estos muestreos de aire pasivos y activos se complementan adecuadamente para medir plaguicidas organoclorados, como el endosulfan, PCB y PBDE (2005).

En algunos estudios, el polvo ha demostrado ser una fuente de información acerca de la contaminación ambiental por plaguicidas; la principal razón es que en el polvo, dentro de edificaciones como escuelas, las sustancias no están expuestas a factores externos que aceleren su degradación como el sol, el aire o la lluvia, y esto permite tener un reservorio de plaguicidas que se están degradando lentamente (Solano, 2009). Los muestreos de polvo han sido utilizados para detectar sustancias como hidrocarburos policíclicos aromáticos (PCA), bifenilos policlorados, plaguicidas organoclorados y organofosforados (Wilson *et al.*, 2003).

También los muestreos de polvo ayudan a demostrar que la cercanía de viviendas y guarderías a plantaciones agrícolas, puede ser rutas de exposición para los niños (Simcox *et al.*, 1995). Lu *et al.* (2000) evidenciaron en las muestras de polvo, que

la convivencia con trabajadores agrícolas y la cercanía a plantaciones, son importantes rutas de exposición para los niños. Solano (2009) realizó un muestreo de polvo en 2 viviendas y en una escuela de la zona caribeña de Costa Rica, cercanas a plantaciones bananeras y piñeras, donde se encontró residuos de clorpirifos y clorotalonil, entre otros plaguicidas.

2.9 Contaminación ambiental a plaguicidas en aire y polvo, medidos en otros estudios

La exposición ambiental a sustancias se define como cualquier contacto entre una sustancia en un medio ambiental (agua, suelo, aire) y alguna superficie del cuerpo humano (piel, tracto respiratorio) (Nieuwenhuijsen, 2003). Las exposiciones ambientales generalmente son intermitentes a lo largo de la vida de las poblaciones, por tanto, las evaluaciones suelen ser a largo plazo, a niveles bajos de exposición, en diferentes tipos de ambiente (OMS, 2001).

Las exposiciones ambientales normalmente son pequeñas, y para detectar un riesgo, la evaluación debe ser muy precisa (Nieuwenhuijsen, 2003). Aunque en esta investigación no se trata la exposición directamente, sí se estudia la contaminación ambiental, y al mostrar los niveles de contaminación en el aire y en el polvo por plaguicidas, es posible crear un precedente para posteriores estudios enfocados en la exposición.

En el Cuadro 4 se resumen algunos estudios de exposición ambiental en guarderías, escuelas y casas, el método de análisis de la exposición, así como sus resultados más relevantes, pero se enfatiza en la contaminación determinada en estas investigaciones. Por ejemplo, Dalvie *et al.* encontraron concentraciones de plaguicidas menores a $0,1 \text{ ug/m}^3$ y menores a $0,1 \text{ ug/kg}$ en polvo, en escuelas cercanas a viñedos, mientras uno de los plaguicidas estudiados es el clorpirifos; por otra parte, Weppner *et al.* demostraron que las concentraciones del plaguicidas metamidofos en aire,

aumentaban durante los días de aplicación, y tales concentraciones eran mayores que en comunidades más alejadas.

Uno de los plaguicidas más estudiados es el clorpirifos, como en el caso del estudio realizado en la zona de Talamanca por van Wendel *et al.*, que demostró como en algunas comunidades cercanas a plantaciones de banano y de plátano, el clorpirifos está presente en el aire, además de encontrar residuos de este organofosforado en el polvo recolectado de los colchones donde duermen algunos niños, y en el polvo residual dentro de las casas de estos niños (2012).

En los diferentes estudios se observa que las mediciones de aire, tanto activo como pasivo, son una buena herramienta para detectar plaguicidas, así como el polvo, que permite identificar una serie de estos, con los cuales los niños, por sus hábitos normales de vida tienen, mayor contacto que las personas adultas.

Cuadro 4: Resumen de estudios de evaluación ambiental por plaguicidas, utilizando muestras de aire y polvo en otros países

Título estudio	País	Objetivo	Método de muestreo	Tamaño muestra	Principales hallazgos	Fuente
Air pollution and young children's inhalation exposure to organophosphorus pesticide in an agricultural community in Japan	Japón	Evaluación del transporte aéreo de plaguicidas organofosforados en guarderías y en las casas de los niños	Muestreo activo de aire interno y externo en las guarderías y en las casas (24 horas)	31 casas y 4 guarderías	Correlación entre la concentración de triclorfon en aire interno (mediana 9 ng/m ³ ; rango 0 - 50 ng/m ³) y externo (mediana 43 ng/m ³ ; rango 0 - 367 ng/m ³) de la casa; y en aire interno (mediana 28 ng/m ³ ; rango 15 - 42 ng/m ³) y externo (mediana 40 ng/m ³ ; rango 26 - 53 ng/m ³) de las guarderías. Concentraciones aumentaban en el aire interno de las casas cuando tenían las ventanas abiertas durante las aplicaciones de plaguicidas.	Kawahara <i>et al.</i> , 2005
The Washington aerial spray drift study: Children's exposure to methamidophos in an agricultural community following fixed-wing aircraft applications	Estados Unidos	Caracterización de la exposición a metamidofos de niños viviendo cerca de plantaciones de papa	Muestreo activo de aire y muestras de polvo dentro y fuera de las casas Muestras de plaguicidas suspendidos en el aire de la comunidad Muestras de polvo acumulado en áreas de juego, juguetes, superficies internas y las manos de los niños	8 muestras de aire, polvo y polvo acumulado	Plaguicidas en suspensión en la comunidad fueron más bajos que los encontrados en las zonas de aplicación. En las muestras de aire se presentó un patrón: durante el día de aplicación, las concentraciones medianas subieron (de 0,05 µg/m ³ a 0,11 y 0,48 µg/m ³) y el día después de la aplicación bajaron (mediana 0,10 µg/m ³). Se encontraron residuos de metamidofos en polvo, mediante limpieza con gasas húmedas con isopropanol en los lugares de juego.	Weppner <i>et al.</i> , 2006
Indigenous children living nearby plantations with chlorpyrifos-treated bags have elevated 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCPy) urinary concentration	Costa Rica	Evaluar la exposición de niños a clorpirifos en comunidades cercanas a plantaciones de banano y plátano en Costa Rica	Muestras pasivas y activas de aire Lavado de manos y pies, polvo en colchones, polvo en las casas, suelo y agua Muestras de orina de niños	Muestras orina = 140 Muestras personales y ambientales = 6	Se detectó clorpirifos en el lavado de manos (promedio 33 ng/ambas manos) y pies (promedio 56 ng/ambos pies), en el polvo de los colchones (promedio 0,22 µg/g), en el polvo de las casas (promedio 0,3 µg/g) y en el suelo de una comunidad. No se encontró en el agua. También se encontró clorpirifos en el aire, tanto en las muestras activas (promedio 3,1 ng/m ³) como en las pasivas (promedio 8,3 ng/m ³).	van Wendel de Joode <i>et al.</i> , 2012

Contiúa...

Título estudio	País	Objetivo	Método de muestreo	Tamaño muestra	Principales hallazgos	Fuente
Environmental monitoring of pesticide residues from farms at a neighbouring primary and pre-school in the Western Cape in South Africa	Sudáfrica	Investigar cómo afecta la deriva de plaguicidas a los niños que asisten a escuelas cercanas a viñedos	Muestras activas de aire, polvo y césped, en los centros preescolares y de educación primaria	2 escuelas: una a 100 m de un viñedo; la otra, a 30 metros de otro viñedo	Se encontró 11 plaguicidas, 6 de uso regular en las aplicaciones de los viñedos (endosulfan, dimetomorf, penconazol, ciprodinil, boscalid, bromopropilato), 3 de uso común en las casas (clorpirifos, cipermetrina, permetrina), 1 usado en control de plagas en mascotas (piriproxifen) y 1 detectado por deriva de otros cultivos de la zona (kresoxim-metil). Concentraciones de plaguicidas fueron menores a 0,1 µg/m ³ en aire, y menores a 0,1 µg/kg en polvo y césped; no se brindan rangos.	Dalvie <i>et al.</i> , 2013
Exposures of preschool children to chlorpyrifos and its degradation product 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in their everyday environments	Estados Unidos	Exposición de niños a clorpirifos y al metabolito TCP en su ambiente diario	Muestras de aire dentro y fuera de las casas y de guarderías. Polvo en el piso. Suelo en los sitios de juego. Limpieza de manos, lugares de preparación de comida y piso.	129 casas y 13 guarderías	Clorpirifos se detectó en todas las muestras de aire externo en casas (promedio 1,1 ng/m ³ ; mediana 0,3 ng/m ³ ; rango 0 – 45,9 ng/m ³) y en las guarderías (promedio 0,4 ng/m ³ ; mediana 0,3 ng/m ³ ; rango 0 – 1,5 ng/m ³); y en aire interno en casas (promedio 19 ng/m ³ ; mediana 6,2 ng/m ³ ; rango 0,3 – 391 ng/m ³) y en las guarderías (promedio 8,2 ng/m ³ ; mediana 3 ng/m ³ ; rango 0,6 – 29,4 ng/m ³). También se detectó en todas las muestras de polvo en el piso de las casas (promedio 413 ng/g; mediana 135 ng/g; rango 11,5 – 15100 ng/g) y de las guarderías (promedio 237 ng/g; mediana 142 ng/g; rango 12,4 – 921 ng/g).	Morgan <i>et al.</i> , 2005
Health risk assessment of exposure to chlorpyrifos and dichlorvos in children at childcare facilities	Corea del Sur	Evaluar la exposición de plaguicidas organofosforados en niños a través de cuatro rutas de exposición (aire interno, polvo interno, limpieza superficie de objetos internos y lavado de manos de los niños).	Muestras activas de aire interno (n=168), polvo interno y lavado de manos (n=30), limpieza de la superficie de objetos (n=106)	168 guarderías	Diclorvos se detectó en el 47% de las muestras, con un promedio de 0,129 ug/m ³ (rango ND – 1,796 ug/m ³) de aire interno, se detectó en el 90% de las muestras de polvo interno (promedio 0,124 ug/m ³ , rango ND – 0,474 ug/m ³) y en el 100% en las muestras de limpieza de la superficie de objetos internos y lavado de manos de los niños. Clorpirifos no se detectó en ninguna muestra.	Kim <i>et al.</i> , 2013

Continúa...

Título estudio	País	Objetivo	Método de muestreo	Tamaño muestra	Principales hallazgos	Fuente
Exposures of 129 Preschool Children to Organochlorines, Organophosphates, Pyrethroids, and Acid Herbicides at Their Homes and Daycares in North Carolina	Estados Unidos	Cuantificar la distribución de 16 plaguicidas en diferentes medios, ambientales y personales en una muestra de niños en sus casas y en guarderías.	Muestras ambientales de suelo, polvo, aire activo interno y externo Muestreos personales de comida sólida y líquida, y lavado de manos	129 viviendas y 13 guarderías	Se detectaron 16 plaguicidas (aldrin, α clordano, γ clordano, DDT, dieldrin, eldrin, heptacloro, lindano, clorpirifos, diazinon, ciflutrin, <i>cis</i> permetrina, <i>trans</i> permetrina, dicamba, 2,4 D, 2,4,5 T). α clordano, γ clordano, heptacloro, clorpirifos, diazinon, <i>cis</i> permetrina, <i>trans</i> permetrina, 2,4 D se detectaron en más del 50% de las muestras ambientales y personales. Se concluye que estos niños están expuestos a muchos plaguicidas diariamente, por medio de muchas rutas y diferentes fuentes.	Morgan <i>et al.</i> , 2014
Pesticides in Household Dust and Soil: Exposure Pathways for Children of Agricultural Families	Estados Unidos	Determinar si niños expuestos a químicos de agricultura tienen niveles mayores de plaguicidas que aquellos que no viven cerca ni sus familiares están involucrados en agricultura.	Muestras de polvo y suelo en lugares de juego de los niños en 59 casas	48 viviendas a menos de 60 metros y 11 a más de 400 metros de una plantación de manzanas	Se detectaron 4 plaguicidas organofosforados (azinfosmetil, clorpirifos, paration y fosmet). Concentraciones en polvo fueron significativamente mayores que en suelo. En suelo el rango fue de no detectable a 0,93 μ g/g. En polvo el rango fue de no detectable a 17 μ g/g. Los 4 plaguicidas fueron detectados en el 62% de las muestras de polvo.	Simcox <i>et al.</i> , 1995
Strategies for assessing children's organophosphorus pesticide exposure in agricultural communities	Estados Unidos	Relación entre la distancia de la vivienda respecto a cultivos donde se utilizan plaguicidas organofosforados.	Polvo y suelo en las viviendas	Muestras de polvo en 59 viviendas	Concentraciones de plaguicidas organofosforados (azinfos-metil, clorpirifos, diazinon, diclorvos, fosmet) en polvo era 10 veces mayor en las viviendas que estaban más cerca de las plantaciones agrícolas (n=48) que las de referencia (n=11). Comparación del estudio de Lu <i>et al.</i> , 2000 y Simcox <i>et al.</i> , 1995.	Fenske <i>et al.</i> , 2000
Pesticide Exposure of Children in an Agricultural Community: Evidence of Household Proximity to Farmland and Take Home Exposure Pathways	Estados Unidos	Determinar la exposición de niños a organofosforados en una comunidad agrícola.	Polvo en la casa de los niños Limpieza en varias superficies en la casa de los niños	109 casas	Las concentraciones de organofosforados (anzifos metil y fosmet) en polvo de las casas más cercanas a las plantaciones fue significativamente altas comparadas con las de las casas de referencia (1,92 vs 0,27 μ g/g; $p < 0,001$).	Lu <i>et al.</i> , 2000

Continúa...

Título estudio	País	Objetivo	Método de muestreo	Tamaño muestra	Principales hallazgos	Fuente
Children's Exposure to Chlorpyrifos and Parathion in an Agricultural Community in Central Washington State	Estados Unidos	Relación entre la distancia de la vivienda y exposición a clorpirifos y paration.	Polvo y suelo en las viviendas	Muestras de polvo en 75 viviendas	Concentraciones de clorpirifos en polvo fueron mayores en las casas donde vivían aplicadores de plaguicidas (mediana 0,4 µg/g), que en las casas de referencia (mediana 0,1 µg/g). Un patrón similar hay para el paration. Las viviendas más cercanas (60 m) tenían mayor presencia de clorpirifos y paration.	Fenske <i>et al.</i> , 2002

Fuente: elaboración propia

2.10 Factores ambientales en la deriva de plaguicidas en aire y polvo

Según la US-EPA, la deriva de los plaguicidas es el movimiento de las partículas de plaguicidas por el viento, a lugares no deseados al momento de la aplicación; la deriva de partículas es la principal ruta de transporte aérea de los plaguicidas fuera del área de aplicación, adonde pueden causar daños ecológicos (2005) y en la salud humana.

El movimiento de las partículas de plaguicidas depende principalmente de la velocidad y dirección del viento, condiciones atmosféricas, equipo de aplicación, tamaño de las gotas y el método de aplicación (EPA, 2005). Para medir la velocidad y la dirección del viento es importante considerar las masas de aire universales y los flujos locales, como las corrientes de mar a tierra y viceversa (INECC, 2004).

Las diferentes formas de aplicación de plaguicidas, como la aérea con avioneta o helicóptero, la manual con bombas mecánicas o motor, o mediante maquinaria pesada (*spray-boom*), pueden producir algún tipo de deriva hacia poblados o escuelas (Dalvie, 2013). En particular, las fumigaciones aéreas, utilizadas en ciertos monocultivos como el banano, pueden generar deriva y ocasionar que se encuentren residuos de plaguicidas en el organismo de las personas (van Wendel de Joode, 2014). Además, al permanecer mucho tiempo en el aire, algunos plaguicidas pueden ser transportados por la lluvia o por la niebla (RAPAM, 2002).

Para entender la deriva de los plaguicidas, se debe tomar en cuenta varios aspectos: las características físico-químicas de estas sustancias, por ejemplo, la disposición química del insecticida clorpirifos de adherirse al polvo con ayuda de aceites agrícolas que se utilizan en las fumigaciones aéreas (Solano, 2009); la temperatura en la que los plaguicidas se volatilizan, para entender la cantidad que se puede encontrar en el aire (Gouin *et al.*, 2005); y elementos del clima como el viento, que ayudan a entender la exposición a plaguicidas que ocurre en otras áreas, así como la forma de predecir dónde y cómo es la exposición (Bozon, 2009; Ramaprasad *et al.*, 2004).

Sin embargo, cuando se trata sobre la contaminación ambiental, se debe tomar en cuenta las variaciones geográficas de los lugares que se están estudiando, principalmente las temporales y las espaciales, por ejemplo: la distancia con respecto a fuentes de contaminación, las variaciones diarias de contaminación en el aire y las diferencias en los niveles de contaminación, según los lugares donde se está midiendo (Nieuwenhuijsen, 2003).

Tomando en cuenta la deriva de los plaguicidas, la posibilidad de encontrar plaguicidas en aire y polvo en ambientes escolares, y considerar que pueden causar daños en la salud, principalmente en los niños, por las condiciones de susceptibilidad en su organismo en desarrollo, el análisis de la contaminación ambiental en los centros educativos, puede determinar si las concentraciones encontradas son un riesgo para la salud de los niños, y también riesgo para la salud de las personas que trabajan en estos centros educativos..

2.11 Operacionalización de las variables

Con la operacionalización de las variables se pretende describir cada uno de los objetivos específicos de esta investigación, las categorías implícitas en cada uno de ellos, el concepto que define a esas categorías, y el indicador que representará a estas variables, y por último, describir la fuente de donde se obtendrá la información para cumplir con los objetivos propuestos.

Cuadro 5: Operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Categorías	Concepto	Indicador / dimensiones	Fuente
Describir los centros educativos y sus características con respecto al cultivo de banano.	Características de los centros educativos	Caracterizar la situación de los centros educativos durante el muestreo.	Distancia respecto a la bananera Barreras protectoras Cantidad de estudiantes y de personal en los centros educativos	Trabajo de campo SIG Entrevistas a los directores de los centros educativos
Medir las concentraciones de plaguicidas presentes en el aire y en el polvo ambiental, de diez centros educativos a menos de 100 metros y dos a más de 1500 metros de fincas bananeras, en el cantón de Matina.	Concentraciones de plaguicidas medidas en aire y polvo.	Cantidad de plaguicidas encontrados en las muestras pasivas y activas, de aire y polvo	ng/m ³ aire ug/g polvo	Resultados del muestreo ambiental realizado como parte de las actividades del programa ISA
Determinar si existen diferencias entre las escuelas, con respecto a las concentraciones de plaguicidas medidas en aire y polvo.	Concentraciones de plaguicidas medidas en aire y polvo	Cantidad de plaguicidas encontrados en las muestras pasivas y activas de aire y polvo	ng/m ³ aire ug/g polvo	Resultados del muestreo ambiental realizado como parte de las actividades del programa ISA

Fuente: elaboración propia

Capítulo III. Metodología

Este capítulo abordará las cuestiones metodológicas que siguió esta investigación, se describirá el diseño y el área de estudio; se profundizará en los sitios de investigación y lo hecho en cada uno. Se explicará detalladamente cómo se realizaron los diferentes muestreos, cómo se analiza la información en los laboratorios y cómo se efectuarán los análisis estadísticos. Por último, se abordarán las limitaciones y los alcances del proyecto.

3.1 Diseño del estudio y sitios de muestreo

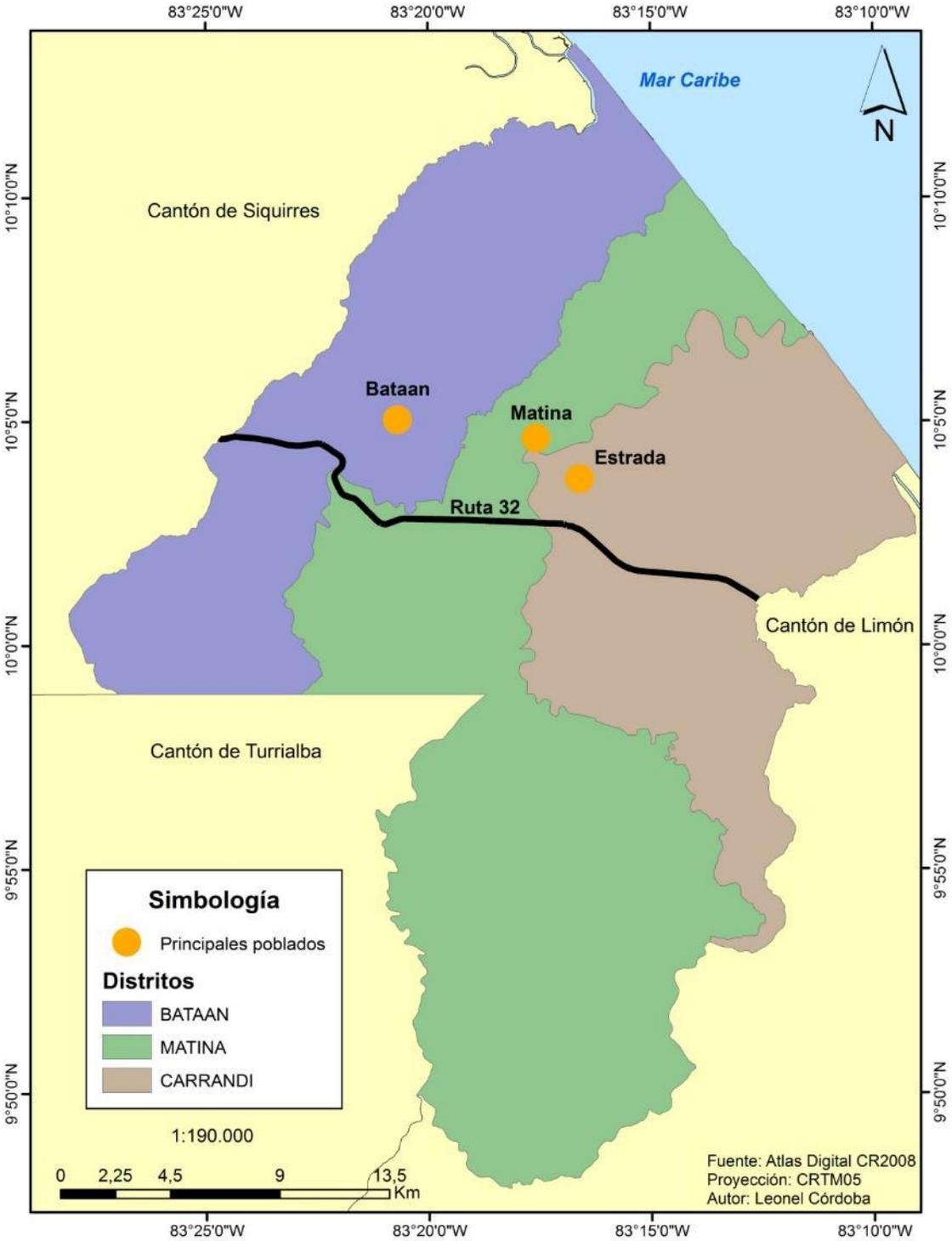
Se realizó una evaluación por contaminación a plaguicidas en 12 centros educativos del cantón de Matina, para tomar en cuenta las concentraciones de plaguicidas en el aire y polvo y las posibles vías de difusión. El estudio se realizó desde junio de 2010 hasta diciembre de 2011.

3.2 Área del estudio

3.2.1 Cantón de Matina

Matina es el cantón número cinco de la provincia de Limón, tiene una extensión de 772,64 km², y una población de 37735 habitantes (INEC, 2011). Limita al noroeste con el cantón de Siquirres, al sureste con el cantón de Limón, al sur con el cantón de Turrialba y al norte con el mar Caribe. Su división administrativa consta de tres distritos: Matina, Bataan y Carrandí (Figura 1).

Figura 1: Mapa de la división político administrativa del cantón de Matina



Fuente: Atlas digital ITCR2008

El uso del suelo, determinado a partir de las fotografías aéreas del proyecto CARTA, en su mayoría es agropecuario; existen varias hectáreas dedicadas a cultivos de arroz, palma africana y plátano; un área importante es de bosque, donde se encuentran algunas comunidades indígenas, y también hay una zona significativa de pastos y terrenos en preparación; normalmente se utilizan en algunos momentos como cultivos de banano (Cuadro 6 y Figura 2).

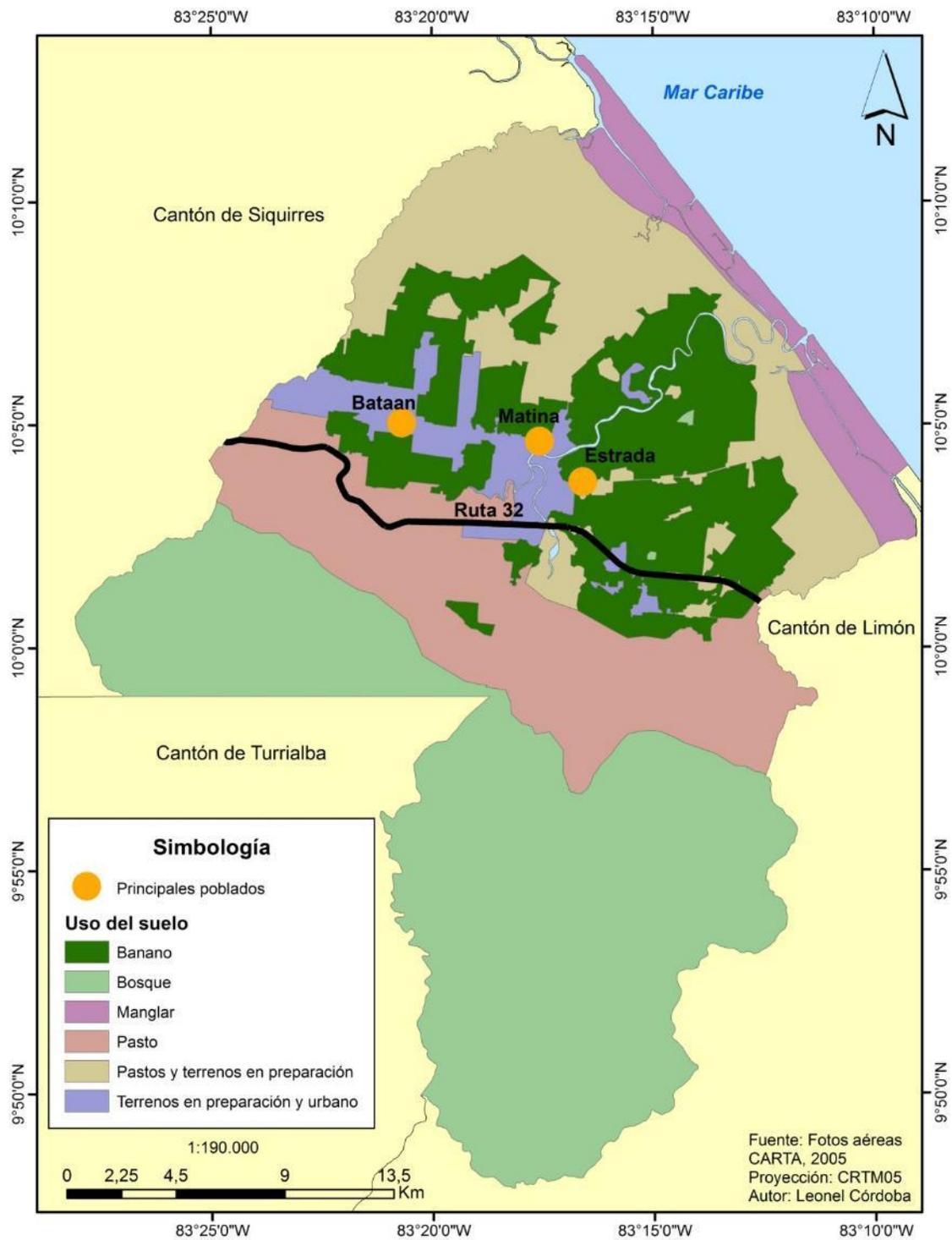
Cuadro 6: Uso del suelo del cantón de Matina, 2005

Uso del suelo	Hectáreas	%
Banano	13686	17,6
Bosque	30075	38,7
Pastos y terrenos en preparación	13464	17,3
Pasto	12749	16,4
Manglar	3947	5,1
Terrenos en preparación y urbano	3419	4,4
Arroz	347	0,4
Total	77687	100

Fuente: interpretación fotos aéreas proyecto CARTA 2005

El área destinada al cultivo de banano ronda las 13600 hectáreas del cantón, por lo que es el cantón con la mayor cantidad de banano (CORBANA, 2013); además, Matina es uno de los cantones con menor índice de desarrollo humano del país (0,59 en el 2011, PNUD).

Figura 2: Mapa de uso del suelo en 2005, del cantón de Matina



Fuente: fotos aéreas Proyecto CARTA, 2005

3.2.2 Clima de Matina

En Costa Rica existen dos vertientes, con diferentes regímenes de precipitación y temperatura: Pacífico y Caribe; dentro de cada una de estas hay varias regiones climáticas. Esta investigación se enfocará en la vertiente del Caribe, que a su vez se divide en 2 regiones: el Caribe Norte y el Caribe Sur, y entre ellas existen diferencias importantes en la precipitación y en los vientos (IMN, 2013).

El cantón de Matina se encuentra en la región Caribe Norte de la Vertiente . Esta región es más lluviosa que la del sur, presenta precipitaciones anuales desde los 3500 mm hasta los 4500 mm; con respecto al viento, en la región del norte existe mayor influencia de los vientos alisios provenientes del norte del continente americano; en la parte sur, los vientos provienen en mayor parte del oeste, de las montañas (IMN, 2013). Sin embargo, datos oficiales del IMN indican una dirección predominante en la zona de los vientos del suroeste, debido a la acción de la cadena montañosa de la cordillera de Talamanca, que causa que el viento del norte choque y se devuelva; las estaciones meteorológicas captan el viento que se devuelve (2014) (Anexos 6 y 7).

En el Caribe Norte se pueden definir dos periodos de menor precipitación, de febrero-abril y de septiembre-octubre, y dos de aumento en las precipitaciones, de noviembre-febrero y de mayo-agosto; diciembre es el mes más lluvioso y septiembre el menos, y llueve más durante la noche y la mañana (Manso *et al.*, 2005).

3.3 Sitios de investigación

Esta investigación se llevó a cabo en 12 centros educativos, escuelas primarias, del cantón de Matina, elegidos por su ubicación respecto a las plantaciones bananeras.

Para determinar la distancia entre las escuelas y las fincas bananeras, se utilizó un SIG, mediante el cálculo de una distancia euclidiana, desde el punto donde se colocó el muestreador de aire pasivo dentro de la escuela, hasta el punto más próximo que representa el límite de los cultivos de banano (Figura 3).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Figura 3: fórmula para calcular la distancia euclidiana

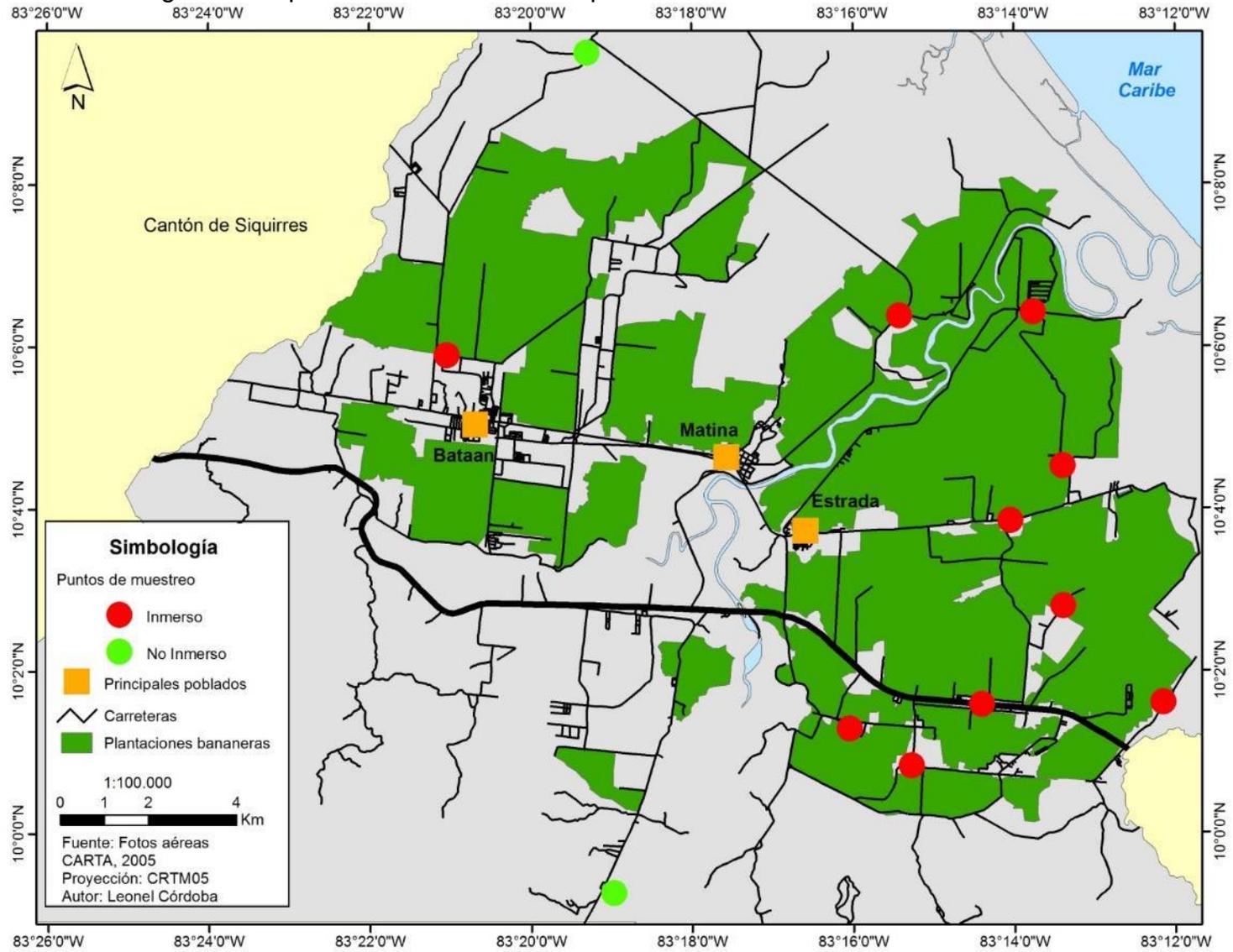
Donde d representa la distancia, x la coordenada en el eje x y la y , la coordenada en el eje y . En algunos también se utiliza la distancia z , pero el caso de esta investigación no utilizará el valor de la altitud.

Para el cálculo de la distancia se emplearon las fotografías aéreas del Proyecto CARTA 2005, corroborando alguna información de las escuelas, mediante visitas a los centros educativos; además se obtuvo datos de la zona a través de imágenes de satélite del programa Google EARTH Pro, tomadas entre 2013 y 2014, y se toma en consideración estos dos años, por la información disponible en 2010. Cada uno de estos puntos de muestreo en los centros educativos (Figura 4) fue marcado con un punto GPS.

Para el muestreo ambiental se seleccionó, primeramente, 10 centros educativos que estuvieran a menos de 100 metros de alguna plantación bananera, y que se denominarán centros educativos inmersos. Además, se eligió dos localidades que estuvieran a más de 1,5 kilómetros de una plantación bananera y sirvieran de referencia para el análisis de las muestras, y que se denominarán no inmersos; en una de estas comunidades se trabajó en el centro de educación (Goshen), y en la otra se utilizó las afueras del Centro de Educación y Nutrición (CEN) (Corina). En este último caso, se usaron las instalaciones del CEN, por razones de seguridad, el cual está ubicado 50 metros al sur de la escuela de la comunidad.

En total, en los 12 sitios de muestreo se realizó 48 mediciones de aire pasivo: 6 en los no inmersos y 42 en los inmersos; 16 mediciones de aire activo: 12 en los inmersos y 4 en los no inmersos; y 42 muestreos de polvo: 36 en los sitios inmersos y 6 en los no inmersos (Cuadro 7).

Figura 4: Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo en el cantón de Matina



Fuente: trabajo de campo y fotos aéreas Proyecto CARTA, 2005

Cuadro 7: Descripción de los sitios de muestreo, comunidad, tipo de muestreo, periodos y tiempos de muestreo por centro educativo

Sitio muestreo	Comunidad	Lugar de muestreo de aire pasivo	Periodos de muestreo de aire pasivo	Tiempo total (días) de muestreo de aire pasivo	Lugar de muestreo de aire activo	Periodos de muestreo de aire activo	Lugar de muestreo de polvo	Periodos de muestreo de polvo	Tiempo total (días) de muestreo de polvo
Escuela Larga Distancia	Larga Distancia	Alero servicios sanitarios	4	182			Base cercha comedor	4	484
Escuela Barmouth	Agrodisa	Asta de la bandera	4	182			Base cercha aula	4	450
Escuela Saborío	Saborío	Alero pabellón	4	182			Base cercha aula	3 ²	309
Escuela 4 Millas	4 Millas	Alero aula de kínder	4	182			Encima librero aula	3 ³	345
Escuela La Maravilla	La Maravilla	Base tanque de agua	4	180			Base cercha aula kínder	4	433
Escuela Los Almendros	Los Almendros	Base tanque de agua	4	182	Aula	4	Base cercha comedor	4	449
Escuela Venecia	Venecia	Base tanque de agua	4	182			Base cercha aula kínder	4	449

Continúa...

² Se extravió un muestreador durante el muestreo.

³ Se extravió un muestreador durante el muestreo.

Continuación Cuadro 7...

Sitio muestreo	Comunidad	Lugar de muestreo de aire pasivo	Periodos de muestreo de aire pasivo	Tiempo total (días) de muestreo de aire pasivo	Lugar de muestreo de aire activo	Periodos de muestreo de aire activo	Lugar de muestreo polvo	Periodos de muestreo de polvo	Tiempo total (días) de muestreo de polvo
Escuela Zent	Zent	Asta de la bandera	5 ⁴	351	Afuera del comedor	5	Base cercha salón	4	450
Escuela Boston	Boston	Asta de la bandera	4	182			Marco ventana aula	2 ⁵	153
Escuela Santa María	Bananita	Alero dirección	4	182	Aula cómputo	4	Base cercha aula kínder	4	540
Escuela Corina (CEN-CINAI)	Corina	Tallo de palmera	4	218			Base cercha soda	4 ⁶	330
Escuela San Juan	Goshen	Alero pabellón	5 ⁷	279	Comedor	3	Base cercha comedor	2	210

Fuente: elaboración propia

⁴ En el quinto muestreo se pusieron 3 muestreadores simultáneos, para un total de 7 muestreadores en la escuela de Zent.

⁵ Se extravió un muestreador durante el muestreo; el otro se quebró durante el transporte.

⁶ En los centros educativos no inmersos se realizaron dos muestreos de polvo; en Corina se realizaron dos más de prueba.

⁷ Se realizó un muestreo adicional en Goshen para compararlo con la escuela de Zent.

3.3.1 Muestreo aire pasivo

En cada uno de los 12 centros educativos se instaló un muestreador de aire pasivo en la parte exterior del centro respectivo, siguiendo la metodología de Gouin *et al.* (2008a). El dispositivo consiste en dos tazones de acero inoxidable, uno de ellos invertido; el diámetro del tazón más grande es de 30 cm, y el del más pequeño es de 20 cm; entre ambos tazones hay una abertura de 2,5 cm aproximadamente, que permite el flujo del aire. El tazón más pequeño contiene un sujetador interno para asegurar una espuma (Figura 5).

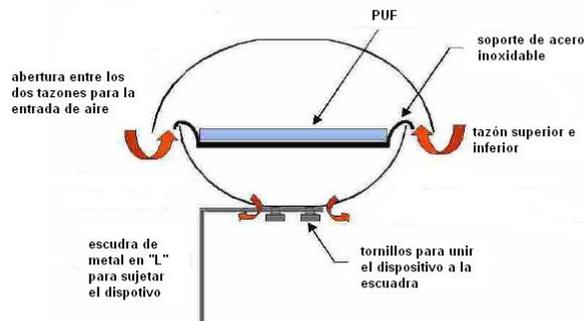


Figura 5: Diagrama del equipo de muestreo pasivo de aire

Los discos PUF fueron previamente limpiados y dopados en el laboratorio; en estas espumas se utilizó una mezcla denominada compuestos de depuración o compuestos de rendimiento antes de ponerlos en el campo; tales compuestos son productos químicos que no están presentes en el ambiente o en concentraciones insignificantes; estas sustancias fueron: PCB 30, PCB 209 y etión.

Los dispositivos se colocan a una altura de 3 a 5 metros, en un punto donde no tuvieran obstrucción de aire -como árboles o edificios-, ni cercano a salida de vapores o humos de cualquier tipo; se posicionan en lugares como el asta de la bandera, postes de electricidad o aleros de algunos techos, siempre dentro de los centros educativos.

Los muestreadores se dejaron en cada uno de los centros educativos, por un periodo que varió de 27 hasta 85 días, con un promedio de 47 días por periodo de muestreo, para un total de cuatro periodos en nueve centros educativos inmersos y un centro



Figura 6: Muestreador pasivo de aire.

educativo no inmerso, y cinco períodos para un centro educativo inmerso y uno no inmerso (Cuadro 8).

Antes del inicio de cada medición, los dispositivos eran limpiados con isopropanol para eliminar polvo o cualquier residuo acumulado. Las espumas se transportaban a los sitios envueltas en papel aluminio calcinado y dentro en una bolsa de cierre hermético. Al terminar la medición, cada espuma fue envuelta de nuevo en papel aluminio calcinado y colocada dentro de una bolsa de cierre hermético. Las muestras fueron transportadas al LAREP en una hielera (4°C) y congeladas hasta su análisis.

En cada uno de los periodos de muestreo se realiza un blanco de campo, tomado como control de calidad, y el procedimiento seguido para tener el blanco de campo era el mismo que para las muestras que iban a colocarse, con la diferencia de que permanecían fuera de la bolsa y del papel aluminio calcinado durante tres minutos, y luego se volvían a guardar en el papel aluminio, en la bolsa hermética, y se colocaban en la hielera.

3.3.2 Muestreo aire activo

Adicionalmente, en cuatro centros educativos (3 inmersos [Los Almendros, Santa María y Zent] y 1 no inmerso [Goshen]) se instaló un muestreador de aire activo (Cuadro 8). Estas muestras de aire son recolectadas mediante un sistema de bombeo de aire de alto caudal ($0,6 \text{ m}^3/\text{min}$) con una membrana pasiva y un dispositivo de vidrio con una resina de XAD de Supelco.

Para colocar este aparato, el lugar debía contar con requisitos mínimos de seguridad y de espacio; además, debía estar en un sitio no afectado por la lluvia y fresco, para que el equipo no se sobrecalentara; también se debía considerar un lugar amplio, debido a que la bomba succiona el aire y lo hace pasar por el muestreador, por lo tanto, se genera ruido constante las 24 horas que dura el muestreo.

El cartucho de muestreo es un frasco de vidrio con una espuma de poliuretano dividida por dos, y en la mitad se coloca la resina XAD de Supelco (Wania *et al.*, 2003) (Figura 7). En la parte superior del muestreador se coloca el filtro de fibra de vidrio. Antes de colocar un nuevo cartucho y filtro, las piezas del muestreador se limpian con isopropanol y se secan con toallas de papel.



Figura 7: Dispositivo de vidrio con una resina de XAD de Supelco



Figura 8: Imagen del muestreador de aire activo

En el campo, el muestreador se colocó a una altura de entre 2 y 3 metros de forma vertical, previamente puesto el cartucho y el filtro. Se tomó datos iniciales del muestreo, fecha, hora y presión inicial de la bomba. El muestreador se dejó durante 24 horas, y pasado este tiempo se volvió a anotar fecha, hora y presión final, la cual se utiliza para realizar cálculos con los cuales se obtiene el flujo del aire que pasa por el cartucho. Al finalizar el tiempo de muestreo, el filtro y el cartucho se envuelven en papel aluminio calcinado y se colocan en una bolsa hermética; posterior a esto, se deposita en una hielera a 4°C y se transporta hasta el LAREP, con las muestras congeladas hasta su análisis.

Al igual que en el muestreador pasivo de aire, en cada periodo de muestreo se tomó un blanco de campo para las muestras activas de aire; antes de iniciar uno de los muestreos de 24 horas, se colocaba el cartucho y el filtro en el muestreador; cuando estaba listo se dejaba durante tres minutos y luego se retiraba el cartucho y el filtro y se guardaban en papel aluminio calcinado dentro de una bolsa hermética, tras lo cual se depositaba en la hielera.

Los muestreadores se colocaron en diferentes lugares, dependiendo del centro educativo; en los sitios de muestreo inmersos se colocó uno dentro de un aula de estudio, otro fuera de un aula de estudio y, en el otro caso, en las afueras del comedor escolar. En el centro educativo no inmerso se colocó dentro del comedor escolar (Figura 9).



Figura 9: Muestreador activo de aire

3.3.3 Muestreo polvo

En cada uno de los 12 centros educativos se colocó 2 cajas petri, para recolectar polvo (Figura 10). La caja petri es un plato de vidrio utilizado para ensayos en laboratorio, pero de gran utilidad para recolectar material y mantenerlo dentro del plato por un periodo extenso. Cada caja contaba con una tapa de vidrio con la cual se cubría una vez terminado el muestreo, para mantener su contenido dentro de la caja Petri; después se envolvían en papel aluminio calcinado y se colocaban en una bolsa hermética, posterior a lo cual se depositaban en una hielera a 4°C y se transportaban hasta el LAREP, congeladas para su análisis.

Los lugares para colocar las cajas petri debían estar dentro de alguna instalación, en un sitio alto para evitar que se quebraran, lejos del alcance de los niños y donde se observara posibilidad de recolectar polvo. El tiempo de muestreo varió de 48 a 156 días, con un promedio de 109 días. Los periodos de muestreo fueron cuatro en los centros educativos inmersos y uno en los no inmersos. El otro centro educativo no inmerso tuvo dos periodos de muestreo.



Figura 10: Muestreador pasivo de aire, caja petri

3.4 Análisis de la información

3.4.1 Análisis químico

El análisis químico de las muestras de polvo y aire (pasivo y activo) se hizo en el LAREP del IRET. Los extractos se analizaron en un cromatógrafo de gases Agilent 7890A y con detector de masas 5975C (GCMS); se utiliza una columna capilar BPX35 (30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m, SGE-EEUU). Para la identificación en las muestras de aire pasivo y en el cartucho de las muestras de aire activo, se prepara una curva de cuatro niveles en la misma matriz. Para las muestras de polvo y para el filtro de la muestra de aire activo, los estándares se preparan en solventes. Por cada serie de muestras extraídas se lleva como control de calidad un blanco reactivo, además de un blanco de campo. Se utilizó dos métodos de captura de datos en el GCMS, para identificar y

cuantificar los plaguicidas en los extractos: primeramente la técnica “selected ion monitoring” (SIM) y luego la técnica “total ion current” (TIC).

3.4.1.1 Selección de los plaguicidas

La selección de los plaguicidas se efectuó con base en una lista de plaguicidas utilizados en el banano, o que se puede encontrar cerca de estos cultivos, y que el laboratorio tiene la posibilidad de analizar (Cuadro 1). Para cada tipo de muestreo (aire pasivo, aire activo XAD y filtro, y polvo) se seleccionó una serie de plaguicidas de la lista a continuación (Cuadro 8).

Cuadro 8: Lista de plaguicidas seleccionados para analizar, para cada tipo de muestreos utilizados en esta investigación

Plaguicida	Aire pasivo (PUF)*	Aire activo (XAD)	Aire activo (filtro)	Polvo
Azoxistrobina	X	X	X	X
Bitertanol	X	X	X	X
Bifentrina		X	X	X
Buprofezin		X	X	X
Cadusafos		X	X	X
Carbofuran		X	X	X
Carbofuran fenol		X	X	X
Cipermetrina a		X	X	X
Ciproconazol		X	X	X
Clorotalonil	X	X	X	X
Clorpirifos	X	X	X	X
DEET	X	X	X	X
Diazinon	X	X	X	X
Dicloroanilina 3,4		X	X	X
Difenoconazol	X	X	X	X
Endosulfan-a		X	X	X
Endosulfan-b		X	X	X
Epoxiconazol	X	X	X	X
Etion	X	X	X	X
Etoprofos	X	X	X	X
Fenbuconazol	X	X	X	X
Fenamifos	X	X	X	X
Fenpropimorf	X			
HCB		X	X	X
Imazalil		X	X	X
Miclobutanil		X	X	X
Pirimetanil	X	X	X	X
Propiconazol	X	X	X	X
Spiroxamina	X	X	X	X

Continúa...

Continuación cuadro 8...

Plaguicida	Aire pasivo (PUF)*	Aire activo (XAD)	Aire activo (filtro)	Polvo
Tebuconazol		X	X	X
Terbufos	X	X	X	X
Terbufos sulfone	X	X	X	X
Tiabendazol		X	X	X
Trifloxistrobina	X	X	X	X

Fuente: LAREP. *Para el aire pasivo (PUF) las sustancias se seleccionaron de esta lista, debido a que ya habían sido reportadas en otros estudios.

Una vez seleccionados estos plaguicidas, los que se presentan a continuación son los detectados en todas las muestras realizadas en el estudio (Cuadro 9):

Cuadro 9: Plaguicidas detectados en esta investigación

Acción biocida	Ingrediente activo
Fungicidas	Tebuconazol
	Clorotalonil
	Difenoconazol
	Propiconazol
	Epoxiconazol
	Fenprofimorf
	Spiroxamina
	Primetanil
Bitertanol	
Insecticidas	Clorpirifos
	Buprofezin
	Diazinon
	Cipermetrina
Nematicidas	Carbofuran
	Cadusafos
	Etoprofos
	Terbufos
	Terbufos sulfone
Otros	DEET

Fuente: elaboración propia

No fue posible cuantificar el fungicida clorotalonil, en el muestreo de aire pasivo, debido a que el procedimiento de extracción de las muestras no fue el adecuado para el

comportamiento ambiental de este plaguicida; los datos brindaban una subestimación no lineal del valor real del plaguicida en el ambiente, por lo tanto, el plaguicida se detectó en las muestras de aire pasivo, pero no se cuantificó.

3.4.1.2 Extracción de las muestras de aire: pasivo y activo

Para el análisis de las muestras de aire pasivo se extrajo cada espuma dos veces, con una mezcla acetona hexano con baño ultrasónico. Cada extracto fue concentrado con evaporador rotatorio y, finalmente, con una corriente de nitrógeno pureza 99,4% (grado 4,8), y se cambió a isooctano. El extracto tiene un volumen de 1 ml.

Para el análisis de las muestras de aire activo, se sigue un procedimiento similar al descrito para el análisis de las muestras de aire pasivo. Los cartuchos se dividen en muestra A y muestra B. La parte A consiste en la sección de la espuma que entra de primero en contacto con el flujo de aire y XAD. Se considera que la mayor cantidad de sustancias, si no todas, quedan retenidas en esta sección. La parte B consiste solamente en la espuma que está a la salida y que puede contener un poco de sustancias que no hayan sido retenidas en su totalidad por la parte A. La extracción de cada submuestra se realizó con acetona hexano con baño ultrasónico. Cada submuestra fue concentrada con evaporador rotatorio y, finalmente, con una corriente de nitrógeno del 99,4%, y se cambió a isooctano.

En las muestras de aire activo y pasivo se utilizó el clorpirifos D10 como estándar interno. El clorpirifos D10 es una sustancia deuterada, es decir, es la molécula de clorpirifos modificada, que contiene deuterio en lugar de hidrógeno para poderla diferenciar del plaguicida clorpirifos y así evaluar la calidad del análisis del laboratorio.

Las muestras activas de aire también contenían un filtro de fibra de vidrio, extraído con una mezcla acetona - hexano, con baño ultrasónico. Se concentraron con una corriente de nitrógeno del 99,4% y se cambiaron a isooctano. El extracto tiene un volumen de 1 ml.

3.4.1.3 Extracción de las muestras de polvo

Para el análisis de las muestras de polvo se extrajo el contenido de cada caja petri con una mezcla acetona - hexano con baño ultrasónico. El extracto fue concentrado con nitrógeno y cambiado a isooctano hasta obtener un volumen de 1 ml. Para las muestras de polvo y para el filtro de las muestras de aire activo se utilizó como estándar externo una solución de etión.

3.4.1.4 Cálculo límites de detección y cuantificación

Para la determinación de los límites de cuantificación, se utilizó el programa estadístico WINSTAT® 3, versión 2.1.0.056 (Universidad de Estocolmo), el cual se basa en la regresión lineal de los datos, y estima la linealidad de la respuesta del equipo cromatográfico versus la concentración en un ámbito limitado.

3.4.2 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa JMP8; se trabaja con dos grupos, los inmersos ($n=10$), centros educativos a menos de 100 metros de una bananera, y los no inmersos ($n=2$), centros educativos a más de 1,5 kilómetros de una finca bananera.

Para analizar los plaguicidas, primeramente se calculó el porcentaje de detección, mediante la construcción de una variable que identificará si es mayor al límite de detección. Seguidamente, para los plaguicidas detectados en un 50% de las muestras, se calcularon los percentiles 50, 75 y 90, y se realizaron algunos análisis estadísticos. Se analizó si las concentraciones siguen una distribución normal (test de Shapiro-Wilk) o lognormal (test de Shapiro-Wilk después de haber transformado las concentraciones a una escala logarítmica normal). Se evaluó si el porcentaje de

muestras con concentraciones detectables para los centros educativos inmersos y no inmersos fue similar usando la prueba exacta de Fisher. Como prácticamente ninguna de las concentraciones de plaguicidas siguió una distribución normal, se aplicó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon – Kruskal-Wallis, en procura de evaluar si las concentraciones medianas fueron similares para centros educativos inmersos y no inmersos.

También se realizó un gráfico de densidad para visualizar las diferencias en las densidades de las concentraciones de los plaguicidas dentro de los grupos. Adicionalmente, para los plaguicidas que siguieron una distribución normal o lognormal, se estimó la variabilidad entre y dentro de los centros educativos, y se calculó los coeficientes de correlación intra-clase (CCI). Lo anterior, utilizando modelos de efectos aleatorios (componentes de varianza), incluyendo la variable ‘centro educativo’ como efecto al alzar.

Para algunos plaguicidas, se realizó el análisis de particionamiento recursivo, una técnica estadística de análisis multivariante. Así se construyó un árbol de decisión que agrupa los centros educativos según las concentraciones de clorpirifos detectadas. Para comparar la asociación de concentraciones de los plaguicidas encontrados en diferentes tipos de mediciones de aire (pasivo y activo), se efectuaron correlaciones no paramétricas de Spearman.

Para todas las pruebas estadísticas se utiliza un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$).

3.5 Alcances, limitaciones y consideraciones éticas de la investigación

Esta investigación pretende mostrar la contaminación por plaguicidas existente en 12 escuelas del cantón de Matina. En la zona y a nivel nacional, es la primera vez que se hace este tipo de estudio, por lo tanto, su alcance es de importancia para las comunidades y para el cantón, porque con estos resultados se puede influir en los tomadores de decisiones para que se reduzca el contacto que tienen los niños con los plaguicidas. Además, a nivel mundial la mayoría de los estudios se enfocan en plaguicidas más persistentes y utilizan metodologías de muestreo más activas.

Una limitante del estudio es que no se tuvo acceso a los registros de aplicación de plaguicidas usados en las fincas bananeras cercanas a los centros educativos. Las fuentes de información del uso de plaguicidas en el cultivo de banano para exportación, fueron tomadas de diagnósticos realizados en el IRET, con datos de 2006. Por otro lado, algunos de los plaguicidas usados en el cultivo de banano, no se pueden analizar en el laboratorio (mancozeb, piraclostrobin, trifloxistrobina, tridemorf, glifosato, glufosinato, diquat, paraquat). Otra de las limitantes es el tiempo que tardaron los análisis en el laboratorio.

Por último, para utilizar las instalaciones de las escuelas se contó con el permiso del Ministerio de Educación Pública, mediante la Dirección Regional de Limón, del circuito 08 de educación Matina y de los directores de cada uno de los centros educativos. Para el punto de muestreo a las afueras del CEN, se solicitó permiso a la dueña de ese espacio, principalmente por la seguridad del muestreador. Al no trabajar directamente con personas, esta investigación no necesitó la aprobación del Comité Ético Científico, ni se requirieron consentimientos informados.

Capítulo IV. Resultados

En el capítulo de resultados se expondrán los obtenidos en la investigación y que responden a los objetivos específicos planteados y a las preguntas surgidas para realizarla. Los resultados se presentarán con el propósito de conocer cómo son los centros educativos, mediante una descripción de las escuelas, alumnos, personal, año de creación, distancias a las bananeras, entre otros. Luego se expondrán los resultados de las muestras tomadas en los centros educativos: primeramente los resultados de aire (PUF, XAD y filtro) y por último, los del polvo pasivo recolectado mediante las cajas petri.

4.1 Centros educativos

Los centros educativos que formaron parte de esta investigación fueron de las comunidades de Larga Distancia, Agrodisa, Saborío, 4 Millas, La Maravilla, Los Almendros, Venecia, Zent, Boston, Bananita, Corina y Goshen (Cuadro 10). Todas las escuelas dan lecciones desde materno y kínder hasta sexto grado. En todas las escuelas hay servicio de comedor escolar, que permite ofrecer a los niños una alimentación adecuada durante el ciclo lectivo. Varias escuelas cuentan con servicio de limpieza permanente. Estos centros educativos fueron creados por las necesidades de la población por acceso a la educación primaria; la escuela más antigua de este grupo es la de Boston (1950), mientras que la más joven es la escuela de Agrodisa (1984), que se cerró por falta de estudiantes en 2013, dado que se clausuró el cuadrante donde vivían las familias. La población estudiantil promedio de 2010 y 2011 fue de 127 estudiantes. El Cuadro 10 muestra que la escuela con la mayor cantidad de estudiantes fue la de Zent (n=343) y la de menos estudiantes fue la de Agrodisa (n=40). En la escuela de Agrodisa es donde hubo también la menor cantidad de personal trabajando (n=5), al igual que en la de Goshen (n=5); en la escuela de Venecia es donde hubo más trabajadores (n=19).

El mapa de la Figura 4 indica que para tres de las diez escuelas inmersas, la distancia entre el punto de medición y la finca bananera más cercana se encontraba a

menos de 50 metros (en Agrodisa, Zent y Larga Distancia). Por otra parte, para las dos escuelas de referencia, Corina y Goshen, las distancias entre el punto de medición y la plantación de banano fueron 1647 y 2100 metros, respectivamente. Con respecto a la altitud, prácticamente todos los centros educativos se encontraban al nivel del mar; el de Corina es el que está a una mayor altitud (40 m.s.n.m.), ubicado en la zona sur del cantón de Matina (Figura 4). Después de esta comunidad, inicia el territorio indígena del cantón y también la gran área boscosa de Matina. Alrededor de Corina existen varios cultivos sembrados a pequeña escala, principalmente para subsistencia, aunque el cultivo de yute es comercializado. Hacia el norte del cantón se ubican las comunidades más cercanas al nivel del mar: Agrodisa, Larga Distancia, 4 Millas, Bananita y Goshen. Excepto Goshen, todos se encuentran a menos de 100 metros de cultivos de banano sembrado para la exportación. En Goshen se incluyen otras labores agropecuarias, como la ganadería y el cultivo de arroz. Goshen y Los Almendros se ubican cerca del límite entre Matina y Siquirres, zona donde se establecen en el cantón de Siquirres, los cultivos de banano y piña.

Cuadro 10: Descripción de los centros educativos

Sitio muestreo	Comunidad	Promedio de alumnos entre 2010 y 2011*	Número de trabajadores (educadores y otro personal)*	Año de construcción*	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia más cercana de la bananera al punto de muestreo. Promedio entre 2005 y 2014 (m)	Distancia más cercana del lindero de los centros educativos a la bananera. Promedio entre 2005 y 2014 (m)
Escuela Barmouth	Agrodisa	40	5	1984	5	32	5
Escuela Zent	Zent	343	17	1957	18	38	30
Escuela Larga Distancia	Larga Distancia	54	8	1961	5	43	12
Escuela 4 Millas	4 Millas	97	9	1960	6	53	24
Escuela Saborío	Saborío	63	14	1966	7	64	12
Escuela Venecia	Venecia	301	19	1958	13	74	47
Escuela La Maravilla	La Maravilla	57	7	1979	7	74	10
Escuela Boston	Boston	169	16	1950	18	81	75
Escuela Los Almendros ⁸	Los Almendros	100	8	Nd	13	87	70
Escuela Santa María	Bananita	112	12	1964	6	92	74
Escuela de Corina (CEN-CINAI)	Corina	132	9	1959	40	1647	1640
Escuela San Juan	Goshen	58	5	1976	6	2096	2090

Fuente: elaboración propia. *Datos obtenidos por los directores de cada centro educativo

⁸ Los datos presentados para este centro educativo son una estimación.

4.2 Contaminación por plaguicidas

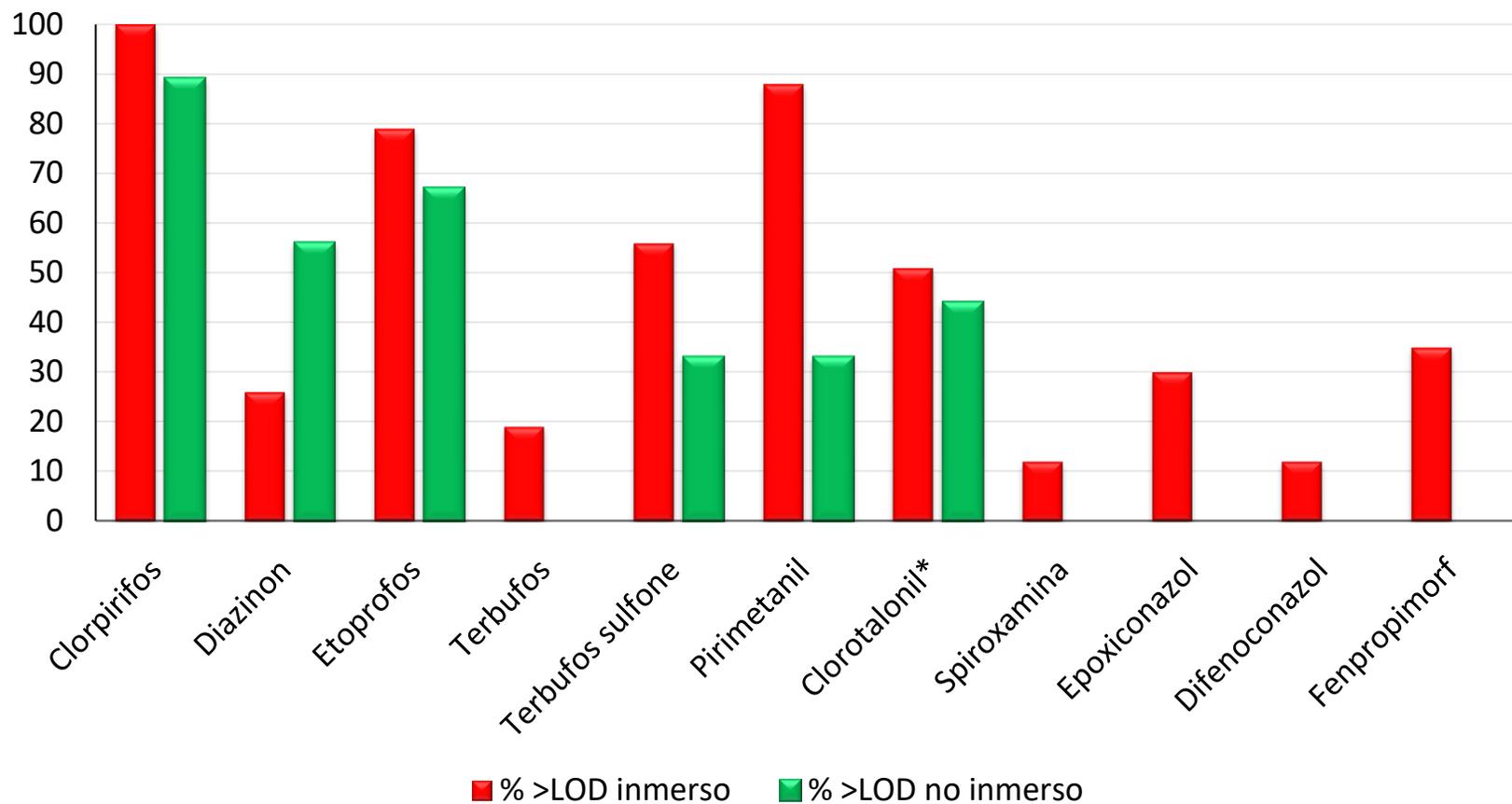
Este apartado abarca los resultados obtenidos de las concentraciones de plaguicidas de los diferentes muestreos, aire pasivo, aire activo y polvo, los resultados de las pruebas estadísticas y mapas donde se muestra la posible distribución espacial de los plaguicidas en el aire.

4.2.1 Aire pasivo

Utilizando los muestreadores pasivos (PUF), en total se efectuó 52 mediciones en los centros educativos, 43 en los centros educativos inmersos y nueve en los dos no inmersos. Se detectó en estas muestras, diez diferentes plaguicidas y un metabolito ambiental de un plaguicida. En 27 muestras (52%) se detectó cinco o más plaguicidas diferentes al mismo tiempo, hasta un máximo de ocho plaguicidas (4%) en una sola muestra. Cuatro de los diez plaguicidas encontrados fueron organofosforados (clorpirifos, diazinon, etoprofos y terbufos). Por lo general, los plaguicidas se detectaron con mayor frecuencia en las muestras tomadas en los centros educativos inmersos (100%) versus los no inmersos (13%), con cinco o más plaguicidas diferentes (Anexo 6A).

De los diez plaguicidas, ocho están reportados para uso en el cultivo de banano (clorpirifos, clorotalonil, pirimetanil, terbufos, spiroxamina, epoxiconazol, difenoconazol y fenpropimorf) (véase apartado 2.4); uno de ellos está reportado para uso en el cultivo de banano y piña (etoprofos), y uno de ellos está reportado en el cultivo de piña (diazinon). También se detectó el terbufos-sulfone, un metabolito específico del plaguicida terbufos (Gráfico 1).

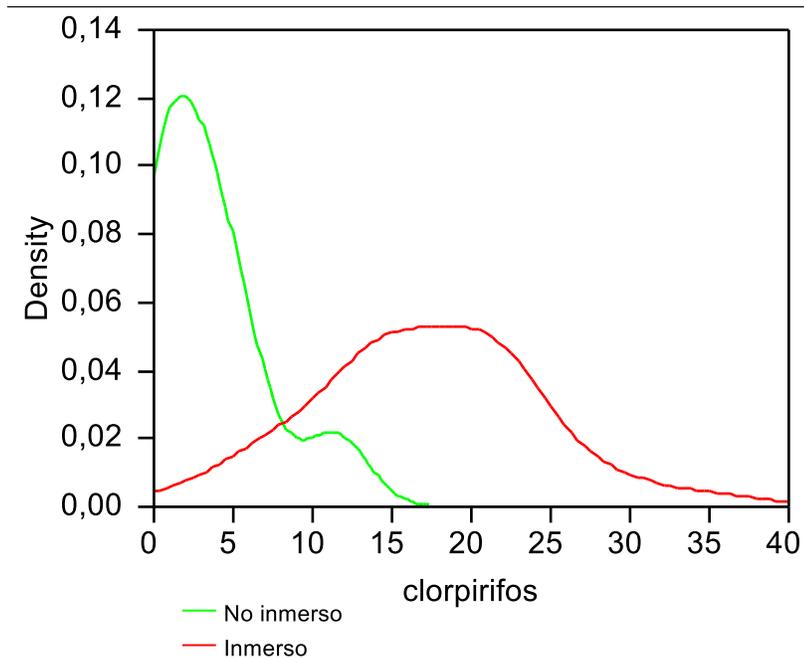
Gráfico 1: Porcentaje de detección en las muestras de aire pasivo, inmerso (n=43) versus no inmerso (n=9)



Excepto con el plaguicida clorpirifos (Shapiro Wilks $W=0,97$, $p=0,31$), las concentraciones de los plaguicidas siguieron una distribución anormal. Sin embargo, agrupando por centros educativos inmersos y no inmersos, las concentraciones de clorpirifos no siguieron una distribución normal para los no inmersos (Figura 11). Las concentraciones medidas de etoprofos y pirimetanil siguieron aproximadamente una distribución lognormal: después de haberlas transformado a una escala logarítmica natural Shapiro Wilks $W=0,94$ para ambos plaguicidas con un $p=0,01$ y $p=0,009$, respectivamente. Las demás concentraciones de plaguicidas tampoco siguieron una distribución lognormal ($W < 0,81$). El clorpirifos fue el plaguicida detectado con mayor frecuencia: en el 100% de las muestras en los centros educativos inmersos y en el 89% en los no inmersos. Las diferencias entre escuelas fueron más grandes que dentro de escuelas (diferencias entre las cuatro o cinco mediciones en un mismo centro educativo), ya que el coeficiente de correlación intragrupos (ICC, por sus siglas en inglés) fue del 0,66. Lo anterior indica que un 66% de la variabilidad es explicado por diferencias entre centros educativos, y solamente un 33% por diferencias dentro de las escuelas. Esto implica también que las concentraciones de clorpirifos en el aire medido en cada escuela fueron relativamente constantes, y no fluctuaron mucho en el periodo total de medición (junio de 2010 hasta diciembre de 2011).

La concentración mediana de clorpirifos fue seis veces mayor en los centros educativos inmersos, en comparación con los centros educativos no inmersos: $16,9 \text{ ng/m}^3$ versus $2,8 \text{ ng/m}^3$, respectivamente (T-test $p < 0,0001$) (véase la Figura 11, para la distribución de las concentraciones). En cuanto a las escuelas no inmersas, la escuela Goshen presentaba concentraciones mayores que la de Corina, con una concentración mediana de $4,9$ versus $0,7 \text{ ng/m}^3$, respectivamente (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test $p=0,02$).

Figura 11: Comparación de las densidades de las concentraciones de clorpirifos, según los poblados inmersos y no inmersos



El Cuadro 11 demuestra los resultados del análisis de partición recursiva para clorpirifos. Mediante este, las concentraciones se agruparon en cuatro grupos; las diferencias entre las concentraciones promedias de cada grupo fueron estadísticamente diferentes (Tukey-Kramer HSD $p < 0,008$ para las tres comparaciones). La menor concentración de clorpirifos (Grupo 1) se midió en los centros educativos no inmersos (Corina y Goshen, promedio 3,4 ng/m³). El segundo grupo muestra cuatro centros educativos inmersos con un promedio de casi cuatro veces más alto que el Grupo 1 (Larga Distancia, Boston, Los Almendros y Zent). Sucesivamente, el Tercer y Cuarto grupos tenían, en promedio, concentraciones que fueron cinco y ocho veces más altas que las del Grupo 1.

Cuadro 11: Análisis de partición realizado para el insecticida clorpirifos agrupado por centros educativos, explicando un 68% de la varianza total

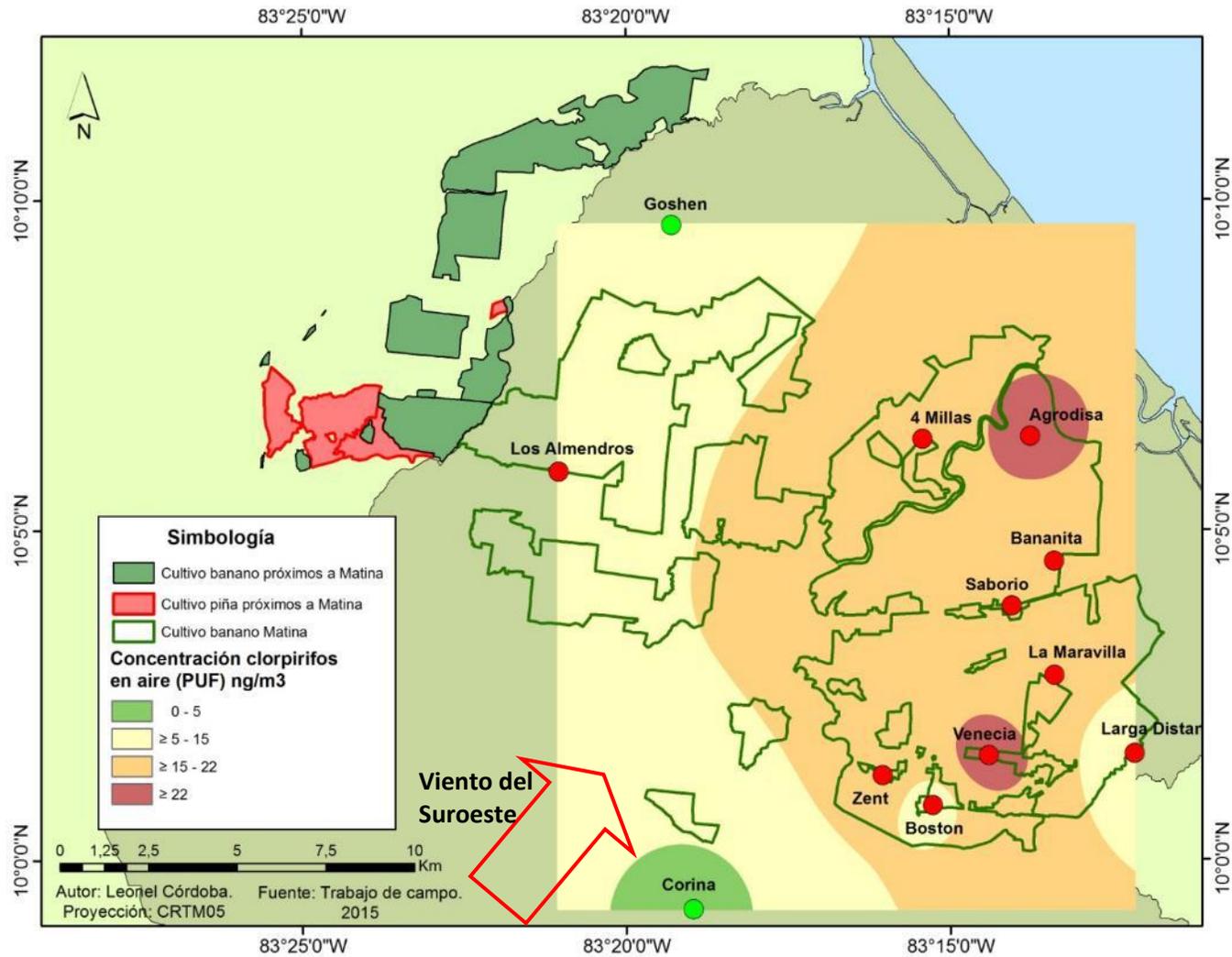
Grupo	Centros educativos	N	Concentración promedio (DE) (ng/m ³)	Diferencia absoluta con grupo anterior (95% IC)	Valor de p, Tukey-Kramer (HSD)
1	Corina y Goshen	2	3,4 (3,5)		
2	Larga Distancia, Boston, Los Almendros y Zent.	4	12,6 (6)	9,2 (3,9; 14,5)	p=0,0002
3	La Maravilla, 4 Millas, Bananita y Saborío	4	18,2 (3,3)	5,6 (1,2; 10,1)	p=0,008
4	Agrodisa y Venecia	2	25,9 (5,7)	7,8 (2,1; 13,4)	p=0,004

Fuente: elaboración propia

También, para el clorpirifos se realizó un mapa sobre su distribución espacial en el cantón de Matina (Figura 12); se observa que hacia el noreste del cantón es donde hay mayor presencia de clorpirifos, mientras que hacia el sur es donde hay menor concentración de clorpirifos en el aire, precisamente en la comunidad de Corina, donde se reportaron los niveles más bajos de este. Cabe mencionar que la distribución en el mapa parcialmente coincide con el análisis de partición (Cuadro 11), y aunque el Grupo 4 de este análisis solo contempla dos comunidades (Agrodisa y Venecia), en el mapa estos niveles interpolados incluyen poblados del Grupo 3 (La Maravilla, 4 Millas, Bananita y Saborío), igualmente el Grupo 1 en el mapa, solo lo representa la comunidad de Corina; Goshen pasa a ser un poblado con concentraciones de clorpirifos intermedias.

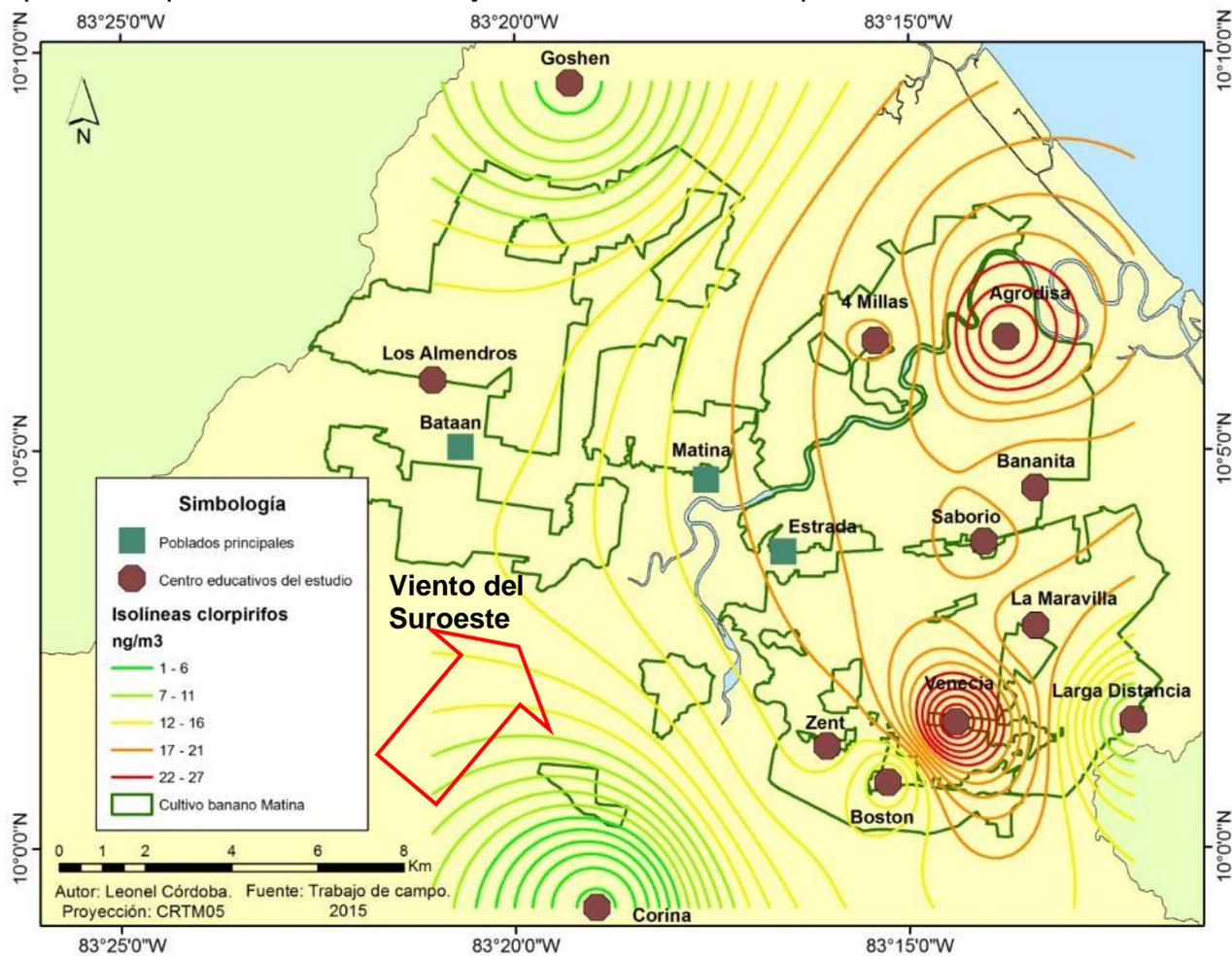
Con el mapa de isóneas (Figura 13) se puede observar que otras comunidades que no fueron parte de esta investigación, como Matina, cabecera del cantón, puede tener concentraciones de clorpirifos entre 12 y 16 ng/m³, o la comunidad de Bataan, que concentra la mayoría de la población por ser el centro más importante comercial y de servicios del cantón, tiene concentraciones similares a las de Matina; o Estrada, cabecera del distrito y donde se concentra la mayor cantidad de cultivos de banano, con una concentración de más de 17 ng/m³.

Figura 12: Mapa de la concentración de clorpirifos, según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año



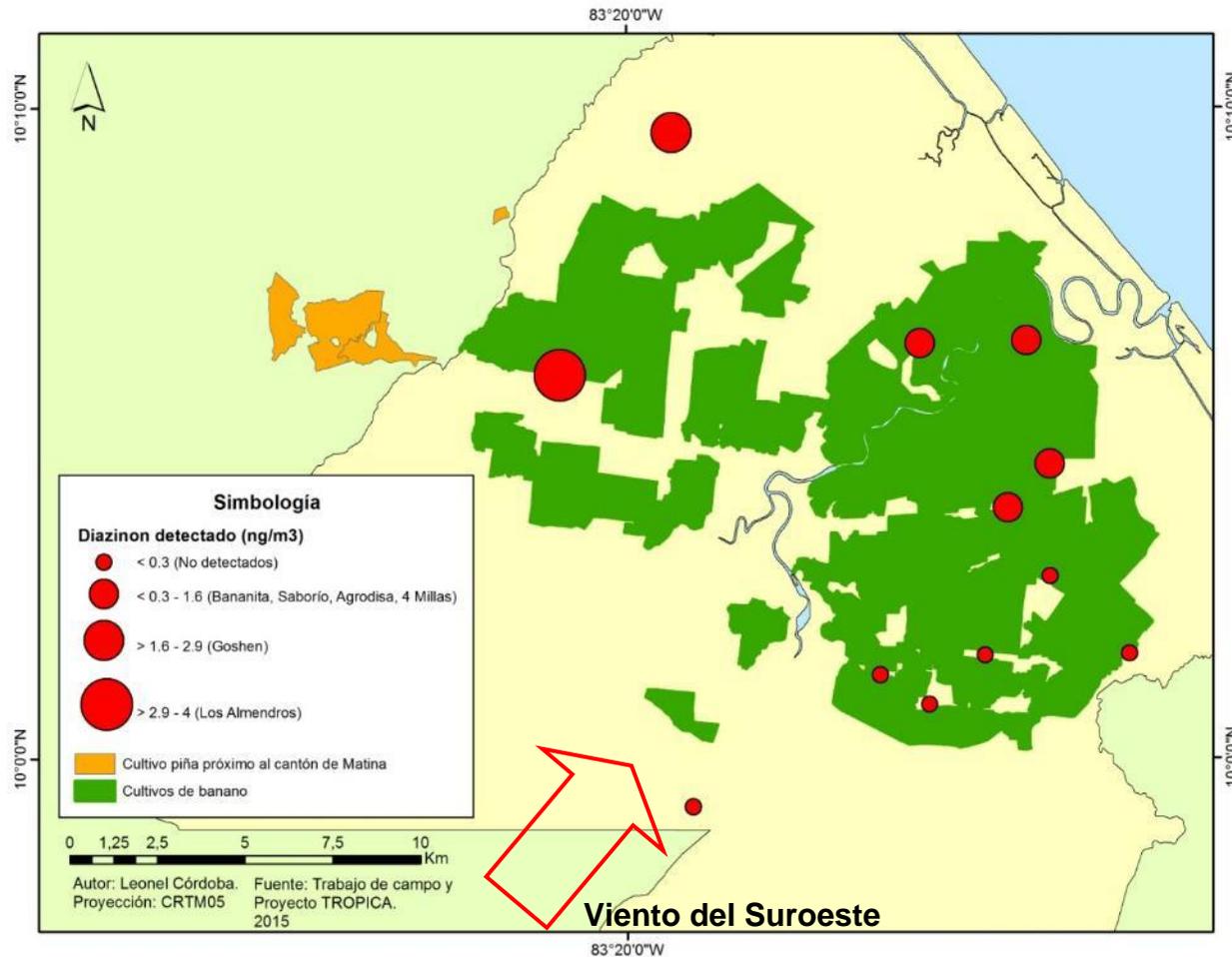
Fuente: elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2013

Figura 13: Mapa de isólinas con la concentración de clorpirifos, según los sitios de muestreo en el cantón de Matina, respecto a la plantación de banano y la dirección del viento predominante durante todo el año



Fuente: elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2013

Figura 14: Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el insecticida diazinon, la concentración mediana ($0,3 - 3,7 \text{ ng/m}^3$) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año



Fuente: elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2013

El segundo insecticida detectado en 16 de las 52 muestras (31%), fue el diazinon; se detectó en el aire de los centros educativos inmersos (26%, n=11) y no inmersos (56% (n=5)). El diazinon es utilizado en el cultivo de la piña; no se reporta su uso en el cultivo de banano (Bravo *et al.*, 2013). Las concentraciones fueron principalmente detectadas en Goshen (5/5) y los Almendros (4/4), pero también en algunas muestras de Saborío (2/4) y Bananita (1/4) (Figura 14).

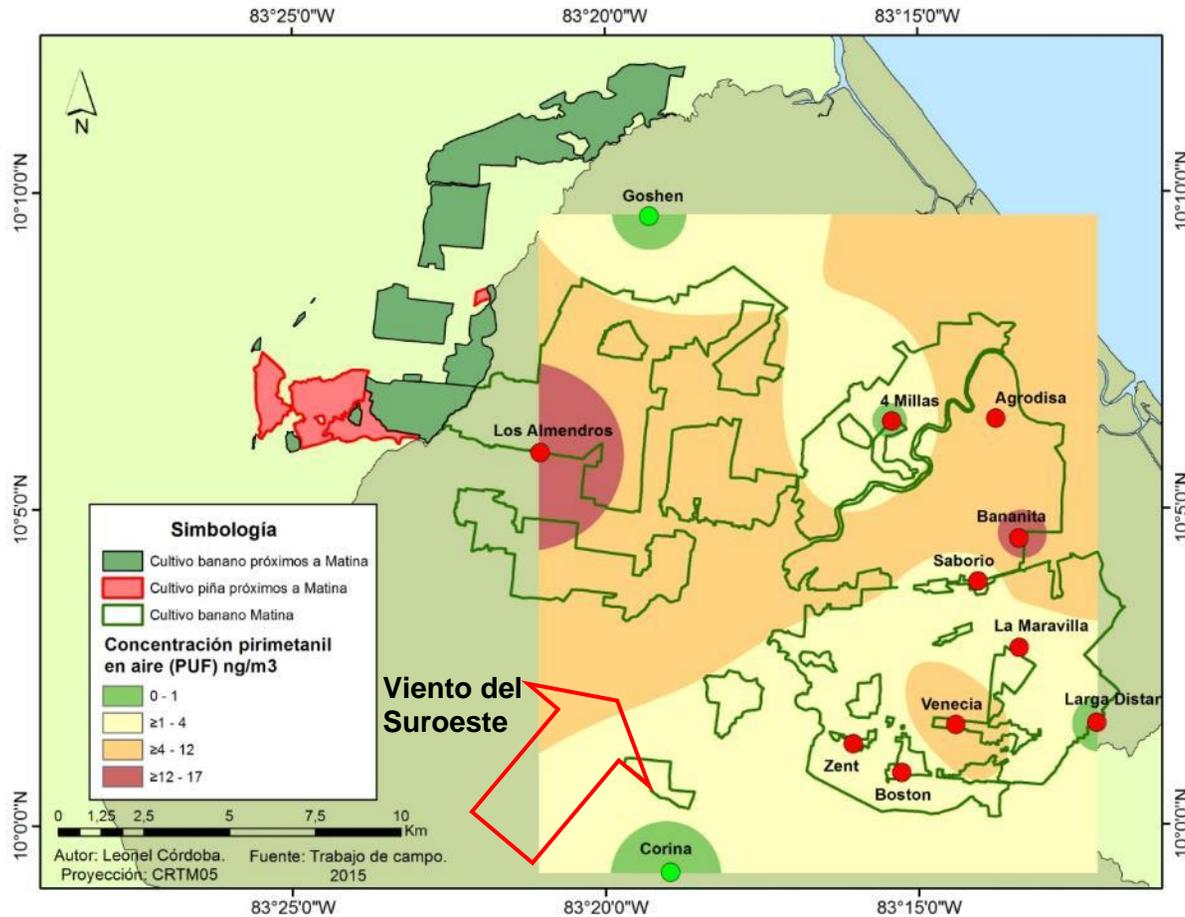
El etoprofos fue uno de los dos nematocidas detectados, y lo fue en el 77% de las muestras, con mayor frecuencia en los centros educativos inmersos (79%, n=34) que en los no inmersos (67%, n=6), aunque las diferencias en la frecuencia de detección no fueron estadísticamente significativas (Fisher exact $p=0,41$) y las concentraciones fueron similares (mediana=1,8 versus 1,3) (Wilcoxon-Kruskal Wallis $p=0,46$) (Figura 14). En cuanto a los centros no inmersos, etoprofos fue detectado en todas las muestras de Goshen (n=5) y en solamente una de las cuatro tomadas en La Corina. Para etoprofos, las concentraciones varían más entre diferentes periodos (concentraciones medidas en muestras repetidas del mismo centro educativo) que entre escuelas, ya que solamente un 4% de la variabilidad fue explicado por diferencias entre centros educativos, mientras un 96% lo fue por diferencias entre distintos periodos para un mismo centro educativo.

El segundo nematocida detectado fue terbufos, que solamente fue se detectó en el aire de un 19% (n=8) de los centros educativos inmersos. Adicionalmente, su metabolito ambiental terbufos sulfone, fue detectado más frecuentemente que el mismo plaguicida, tanto en los centros educativos inmersos (56%, n=24) como en los no inmersos (33%, n=3) (todos en Goshen). Las concentraciones para los centros inmersos fueron más altas de manera estadísticamente significativa ; la mediana fue 7,6 ng/m³ versus 0,4 ng/m³, respectivamente (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test $p<0,03$).

El plaguicida pirimetanil fue el único fungicida que se detectó tanto en escuelas inmersas (88%, n=38) como no inmersas (33%, n=3); las concentraciones fueron alrededor de cuatro veces más altas en los centros inmersos (Wilcoxon / Kruskal-Wallis

test $p < 0,003$). Las concentraciones varían mucho más entre los centros que dentro de las escuelas, ya que las diferencias entre escuelas explicaron el 86% de la variabilidad encontrada en las concentraciones (Figura 15). Adicionalmente, los fungicidas fenpropimorf, spiroxamina, epoxiconazol y difenoconazol se detectaron solo en parte de las muestras de aire pasivo de los centros educativos inmersos; los porcentajes de detección fueron del 35%, 12%, 30% y 12%, respectivamente.

Figura 15: Mapa de la distribución espacial de los centros educativos donde se detectó el fungicida pirimetanil, la concentración promedio (0,7 – 16,1 ng/m³) en los diferentes centros, cultivos de piña cercanos del cantón de Siquirres y la dirección del viento predominante durante todo el año



Fuente: elaboración propia. Información del viento tomada del IMN, 2013

4.2.2 Aire activo

Utilizando los muestreadores activos (XAD más filtro) en cuatro centros, se realizó 16 mediciones en total; 13 en los centros educativos inmersos y tres en los no inmersos. El aire activo presenta dos secciones, la parte del cartucho o XAD, para medir plaguicidas en forma gaseosa, y el filtro, que estaba colocado en la entrada del muestreador, para medir plaguicidas en partículas inhalables.

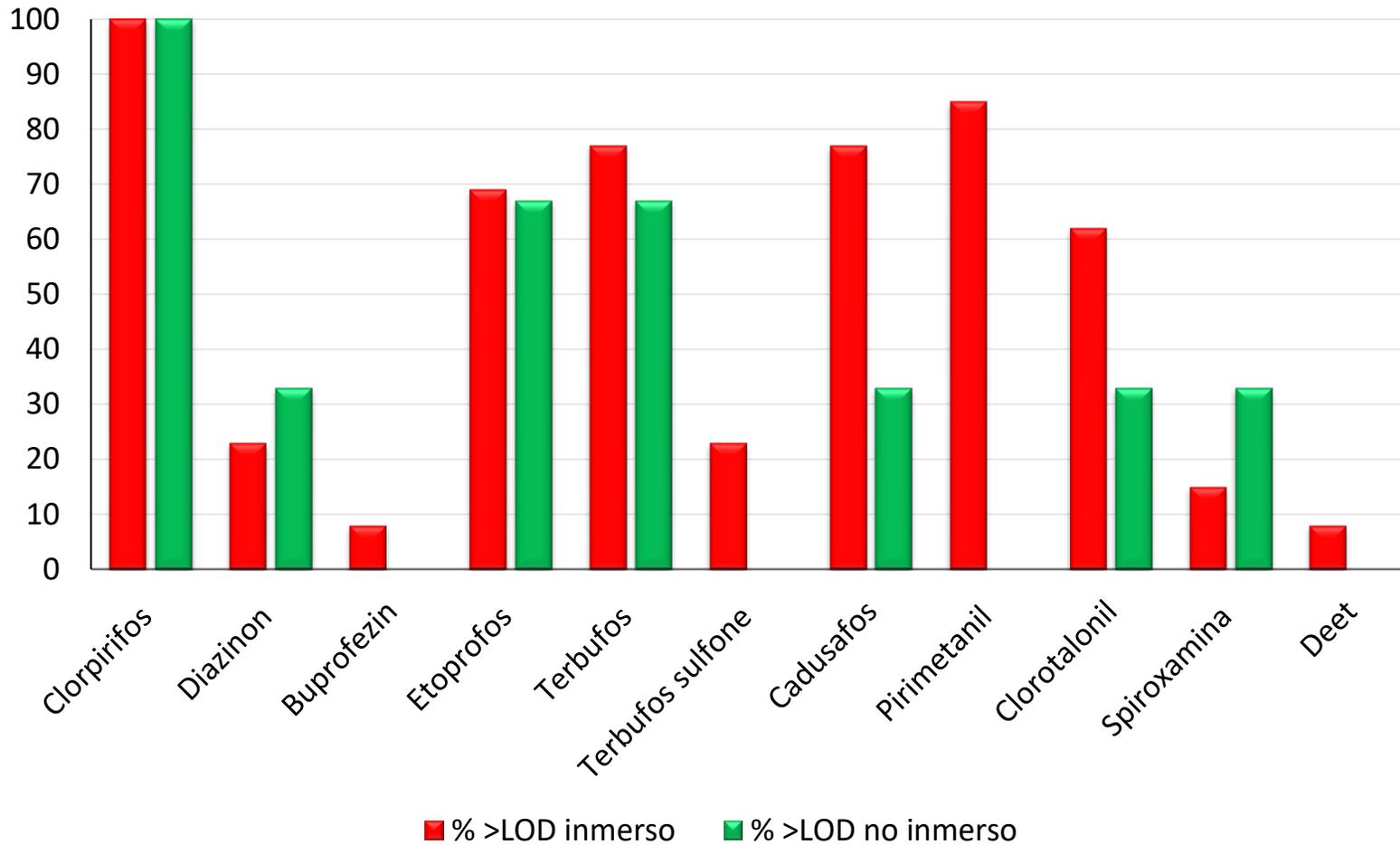
Se detectaron en las muestras de XAD, diez plaguicidas y el metabolito terbufos sulfone (Anexo 6B). En ocho muestras (50%) se detectó seis o más plaguicidas diferentes al mismo tiempo, hasta un máximo de ocho plaguicidas en una sola muestra. Siete de estos diez plaguicidas están reportados para uso en el cultivo de banano (clorpirifos, pirimetanil, terbufos, spiroxamina, cadusafos, clorotalonil, buprofezin), uno de ellos para uso en el cultivo de banano y piña (etoprofos), y uno de ellos en el cultivo de piña (diazinon). También se detectó el repelente de uso personal con mosquitos DEET, en una muestra (Gráfico 2).

Varios plaguicidas, entre ellos: clorpirifos, diazinon, etoprofos, terbufos, pirimetanil y spiroxamina, además del metabolito terbufos sulfone, fueron detectados tanto en las muestras de aire pasivo (PUF) como en las de aire activo XAD. En el Cuadro 12 se compara, por los sitios de muestreo de aire activo, las concentraciones de plaguicidas encontradas en el XAD, con las de los plaguicidas del muestreo de aire pasivo, para los plaguicidas que se encontraron en ambos muestreos, así como la correlación existente entre las muestras. Se observa que el clorpirifos se detectó en el 100% de los lugares de muestreo activo y pasivo; la correlación fue positiva entre los dos tipos de muestreo (spearman 0,70, $p=0,003$) (Cuadro 12), es decir, hay una relación entre el clorpirifos que se encuentra a lo largo de un muestreo pasivo y un muestreo activo de 24 horas, debido a la presencia constante de este plaguicida en el aire. Sin embargo, la mediana de la concentración de clorpirifos en los muestreos pasivos fue casi tres veces mayor que en el activo, entonces, aunque los resultados de las muestras pasivas y activas se correlacionan, el pasivo generalmente resultó en concentraciones mayores que el activo de 24 horas.

Para los nematocidas terbufos y cadusafos, las concentraciones máximas encontradas fueron más altas para el muestreador activo, 225,4 ng/m³ y 94,9 ng/m³, respectivamente. El etoprofos detectado en ambos tipos de muestreo, tuvo su máximo en el muestreo pasivo y fue casi 3 veces menor que el activo (20,5 versus 57,4 ng/m³).

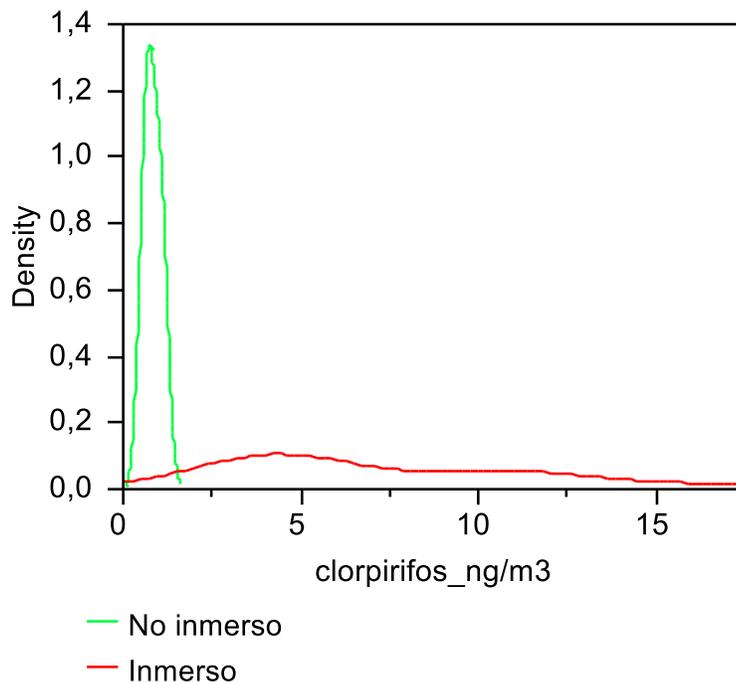
Los muestreos activos y pasivos son complementarios; en el muestreo activo se puede medir mayores concentraciones en menor tiempo, y en el pasivo se pueden detectar sustancias que perduran más.

Gráfico 2: Porcentaje de detección en las muestras de aire activo (XAD), inmerso (n=13) versus no inmerso (n=3)



Igual que en el muestreo pasivo, el clorpirifos fue el plaguicida que más se detectó en los sitios inmersos y no inmersos, con un porcentaje de detección del 100%; presentó una distribución de datos aproximadamente normal (Shapiro Wilks $W=0,89$, $p=0,07$). Para los inmersos, las concentraciones estuvieron entre 3,1 y 16 ng/m^3 , con una mediana de 5,1 ng/m^3 . Las concentraciones fueron más bajas en los no inmersos, entre 0,6 y 1,1 ng/m^3 y una mediana de 0,8 ng/m^3 (Figura 16). Entre los grupos hubo diferencias significativas (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test, $p=0,0085$).

Figura 16: Comparación de las densidades de las concentraciones de clorpirifos, según los poblados inmersos y no inmersos



El etoprofos se detectó en el 69% de las muestras en los centros educativos inmersos, presentando un rango entre 0,7 y 57,4 ng/m^3 y una mediana de 2,3 ng/m^3 . Para el caso de los no inmersos, los niveles estuvieron entre 0,3 y 1,9 ng/m^3 y una mediana de 1,3 ng/m^3 . No hubo diferencias significativas entre los grupos (Fisher exact, $p=0,70$).

El terbufos tuvo concentraciones bastante bajas para los no inmersos, pues la mediana fue de 0,3 ng/m³, mientras para los inmersos la mediana fue casi tres veces más grande (2,8 ng/m³). Hubo diferencias significativas entre los grupos (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test, p=0,03).

El cadusafos se detectó en las muestras de aire activo; el porcentaje de detección para los sitios inmersos fue del 77%, y para los no inmersos, del 33%, es decir, solo se detectó en una muestra. La mediana de los centros educativos inmersos fue de 4,9 ng/m³, pero no hubo diferencias significativas entre los grupos (Fisher exact, p=0,21).

El fungicida pirimetanil fue el segundo más detectado en los centros educativos inmersos (85%), pero no se detectó en ninguna de las muestras del centro educativo no inmerso, por lo tanto, hubo diferencias significativas (Fisher exact, p<0,0179). La mediana en los inmersos fue de 1,4 ng/m³.

El fungicida clorotalonil se detectó en un 62% de las muestras del grupo de los inmersos y en un 33% de los no inmersos. La mediana en los inmersos fue de 3,9 ng/m³, sin diferencias significativas (Fisher exact, p=0,93).

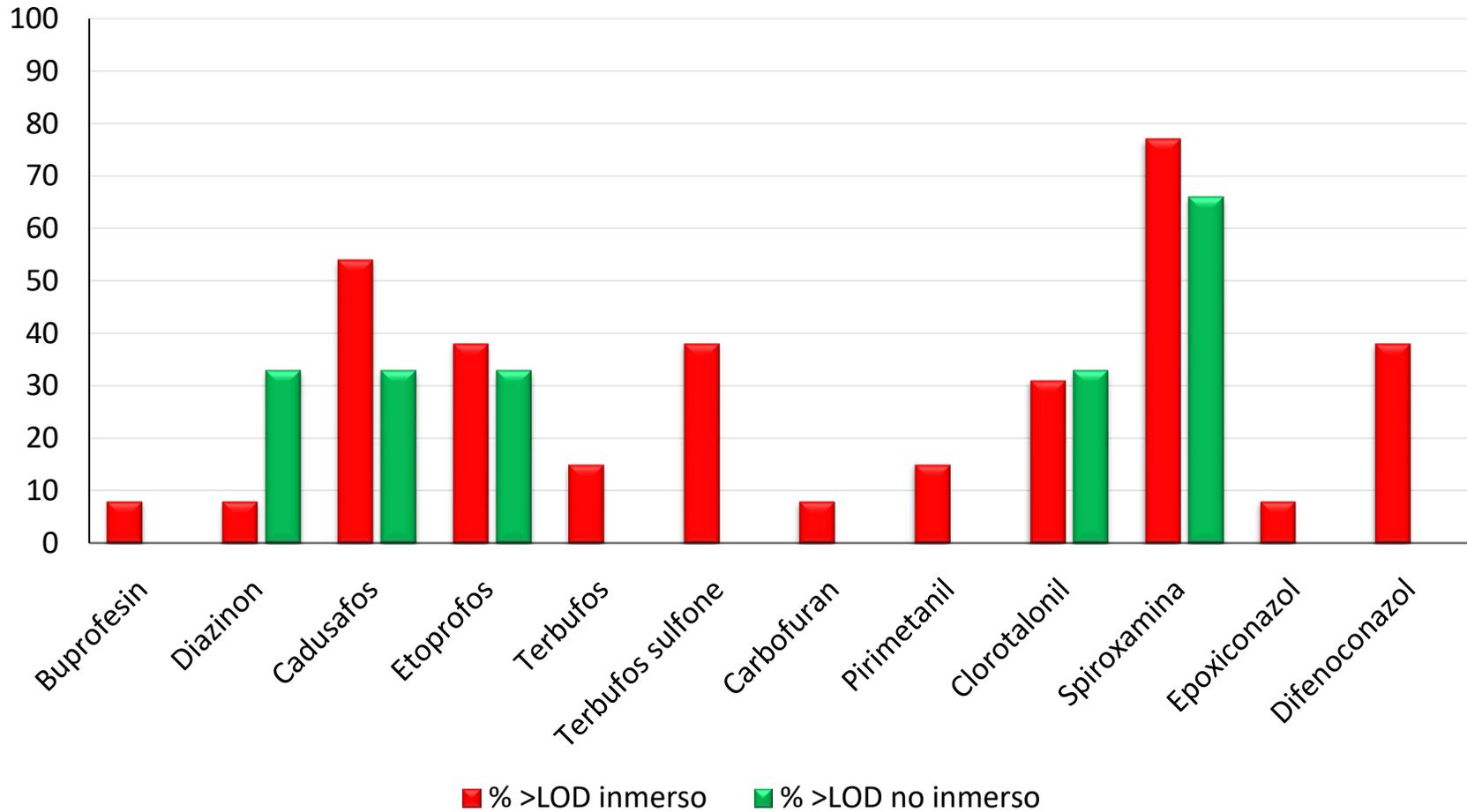
Para el caso del terbufos sulfone, en las muestras activas tomadas en el centro educativo no inmerso, no se detectó en ningún caso, y en los inmersos, solo en tres muestras. El insecticida diazinon y el fungicida spiroxamina se detectaron en el 23% y el 15%, respectivamente; Buprofezin y DEET fueron detectados en una sola muestra cada uno.

Cuadro 12: Concentraciones de plaguicidas por ingrediente activo en las muestras de aire pasivo y activo (XAD). Se presenta el porcentaje de las muestras arriba del límite de detección, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas con más del 50% de las muestras con concentraciones detectables y la correlación de Spearman entre los diferentes muestreos.

Muestreo	Aire pasivo (ng/m ³) (n=16, k=4)					Aire activo (ng/m ³) (n=16, k=4)					Correlación Spearman
	LD (ng/m ³) PUF	% > LD (n)	P50	P75	P90	LD (ng/m ³) XAD	% > LD (n)	P50	P75	P90	
Clorpirifos	0,5	100% (16)	15,4	21,4	22,2	0,3	100% (16)	4,5	10,2	16	0,6962 p<0,0027
Etoprofos	0,5	87% (14)	1,9	4,2	10,7	0,4	68% (11)	1	3,5	50,4	0,4465 p=0,16
Terbufos	3	6% (1)				0,1	75% (12)	1,4	5	120,6	
Terbufos sulfone	0,5	56% (9)	1,4	6,2	15,9	0,2	18% (3)				
Pirimetanil	0,5	94% (15)	4	18,7	21,4	0,1	68% (11)	0,9	2,2	2,9	-0,1963 p=0,56
Spiroxamina	3	25% (4)				0,1	18% (3)				
Diazinon	0,3	50% (8)	0,4	2,7	3,7	0,3	25% (4)				-0,4 p=0,6

Fuente: elaboración propia

Gráfico 3: Porcentaje de detección en las muestras de aire activo (Filtro), inmerso (n=13) versus no inmerso (n=3)



En el filtro del muestreador se detectaron 10 plaguicidas utilizados para uso en el cultivo de banano (buprofesin, cadusafos, etoprofos, terbufos, carbofuran, pirimetanil, clorotalonil, spiroxamina, epoxiconazol, difenoconazol), uno de uso en piña (diazinon) y el metabolito ambiental terbufos sulfone. Las concentraciones de los plaguicidas siguieron una distribución anormal. Tres plaguicidas se detectaron en el filtro y no en el cartucho XAD (carbofuran, epoxiconazol y difenoxonazol) (Gráfico 3). En 11 muestras (68%) se detectó 3 o más plaguicidas diferentes al mismo tiempo, hasta un máximo de 8 plaguicidas en una sola muestra (Anexo 6C).

Algunos plaguicidas fueron detectados en seis muestras (etoprofos), en cinco (terbufos sulfone, difenoconazol, clorotalonil), en dos (diazinon, terbufos, pirimetanil) y en una muestra (buprofezin, carbofuran, epoxiconazol).

Solo el nematicida cadusafos (50%, n=8) y el fungicida spiroxamina (75%, n=12) presentaron más del 50% de las muestras por arriba del límite de detección. Dentro de los grupos también presentaron más del 50% de muestras arriba del límite de detección; las medianas de la concentración del cadusafos en el grupo inmerso fueron de 0,5 ng/m³; no hubo diferencias significativas con los no inmersos (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test, p=0,27). Con respecto a la spiroxamina, la mediana de los no inmersos fue mayor que la de los inmersos, 0,1 ng/m³ versus 0,4 ng/m³ respectivamente, pero las diferencias fueron no significativas (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test, p=0,05).

Para los demás plaguicidas que fueron detectados en menos del 50% de las muestras, las concentraciones encontradas fueron bajas. En el grupo no inmerso es representado únicamente por Goshen.

4.2.3 Resultados polvo:

Utilizando los muestreadores pasivos de polvo en cuatro centros, se realizaron 42 mediciones en total: 36 en los centros educativos inmersos y seis en los no inmersos, en el centro educativo de Corina (Gráfico 4). En 29 muestras (70%) se detectó uno o más plaguicidas diferentes al mismo tiempo, hasta un máximo de cuatro plaguicidas en una sola muestra.

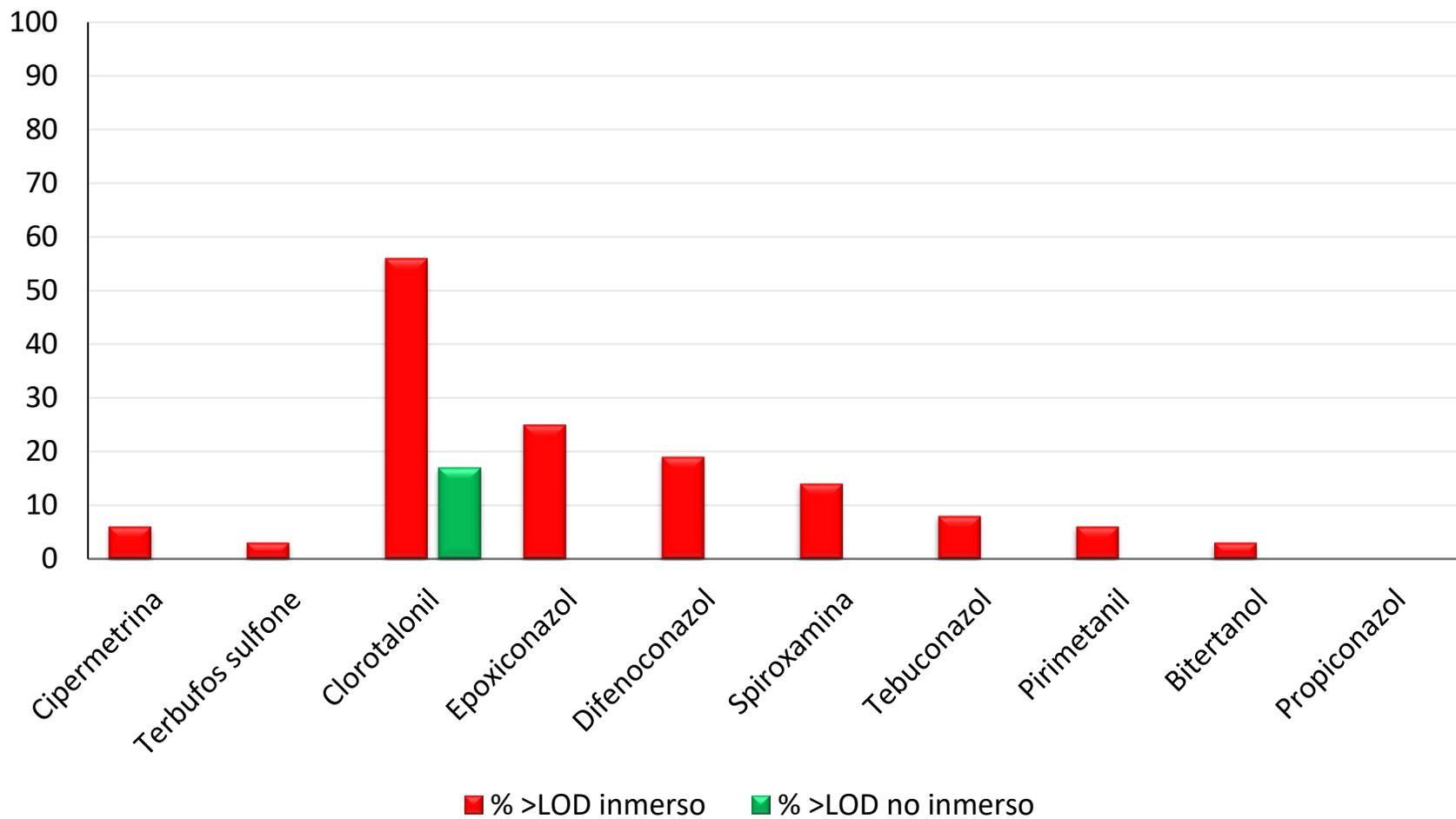
Se detectó en estas muestras, nueve plaguicidas y el metabolito ambiental terbufos sulfone, ocho plaguicidas están reportados para uso en el cultivo de banano (clorotalonil, epoxiconazol, difenoconazol, spiroxamina, tebuconazol, propiconazol, pirimetanil, bitertanol), y uno de ellos está reportado en el cultivo de arroz y en algunos plaguicidas de uso doméstico (cipermetrina).

Los resultados del muestreo de polvo mostraron solo un plaguicida detectado en más del 50% de las muestras, y fue para el grupo de los centros educativos inmersos (56%, n=20) y para todo el muestreo (50%, n=21), este plaguicida es el fungicida clorotalonil (Anexo 6D). Los datos del clorotalonil presentaron una distribución anormal. El rango de los datos en el grupo de inmersos estuvo entre 1,5 y 209,35 ug/g, con una mediana de 12,8 ug/g. No hubo diferencias significativas entre los grupos (Wilcoxon / Kruskal-Wallis test, p=0,13).

Los demás plaguicidas se detectaron en menor cantidad de muestras, y solo para el grupo de los centros educativos inmersos. Cabe señalar que los fungicidas del grupo de los conazoles fueron los más detectados en las muestras (epoxiconazol, difenoconazol, tebuconazol y propiconazol); también el metabolito del terbufos (terbufos sulfone) se detectó en una muestra.

Con respecto al plaguicida cipermetrina, es importante señalar que son plaguicidas que no se utilizan en el cultivo del banano, pero sí en cultivos que se dan en la zona a pequeña escala, y también como plaguicida doméstico.

Gráfico 4: Porcentaje de detección en las muestras de polvo, inmerso (n=36) versus no inmerso (n=6)



Capítulo V. Discusión y conclusiones

5.1 Discusión

Los resultados de este estudio demuestran que el aire exterior de los centros educativos cercanos a fincas agrícolas, en este caso principalmente de banano, se contamina con varios de los plaguicidas usados en estos sitios. Se detectó 14 ingredientes activos diferentes y un metabolito ambiental en las muestras de aire pasivo y activo (XAD y filtro). En los dos tipos de muestreo el plaguicida más detectado fue el clorpirifos, un 98% en el muestreo pasivo y un 100% en el activo, seguido del etoprofos y el pirimetanil en el muestreo pasivo, y del terbufos, el cadusafos y el pirimetanil en el activo.

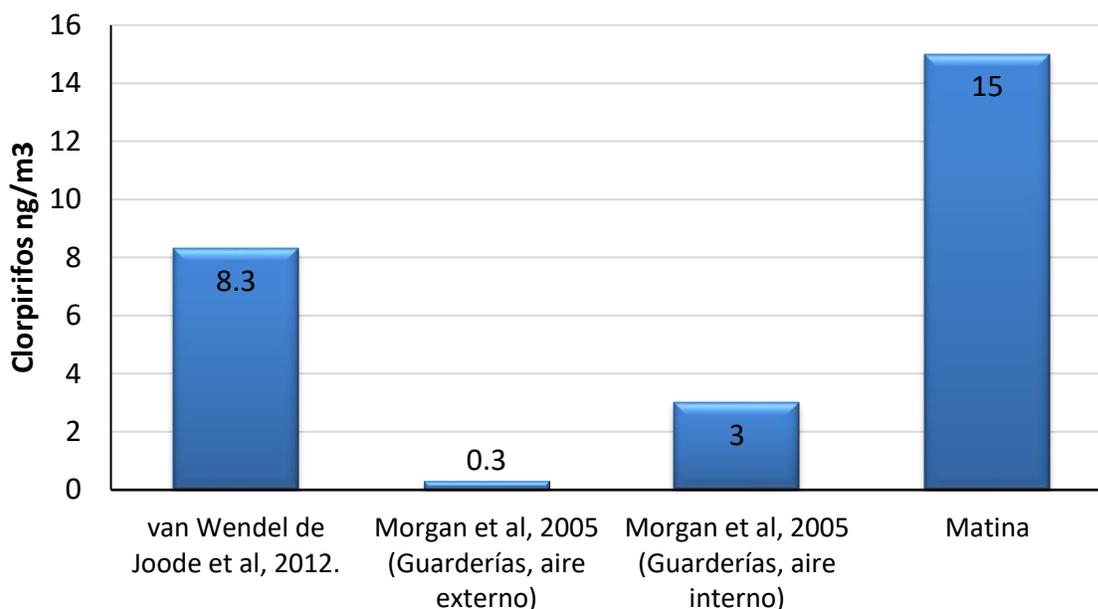
Es significativo encontrar en todos los muestreos el clorpirifos, ya que es un organofosforado cuya toxicidad aguda se clasifica como moderadamente tóxica (OMS, 2004c). Además, la exposición prenatal a clorpirifos se ha asociado con: 1) una disminución del crecimiento fetal, reflejado en el peso y la talla al nacer (Whyatt *et al.*, 2004); 2) atrasos en el neurodesarrollo infantil medido a los tres y siete años de edad (Rauh *et al.* 2006; Rauh *et al.* 2011); (3) anomalías cerebrales en niños de 6-11 años de edad (Rauh *et al.*, 2012), y (4) hiperactividad y déficit de atención en niños varones (Fortenberry *et al.*, 2014). El clorpirifos se utiliza en las plantaciones de banano mediante el uso de bolsas tratadas con clorpirifos; su empleo inicia desde que brota la primera flor de la planta que da paso al racimo de banano; la bolsa permanece cubriendo la fruta hasta el día de su corta, es decir, un periodo cercano a los nueve meses. En ciertas fincas alternan el uso de clorpirifos con bolsas tratadas con bifentrina (un piretroide) y más recientemente, con buprofezin (una tiadiazina). Sin embargo, los resultados de las mediciones en aire en este estudio indican que existe una constante deriva hacia los centros educativos, incluso hacia los que están a más de 1,5 kilómetros de distancia, y que las concentraciones son, en promedio, seis veces mayores en el aire externo de centros educativos inmersos (<100 metros), en comparación con los no inmersos (>1,5 km). Cabe resaltar que el aire exterior de ciertos centros educativos inmersos (Agrodisa y Venecia) tiene mayores concentraciones que el de otros (Boston y

Zent), lo que posiblemente se explica por la cercanía con la bananera y la existencia de pocas barreras entre la plantación y las escuelas.

Otro estudio realizado en Costa Rica en una zona bananera (van Wendel de Joode *et al.*, 2012) recolectó dos muestras de aire pasivo y tres de aire activo en un pueblo inmerso en fincas bananeras en Talamanca (Daytonia); en las cinco muestras se detectó clorpirifos, con concentraciones promedio de 3,1 ng/m³ en las muestras activas y de 8,3 ng/m³ en las pasivas. En Matina, para seis centros educativos las concentraciones promedio de clorpirifos medidas en las muestras pasivas (Gráfico 5), fueron entre dos y tres veces más altas que las concentraciones del estudio de van Wendel de Joode *et al.* (2012). Esto, mientras para los otros cuatro centros inmersos del estudio actual, las concentraciones fueron similares, y para los centros educativos no inmersos, resultaron más de dos veces menores que en el estudio de van Wendel *et al.* (2012). Una razón de señalar para la diferencia entre los estudios, es la cantidad de periodos de muestreo; mientras que en el estudio de van Wendel de Joode *et al.* (2012) fue un solo periodo de muestreo, en el de Matina se hicieron cuatro periodos de muestreo. Otra diferencia fue el análisis de laboratorio; para el estudio de Matina se aplicaron estándares internos que no se aplicaron en el estudio de Van Wendel de Joode *et al.* (2012). Posiblemente, las concentraciones medidas en 2012 fueron una subestimación de las reales.

Morgan *et al.* en 2005 analizaron en muestras de aire activo interno y externo en guarderías, la presencia de clorpirifos, y la mediana de aire interno (3 ng/m³) fue mayor que el aire externo (0,3 ng/m³), debido a que el clorpirifos detectado se utilizó en las guarderías como control de insectos, aunque en 2001 la US-EPA ya había prohibido su uso en residencias y lugares con los que los niños tuvieran contacto (EPA, 2002). Comparado con este estudio, la concentración mediana en los centros educativos inmersos fue similar en el aire interno y cinco veces mayor que en el externo; en los centros educativos no inmersos la mediana fue tres veces menor respecto al aire interno y mayor que el aire externo reportado por Morgan *et al.*, (2005).

Gráfico 5: Comparación con otros estudios



El etoprofos, el terbufos y el cadusafos son nematicidas organofosforados que se aplican de forma manual y tienen una alta toxicidad aguda, incluso terbufos y etoprofos son clasificados como extremadamente tóxicos (categoría 1a, OMS, 2004), y al igual que el clorpirifos, son inhibidores de colinesterasa (Cuadro 3). Los resultados del muestreo de aire activo, demuestran que las concentraciones medidas de etoprofos y terbufos varían considerablemente, con una concentración máxima de terbufos 225,4 ng/m³, es decir, relativamente alta. Sin embargo, no se conoce investigaciones que hayan medido este tipo de plaguicidas en aire para comparar los resultados del estudio actual. Una limitante del estudio actual es que no se obtuvo información sobre las aplicaciones de plaguicidas en las fincas de alrededor, al momento de realizar las mediciones, por lo que se desconoce la relación entre el momento de aplicación de plaguicidas y la medición de las concentraciones.

Por su parte, el pirimetanil es aplicado de forma aérea, alternado con otros fungicidas. Según la categoría de toxicidad aguda indicada por la EPA, es prácticamente no tóxico, pero es catalogado como posible cancerígeno (cuadros 2 y 3).

El polvo también mostró estar contaminado por la presencia de plaguicidas, al detectarse nueve ingredientes activos diferentes y un metabolito ambiental. El plaguicida más detectado fue el clorotalonil y se destaca que en este tipo de muestreo fue donde se detectó la mayor cantidad de fungicidas de este estudio. El clorotalonil es el segundo fungicida más utilizado en el cultivo de banano y se aplica de forma aérea, y al igual que el pirimetanil en su aplicación se alterna con otros fungicidas, y al hacerlo de esta manera, es posible que los plaguicidas se dispersen en el viento a través del material particulado, y el clorotalonil tiene características que permiten que sea absorbido por el suelo o por el polvo.⁹ Es conocido por sus efectos en la piel.

Conviene recalcar la presencia de tantos plaguicidas en el aire y en el polvo, e indicar que ciertos plaguicidas se desplazan bastante desde el sitio de aplicación, en lo que se coincide con otros estudios donde la dispersión de los plaguicidas ha sido estudiada y se ha reportado que las concentraciones disminuyen al alejarse de los lugares de fumigación (Ramaprasad *et al.*, 2004). El plaguicida diazinon, utilizado ampliamente en el cultivo de la piña y en pasto, pero en menor cantidad que en la piña (Bravo *et al.*, 2013), se detectó en las muestras de aire de seis de los centros educativos del estudio, y conforme la distancia aumentaba entre las escuelas y las plantaciones de piña, la concentración fue disminuyendo (Figura 13); dentro de estos seis centros educativos, los dos que se encontraban más cercanos al cantón de Siquirres tenían las concentraciones más altas; uno de estos (el pueblo de Goshen) fue considerado como no inmerso, por estar a más de 2 km de una plantación bananera de Matina y de Siquirres, y fue el segundo centro con mayor concentración de diazinon en el estudio, detrás del poblado de Los Almendros. Como se ha mencionado, el diazinon es un insecticida utilizado ampliamente en el cultivo de piña y se aplica mediante *spray boom*; la piñera más cercana a la comunidad de Goshen está a más de 5 km.

⁹ <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/150.htm>

El otro centro educativo considerado como no inmerso fue Corina, pero llama la atención que aunque la distancia hacia la bananera es menor que la de Goshen, las concentraciones de todos los plaguicidas fueron menores en Corina; tampoco se detectó diazinon y fue en el único punto de muestreo donde en una muestra no se detectó clorpirifos. Las concentraciones detectadas en Goshen pueden estar indicando una deriva por causa del viento. La dirección predominante en la zona del Caribe costarricense es del suroeste, lo que tiene especial relevancia, porque todo el aire que atraviesa el cantón de Matina y sus alrededores, proveniente del suroeste, pasa primero por las plantaciones bananeras y piñeras y de ahí hacia los poblados del norte de Matina (Figura 8).

En esta investigación no se detectó organofosforados en polvo, sin embargo, en otros estudios sí se ha detectado plaguicidas como el clorpirifos y el diazinon en muestras de polvo, con la diferencia en el tipo de muestreo. Solano detectó la presencia de estos plaguicidas en un muestreo activo de polvo en comunidades cercanas a plantaciones bananeras y piñeras, y adicionalmente, en las comunidades bananeras detectó el fungicida clorotalonil (2009). El muestreo utilizado por Solano fue de limpieza superficial y de aspiración, dos técnicas que no se utilizaron en esta investigación pero que dieron resultado para detectar el plaguicida clorpirifos en el muestreo de Solano. La técnica de la caja Petri parece funcionar mejor para detectar aquellos plaguicidas que en condiciones normales permanecen en el material particulado, como el clorotalonil, el cual se detectó en ambas investigaciones, en el polvo.

Las concentraciones medidas de clorpirifos y pirimetanil en esta investigación, varían más entre escuelas que entre mediciones repetidas para una misma escuela. Lo anterior evidencia que en ciertos centros educativos fueron medidos de forma consistente concentraciones más altas de clorpirifos y pirimetanil en el aire que en otros centros educativos. En cuanto al clorpirifos, parece que existe una constante emisión del insecticida hacia el aire, posiblemente, las diferencias en las concentraciones encontradas se explican por la ubicación de las escuelas con respecto a las fincas bananeras, la dirección del viento, y la altura a la cual se ubican. El fungicida pirimetanil es un fungicida relativamente nuevo, y posiblemente no fue usado en todas las fincas

cuando se recolectaron los datos de este estudio, lo cual podría explicar que en el aire de algunos centros educativos se encontraron concentraciones más altas, de forma consistente, que en otros. Para el nematocida etoprofos hubo más diferencias entre periodos de medición que entre escuelas. Lo anterior se explica, porque la aplicación de diferentes nematocidas se rota, lo cual explica que para un mismo centro educativo el etoprofos no fue detectado en todas las mediciones repetidas.

Respecto a las técnicas de medición utilizadas en esta investigación, se eligieron por la capacidad que tienen de detectar contaminación en diferentes medios y momentos; las muestras de aire pasivo, aunque han sido más usadas para plaguicidas persistentes, tienen la particularidad de medir y detectar plaguicidas no persistentes, brindando datos de contaminaciones de corto y largo plazo, y de concentraciones promedio de varias semanas, mientras que el muestreo activo puede medir otras sustancias que estén menos tiempo en el ambiente, refiriéndose a posibles efectos agudos. Estos dos tipos de muestreo son complementarios, tal y como se evidencia con los resultados del clorpirifos.

Por otro lado, en el polvo es viable medir la contaminación que permanece por más tiempo en el ambiente, aunque se debe considerar las propiedades químicas de cada plaguicida, por la volatilidad individual que poseen, que explica que menos plaguicidas fueron detectados en polvo en comparación con las muestras de aire pasivo y activo. Los fungicidas detectados en el polvo se aplican de forma aérea y tienen la particularidad de adherirse a las partículas de polvo. Conviene indicar que algunas sustancias se detectaron en el filtro del muestreo de aire activo y en el muestreo de aire pasivo y viceversa, ya que al estar presentes en el filtro cuando se succiona el aire que entra al muestreador activo, se ofrece un panorama acerca de cómo algunos plaguicidas viajan en el ambiente a través de material particulado inhalable, que no se capta en el aire y que sí se puede detectar con un mejor resultado en el polvo.

Los muestreadores de aire pasivo son ventajosos por la facilidad de instalación y por la gran cantidad de sustancias que se pueden detectar, aunque hay diferentes opiniones en la veracidad de la detección de las sustancias, por la posibilidad que presenta el muestreador de calentarse y volatilizar algunas en poco tiempo.

El muestreador de aire activo tiene la ventaja de captar varias sustancias en poco tiempo, y por el periodo de muestreo se puede tener mayor control en el sitio, sin embargo, el aparato de succión depende de una corriente estable de electricidad, de temperaturas no muy elevadas y de lugares donde el ruido no sea molesto.

El muestreador pasivo de polvo es bastante bueno por la facilidad de instalación y la capacidad de almacenar el polvo durante mucho tiempo, no obstante, los muestreadores, al ser de vidrio, son frágiles, por lo que es un factor de riesgo que se quiebren durante el muestreo y el transporte.

Las fortalezas que este estudio presenta se basan en el número de centros educativos incluidos, la cantidad de muestras repetitivas tomadas y la utilización de los medidores de aire pasivos, que no se habían utilizado en investigaciones de contaminación ambiental por plaguicidas en centros educativos en el país.

Pero, se contó con algunas limitaciones. Una gran limitante de este estudio, y de muchos otros realizados en el país acerca del tema de plaguicidas, es que no se dispone de información de las compañías sobre los plaguicidas utilizados, cantidades aplicadas y frecuencia de aplicación en las plantaciones. También se debe conocer mejor el uso de plaguicidas de otros cultivos que se producen en la zona, por ejemplo: arroz, palma africana y pastos.

Las mediciones de polvo dentro de los centros educativos midieron solo el polvo depositado de manera pasiva y no mediante la recolección activa o con solvente, y al ser una técnica que no se ha utilizado antes, no se puede comparar con estudios que han empleado otras técnicas. También, una limitante de este estudio fue la de no incorporar factores meteorológicos que pueden afectar la dispersión de los plaguicidas, ya que además del viento, la insolación, la temperatura y la humedad relativa influyen en la manera de desplazamiento de los contaminantes.

Finalmente, las mediciones de aire (pasivo y activo) se realizaron externamente y no dentro de las aulas por razones técnicas. Sin embargo, las escuelas de la zona son muy bien ventiladas, por las elevadas temperaturas que en situaciones normales se presentan, por lo tanto, en el caso de este estudio, se puede suponer que las

concentraciones de plaguicidas en el aire exterior reflejan las concentraciones presentes a dentro de las aulas, Además, los alumnos pasan tiempo también en los pasillos y al redor de la escuela, y generalmente viven cerca de la escuela.

Tomando en cuenta los estudios comparados y los niveles encontrados en esta investigación, la presencia de múltiples plaguicidas en el aire y en el polvo evidencia una deriva de los plaguicidas usados en plantaciones agrícolas, hacia centros educativos cercanos. Los resultados sugieren que algunos plaguicidas viajan a través del aire, ya que se encontraron a distancias altas en relación con la zona de aplicación. Las contaminaciones se convierten en un riesgo para la salud de la población infantil, según el estudio realizado en Talamanca, donde se trabajó con niños en edad escolar, que viven cerca de plantaciones de banano y plátano, con concentraciones similares de clorpirifos en el aire, y niveles de ingesta diaria por encima de la dosis de referencia sugerida por la EPA (van Wendel de Joode *et al.*, 2012).

5.2 Conclusiones

Se demuestra que el aire en los centros educativos incluidos en la investigación, está contaminado por plaguicidas utilizados en el cultivo de banano. Las distancias existentes entre los centros educativos y las plantaciones de banano es un factor importante en la cantidad de plaguicidas detectados en el aire y en el polvo. Aunque las distancias sean mayores, es posible encontrar plaguicidas que estén desplazándose a través del viento. Los datos generados dentro del contexto del estudio ayudan a comprender que el aire es una posible ruta de exposición a plaguicidas en poblaciones humanas cercanas a fincas bananeras.

Las corrientes globales del viento influyen en la distribución de contaminantes en una dirección, sin embargo, las corrientes locales del viento producen movimientos diferentes que distribuyen los contaminantes en otra dirección, como se ejemplifica al encontrar diazinon en las comunidades de Los Almendros y de Goshen.

Las concentraciones de clorpirifos halladas en las muestras de aire de esta investigación fueron mayores que las reportadas por otras nacionales e internacionales. En las muestras se detectó en gran medida fungicidas que se aplican de forma aérea en el cultivo de banano. Además, se encontró un plaguicida principalmente utilizado en el cultivo de la piña, y varios detectados en las muestras (terbufos y etoprofos) se catalogan como plaguicidas alta y extremadamente tóxicos.

Las distancias de las barreras naturales existentes en las escuelas parecen ser ineficientes para la contención de los plaguicidas aplicados en las bananeras, ya que se encuentra residuos de plaguicidas aplicados de forma manual y por medio de bolsas impregnadas en el aire y en el polvo de los centros educativos. La legislación nacional no abarca todas las diversas formas de aplicación de plaguicidas, ni de concentración de plaguicidas en el aire.

Los niveles encontrados de clorpirifos y otros plaguicidas en el aire, deben ser considerados por las instituciones encargadas de velar por la salud pública del cantón, para prevenir posibles efectos negativos en la salud de los niños y otras poblaciones vulnerables.

Se considera pertinente la selección de centros educativos para las investigaciones de contaminación ambiental, por concentrar en un solo lugar a niños de diversas características, que pueden estar exponiéndose a diferentes tóxicos, los cuales podrían afectar su salud en el corto y largo plazos.

La herramienta SIG fue de gran utilidad al identificar las diferentes concentraciones de plaguicidas en el cantón, por ejemplo, la disminución de los niveles de diazinon en el aire conforme se aleja de las plantaciones de piña. Las diferentes técnicas de muestreo dieron valiosos resultados porque brindan un panorama de contaminación en el corto y largo plazos. Durante el desarrollo del trabajo de campo se presentaron diversos inconvenientes en el muestreo de polvo, lo que implicó dificultades metodológicas en el análisis de las muestras en el laboratorio.

Capítulo VI. Recomendaciones

6.1 Recomendaciones

Analizar con mayor detalle las distancias actuales establecidas por ley para la aplicación aérea de plaguicidas, en procura de que se establezca distancia con respecto a otros tipos de aplicación de agroquímicos.

Divulgar los datos generados en este estudio entre las diferentes comunidades del cantón de Matina, involucrando a los actores sociales para realimentarlos acerca de la contaminación ambiental por las aplicaciones de plaguicidas en el cultivo de banano y de piña, y de otros plaguicidas utilizados en más cultivos del cantón.

Evaluar los métodos de muestreo pasivo, dadas las características de volatilidad de los diferentes plaguicidas, para conocer cuántos se pierden dentro del muestreador, por la temperatura externa a este.

Mejorar las técnicas de laboratorio para detectar otros plaguicidas ampliamente utilizados en el cultivo del banano, como por ejemplo: mancozeb y su derivado, etilenotiourea (ETU).

Realizar mediciones personales para evaluar la exposición interna y externa, y los posibles efectos en la salud de los escolares.

Implementar un sistema de monitoreo ambiental permanente para vigilar la contaminación ambiental aérea por plaguicidas, en zonas de agricultura intensiva.

Capítulo VII. Bibliografía y anexos

7.1 Bibliografía

Fuentes citadas y consultadas

- Abarca, C. (2013). El Atlántico bananero. Otro frente de luchas obreras 1960.1980. Recuperado octubre 2013: <http://www.monografias.com/trabajos95/atlantico-bananero-otro-frente-luchas-obreras-1960-1980/atlantico-bananero-otro-frente-luchas-obreras-1960-1980.shtml>
- Alarcon WA, Calvert GM, Blondell JM, et al. (2005) Acute Illnesses associated with pesticide exposure at schools. *JAMA* 294 (4): 455-465.
- Allende, S. (1970). Política social. Chile. Archivos de Salvador Allende. En: <http://www.salvadorallende.cl/mensajes/Mensaje1971/Mensaje%2071%20Quinta%20PA RTE.pdf>. (Consultado en abril 2014)
- Alvarado-Hernández, D. L., Montero-Montoya, R., Serrano-García, L., Arellano-Aguilar, O., Jasso-Pineda, Y., & Yáñez-Estrada, L. (2013). Assessment of exposure to organochlorine pesticides and levels of DNA damage in mother–infant pairs of an agrarian community. *Environmental and molecular mutagenesis*.
- Aragonés, N., Pérez-Gómez, B., Astray, J., Gil, E., María Pérez-Meixeira, A., De Paz, C., & Martínez, M. (2008). Biomonitoring of exposure to environmental pollutants in newborns and their parents in Madrid, Spain (BioMadrid): study design and field work results. *Gaceta Sanitaria*, 22(5), 483-491.
- Asante-Duah, K. (2002) Public health risk assessment for human exposure to chemicals. Kluwer academic publishers, Norwell, MA, USA.
- Asmus, C. I. R. F., Alonzo, H. G. A., Palácios, M., Silva, A. P. D., Filhote, M. I. D. F., Buosi, D., & Câmara, V. D. M. (2008). Assessment of human health risk from organochlorine pesticide residues in Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 24(4), 755-766.
- Balluz, L., Moll, D., Diaz Martinez, M. G., Merida Colindres, J. E., & Malilay, J. (2001). Environmental pesticide exposure in Honduras following hurricane Mitch. *Bulletin of the World Health Organization*, 79(4), 288-295.
- Baltazar, M. T., Dinis-Oliveira, R. J., de Lourdes Bastos, M., Tsatsakis, A. M., Duarte, J. A., & Carvalho, F. (2014). Pesticides exposure as etiological factors of Parkinson's disease and other neurodegenerative diseases—A mechanistic approach. *Toxicology letters*, 230 (2), 85-103.
- Barraza, D., Jansen, K., van Wendel de Joode, B., & Wesseling, C. (2011). Pesticide use in banana and plantain production and risk perception among local actors in Talamanca, Costa Rica. *Environmental research*, 111(5), 708-717

- Barraza, D., Jansen, K., van Wendel, B., Wesseling, C. (2013) Social movements and risk perception. *International Journal of Occupational and Environmental Health*.
- Benavides, F., Moya, C., Segura, A., de la Puente, M.L., Porta, M., Amela, C. (2005) Las competencias profesionales en Salud Pública. *Gac Sanit.* 2006; 20 (3): 239-43.
- Bermúdez, N.; Pochet, R. (1980). Modificaciones en la estructura productiva en el agro y las transformaciones de la sociedad costarricense: un intento de síntesis. *Cienc. Soc.* 19-20: 13-24. Universidad de Costa Rica.
- Bouchard, M. F., Bellinger, D. C., Wright, R. O., & Weisskopf, M. G. (2010). Attention-deficit/hyperactivity disorder and urinary metabolites of organophosphate pesticides. *Pediatrics*, 125(6), e1270-e1277.
- Bouchard, M. F., Chevrier, J., Harley, K. G., Kogut, K., Vedar, M., Calderon, N., & Eskenazi, B. (2011). Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7-year-old children. *Environmental health perspectives*, 119(8), 1189.
- Bozon, N., Sinfort, C., & Mohammadi, B. (2009). A GIS-based atmospheric dispersion model. *STIC & Environnement*.
- Bravo, V., de la Cruz Malavassi, E., Ledezma, G. H., & Muñoz, F. R. (2013). Uso de plaguicidas en cultivos agrícolas como herramienta para el monitoreo de peligros en salud. *Uniciencia*, 27(1), 351-376.
- Brenes, A., Saborío, V. (2000) Elementos de climatología, su aplicación didáctica a Costa Rica. Editorial UNED, San José, Costa Rica.
- Brody, J. G., Vorhees, D. J., Melly, S. J., Swedis, S. R., Drivas, P. J., & Rudel, R. A. (2001). Using GIS and historical records to reconstruct residential exposure to large-scale pesticide application. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 12(1), 64-80.
- Bruce, N., Perez-Padilla, R., & Albalak, R. (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1078-1092.
- Cádiz, M. y Dagli, W. (2010) Aprendizaje adaptativo: de Isang Bagsak hasta All in CBNRM. En: *El aprendizaje colaborativo en acción, ejemplos del manejo de los recursos naturales en Asia*. IDRC, Ottawa, Canadá.
- Cano, J. (2013) percepción de la relación trabajo y salud de trabajadores y trabajadoras bananeros y sus familias en el cantón de Matina, Costa Rica. Trabajo final de graduación, Salud Pública, Universidad de Costa Rica.
- Cárdenas, O., Silva, E., Morales, L., & Ortiz, J. (2005). Estudio epidemiológico de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en siete departamentos colombianos, 1998-2001. *Biomédica*, 25(2), 170-180.

- Castillo, J. M., Casas, J., & Romero, E. (2011). Isolation of an endosulfan-degrading bacterium from a coffee farm soil: Persistence and inhibitory effect on its biological functions. *Science the Total Environment*, 412, 20-27.
- Castillo, L., Ruepert, C., Solís, E. (2000). Pesticide residues in the aquatic environment of banana plantation areas in the north Atlantic zone of Costa Rica. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 19. Nº 8, pp 1942-1950.
- CATIE (2008). Diagnóstico rural para implementar un programa de educación ambiental en las comunidades de Matina, Bataan y Pacuare, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Çayır, A., Coskun, M., & Coskun, M. (2012). Micronuclei, nucleoplasmic bridges, and nuclear buds induced in human lymphocytes by the fungicide signum and its active ingredients (boscalid and pyraclostrobin). *Environmental toxicology*.
- Chambers, J. E., Greim, H., Kendall, R. J., Segner, H., Sharpe, R. M., & Van Der Kraak, G. (2013). Human and ecological risk assessment of a crop protection chemical: a case study with the azole fungicide epoxiconazole. *Critical reviews in toxicology*, 44(2), 176-210.
- Choi, S. D., Baek, S. Y., Chang, Y. S., Wania, F., Ikonomou, M. G., Yoon, Y. J., & Hong, S. (2008). Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides at the Korean Arctic and Antarctic research stations: Implications for long-range transport and local pollution. *Environmental science & technology*, 42(19), 7125-7131.
- Corporación Bananera Nacional (CORBANA). (2013). Zonas de producción 2012: <http://www.corbana.co.cr/website/categories/mapa-zonas-de-produccion> (Consultado en julio de 2013)
- Crane, A. L., Rasoul, G. A., Ismail, A. A., Hendy, O., Bonner, M. R., Lasarev, M. R., & Rohlman, D. S. (2013). Longitudinal assessment of chlorpyrifos exposure and effect biomarkers in adolescent Egyptian agricultural workers. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*.
- Cuenca, P., & Ramírez, V. (2004). Chromosomic aberrations in female workers exposed to pesticides. *Revista de biología tropical*, 52(3), 623.
- Dalvie, M. A., Sosan, M. B., Africa, A., Cairncross, E., & London, L. (2014). Environmental monitoring of pesticide residues from farms at a neighbouring primary and pre-school in the Western Cape in South Africa. *Science of The Total Environment*, 466, 1078-1084.
- Diario Digital El País (2009). Riesgo ambiental por prácticas de fumigación en bananera de Guápiles. http://www.elpais.cr/frontend/noticia_detalle/1/11814 (Consultado en septiembre de 2013)

- Díaz, M. (2011). Análisis general del cantón de Talamanca como base para el desarrollo de la etapa de validación de alternativas agroecológicas al uso de agroquímicos en el cultivo de plátano. ISA-02. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Engel, S. M., Berkowitz, G. S., Barr, D. B., Teitelbaum, S. L., Siskind, J., Meisel, S. J., & Wolff, M. S. (2007). Prenatal organophosphate metabolite and organochlorine levels and performance on the Brazelton Neonatal Behavioral Assessment Scale in a multiethnic pregnancy cohort. *American journal of epidemiology*, 165(12), 1397-1404.
- Eskenazi, B., Huen, K., Marks, A., Harley, K. G., Bradman, A., Barr, D. B., & Holland, N. (2010). PON1 and neurodevelopment in children from the CHAMACOS study exposed to organophosphate pesticides in utero. *Environmental health perspectives*, 118(12), 1775.
- Fait, A., Iversen, B., Tiramani, M., Visentin, S., Maroni, M., He, F., & Wesseling, I. (2004). Prevención de los riesgos para la salud derivados del uso de plaguicidas en la agricultura. *Serie protección de la salud de los trabajadores*, 1.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Ganadería) (2014). *Banana market review and banana statistics 2012-2013*. ONU.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Ganadería) (2013). *Manual on fungicides and fungicide resistance monitoring in banana*. ONU.
- Felsot, A. S., Unsworth, J. B., Linders, J. B., Roberts, G., Rautman, D., Harris, C., & Carazo, E. (2010). Agrochemical spray drift; assessment and mitigation—A review. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 46(1), 1-23.
- Fenske, R. A., Bradman, A., Whyatt, R. M., Wolff, M. S., & Barr, D. B. (2005). Lessons learned for the assessment of children's pesticide exposure: critical sampling and analytical issues for future studies. *Environmental health perspectives*, 113(10), 1455.
- Fenske, R. A., Lu, C., Barr, D., & Needham, L. (2002). Children's exposure to chlorpyrifos and parathion in an agricultural community in central Washington State. *Environmental health perspectives*, 110(5), 549.
- Fenske, R. A., Lu, C., Simcox, N. J., Loewenherz, C., Touchstone, J., Moate, T. F., & Kissel, J. C. (2000). Strategies for assessing children's organophosphorus pesticide exposures in agricultural communities. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 10, 662-671.
- Ferguson, K. K., O'Neill, M. S., & Meeker, J. D. (2013). Environmental Contaminant Exposures and Preterm Birth: A Comprehensive Review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 16(2), 69-113.
- Forns, J., Lertxundi, N., Aranbarri, A., Murcia, M., Gascon, M., Martinez, D., ... & Ibarluzea, J. (2012). Prenatal exposure to organochlorine compounds and neuropsychological development up to two years of life. *Environment international*, 45, 72-77.

- Fortenberry, G. Z., Meeker, J. D., Sánchez, B. N., Barr, D. B., Panuwet, P., Bellinger, D., ... & Tellez-Rojo, M. M. (2014). Urinary 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPY) in pregnant women from Mexico City: Distribution, temporal variability, and relationship with child attention and hyperactivity. *International journal of hygiene and environmental health*, 217(2), 405-412.
- Frenk J. (1994) *La salud de la población. Hacia una nueva salud pública*. México, DF: FCE.
- Frenk, J., Gómez-Dantés, O. (2007) *La globalización y la nueva salud pública*. *Salud Pública de México*. Vol. 49, N° 2, marzo-abril de 2007.
- Gascón, M., Verner, M. A., Guxens, M., Grimalt, J. O., Forn, J., Ibarluzea, J., ... & Vrijheid, M. (2012). Evaluating the neurotoxic effects of lactational exposure to persistent organic pollutants (POPs) in Spanish children. *Neurotoxicology*.
- Gehring, U., Casas, M., Brunekreef, B., Bergström, A., Bonde, J. P., Botton, J., & Nieuwenhuijsen, M. (2013). Environmental exposure assessment in European birth cohorts: results from the ENRIECO project. *Environmental Health*, 12(8).
- Goldner WS, Sandler DP, Fang Yu, Hoppin JA, Kamel F, LeVan TD. (2010) Pesticide use and thyroid disease among women in the Agricultural Health Study. *Am J Epidemiol* 171(4):455–464.
- Gómez-Arroyo, S., Martínez-Valenzuela, C., Calvo-González, S., Villalobos-Pietrini, R., Waliszewski, S. M., Calderón-Segura, M. E., & Lagarda-Escarrega, A. (2013). Assessing The Genotoxic Risk For Mexican Children Who Are In Residential Proximity To Agricultural Areas With Intense Aerial Pesticide Applications. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 29(3), 217-225.
- Gouin, T., Harner, T., Blanchard, P., & Mackay, D. (2005). Passive and active air samplers as complementary methods for investigating persistent organic pollutants in the Great Lakes basin. *Environmental science & technology*, 39(23), 9115-9122.
- Gouin, T., Shoeib, M., & Harner, T. (2008a). Atmospheric concentrations of current-use pesticides across south-central Ontario using monthly-resolved passive air samplers. *Atmospheric Environment*, 42(34), 8096-8104.
- Gouin, T., Wania, F., Ruepert, C., & E. Castillo, L. (2008b). Field testing passive air samplers for current use pesticides in a tropical environment. *Environmental science & technology*, 42(17), 6625-6630.
- Harner, T., Bartkow, M., Holoubek, I., Klanova, J., Wania, F., Gioia, R., & Jones, K. C. (2006a). Passive air sampling for persistent organic pollutants: Introductory remarks to the special issue. *Environmental Pollution*, 144(2), 361-364.
- Harner, T., Pozo, K., Gouin, T., Macdonald, A. M., Hung, H., Cainey, J., & Peters, A. (2006b). Global pilot study for persistent organic pollutants (POPs) using PUF disk passive air samplers. *Environmental Pollution*, 144(2), 445-452.

- Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Ikonou, M., & Stern, G. (2006c). Passive sampler derived air concentrations of PBDEs along an urban–rural transect: spatial and temporal trends. *Chemosphere*, 64(2), 262-267.
- Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Stern, G., & Rosenberg, B. (2004). Using passive air samplers to assess urban-rural trends for persistent organic pollutants. 1. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. *Environmental science & technology*, 38(17), 4474-4483.
- Hays, S., Aylward, L., Driver, J., Ross, J., and Kirman, C. (2012). 2,4-D Exposure and risk assessment: Comparison of external dose and biomonitoring based approaches. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Volume 64, Issue 3, Pages 481-489.
- Hayward, S. J., Gouin, T., & Wania, F. (2010). Comparison of four active and passive sampling techniques for pesticides in air. *Environmental science & technology*, 44(9), 3410-3416.
- Idrovo, Á. J. (2005). Hacia una salud pública pluralista: el caso de los plaguicidas y la salud humana. *Rev Salud Pública*, 7(3), 349-359.
- INEC. (2011). Censo de población. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica.
- INECC. (2004). Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- IMN (2013). Clima en Costa Rica, vertiente del Caribe. Recuperado de: http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/vertiente_caribe.html
- Jaward, F. M., Farrar, N. J., Harner, T., Sweetman, A. J., & Jones, K. C. (2004). Passive air sampling of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides across Europe. *Environmental Science & Technology*, 38(1), 34-41.
- Jaward, F. M., Zhang, G., Nam, J. J., Sweetman, A. J., Obbard, J. P., Kobara, Y., & Jones, K. C. (2005). Passive air sampling of polychlorinated biphenyls, organochlorine compounds, and polybrominated diphenyl ethers across Asia. *Environmental science & technology*, 39(22), 8638-8645.
- Jiménez, J. (2010) Minor C Keith, el ferrocarril de Costa Rica y la United Fruit Company. En: *Historia Genealógica de Costa Rica*. <http://historiacostarica.wordpress.com/2010/07/07/minor-keithel-ferrocarril-de-costa-rica-y-la-united-fruit-com/>
- Joly, C., Gay-Quéheillard, J., Léké, A., Chardon, K., Delanaud, S., Bach, V., & Khorsi-Cauet, H. (2013). Impact of chronic exposure to low doses of chlorpyrifos on the intestinal microbiota in the Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem (SHIME®) and in the rat. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9.

- Juberg, D. R., Gehen, S. C., Coady, K. K., LeBaron, M. J., Kramer, V. J., Lu, H., & Marty, M. S. (2013). Chlorpyrifos: Weight of Evidence Evaluation of Potential Interaction with the Estrogen, Androgen, or Thyroid Pathways. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*.
- Kawahara, J., Horikoshi, R., Yamaguchi, T., Kumagai, K., & Yanagisawa, Y. (2005). Air pollution and young children's inhalation exposure to organophosphorus pesticide in an agricultural community in Japan. *Environment international*, 31(8), 1123-1132.
- Kim, H. H., Lim, Y. W., Yang, J. Y., Shin, D. C., Ham, H. S., Choi, B. S., & Lee, J. Y. (2013). Health risk assessment of exposure to chlorpyrifos and dichlorvos in children at childcare facilities. *Science of The Total Environment*, 444, 441-450.
- Klánová, J., Èupr, P., Kohoutek, J., & Harner, T. (2007). Assessing the influence of meteorological parameters on the performance of polyurethane foam-based passive air samplers. *Environmental science & technology*, 42(2), 550-555.
- Koch, D., Lu, C., Fisker-Andersen, J., Jolley, L., & Fenske, R. A. (2002). Temporal association of children's pesticide exposure and agricultural spraying: report of a longitudinal biological monitoring study. *Environmental health perspectives*, 110(8), 829.
- Lee, E. H., Burdick, C. A., & Olszyk, D. M. (2005). GIS-based risk assessment of pesticide drift case study: Fresno County, California. US EPA. Washington, DC, 162.
- Lee, K., Park, E. K., Stoecklin-Marais, M., Koivunen, M. E., Gee, S. J., Hammock, B. D., & Schenker, M. B. (2009). Occupational paraquat exposure of agricultural workers in large Costa Rican farms. *International archives of occupational and environmental health*, 82(4), 455-462.
- Lemire, S., Ashley, D., Olaya, P., Romieu, I., Welch, S., Meneses-González, F., & Hernández-Avila, M. (2004). Environmental exposure of commuters in Mexico City to volatile organic compounds as assessed by blood concentrations, 1998. *Salud Pública de México*, 46(1), 32-38.
- Li, H., Ma, H., Lydy, M. J., & You, J. (2013). Occurrence, seasonal variation and inhalation exposure of atmospheric organophosphate and pyrethroid pesticides in an urban community in South China. *Chemosphere*.
- Liu, F., Liao, C., Fu, J., Lv, J., Xue, Q., & Jiang, G. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in rice hull from a typical e-waste recycling area in southeast China: temporal trend, source, and exposure assessment. *Environmental geochemistry and health*, 1-13.
- Lu, C., Adamkiewicz, G., Attfield, K. R., Kapp, M., Spengler, J. D., Tao, L., & Xie, S. H. (2013). Household pesticide contamination from indoor pest control applications in urban low-income public housing dwellings: a community-based participatory research. *Environmental science & technology*, 47(4), 2018-2025.
- Lu, C., Fenske, R. A., Simcox, N. J., & Kalman, D. (2000). Pesticide exposure of children in an agricultural community: evidence of household proximity to farmland and take home exposure pathways. *Environmental Research*, 84(3), 290-302.

- Lu, C., Kedan, G., Fisker-Andersen, J., Kissel, J. C., & Fenske, R. A. (2004). Multipathway organophosphorus pesticide exposures of preschool children living in agricultural and non agricultural communities. *Environmental Research*, 96(3), 283-289.
- Manso, P., Stolz, W., & Fallas, J. (2005). El régimen de la precipitación en Costa Rica. *Rev. Ambientico*, 144, 7-8.
- Manthripragada, A. D., Costello, S., Cockburn, M. G., Bronstein, J. M., & Ritz, B. (2010). Paraoxonase 1 (PON1), agricultural organophosphate exposure, and Parkinson disease. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 21(1), 87.
- Martínez-Valenzuela, C., & Gómez-Arroyo, S. (2007). Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(4), 185-200.
- Mishra, A., & Devi, Y. (2013). Histopathological alterations in the brain (optic tectum) of the fresh water teleost *Channa punctatus* in response to acute and subchronic exposure to the pesticide Chlorpyrifos. *Acta histochemica*.
- Morgan, M. K., Sheldon, L. S., Croghan, C. W., Jones, P. A., Robertson, G. L., Chuang, J. C., & Lyu, C. W. (2005). Exposures of preschool children to chlorpyrifos and its degradation product 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol in their everyday environments. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 15(4), 297-309.
- Morgan, M. K., Wilson, N. K., & Chuang, J. C. (2014). Exposures of 129 preschool children to organochlorines, organophosphates, pyrethroids, and acid herbicides at their homes and daycares in North Carolina. *International journal of environmental research and public health*, 11(4), 3743-3764.
- Moya, J., Bearer, C. F., & Etzel, R. A. (2004). Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. *Pediatrics*, 113 (Supplement 3), 996-1006.
- Municipalidad de Matina (2008) Agenda 21 Local. Matina.
- Nava, M. E. P. (2003). Aplicación de un instrumento para evaluar exposición a plaguicidas organofosforados, efectos agudos y subagudos en la salud de trabajadores agrícolas. *Rev Fac Med UNAM*, 46(1).
- Needham, L. L., & Sexton, K. (2000). Assessing children's exposure to hazardous environmental chemicals: an overview of selected research challenges and complexities. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 10(6 Pt 2), 611-629.
- Nieuwenhuijsen, M. (2003) Exposure assessment in occupational and environmental epidemiology. Great Britain: Oxford University Press.
- Nordby, K. C., Andersen, A., Irgens, L. M., & Kristensen, P. (2005). Indicators of mancozeb exposure in relation to thyroid cancer and neural tube defects in farmers' families. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 89-96.

- Noworyta-Głowacka, J., Bańkowski, R., Siennicka, J., Wiadrowska, B., & Ludwicki, J. K. (2012). Influence of chlorpyrifos on the profile of subpopulations of immunoactive cells and their phagocytic activity in an experimental [i] in vivo [/i] model. *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM*, 19(3), 483.
- Nuckols, J. R., Ward, M. H., & Jarup, L. (2004). Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies. *Environmental health perspectives*, 112(9), 1007.
- OMS (2014). *Salud Ambiental*. (En línea) Disponible en: www.who.int/topics/environmental_health/es/ Consultado: octubre 2014.
- OMS (2004a). *Guías para la calidad del aire*. OPS/CEPIS/PUB/04.110. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud OPS, Lima, Perú.
- OMS (2004b). *Prevención de los riesgos para la salud derivados del uso de plaguicidas en la agricultura. Serie protección de los trabajadores N°1*. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- OMS (2004c). *The WHO recommended classification of pesticides by hazards and guidelines to classification*. Geneva, Switzerland.
- OMS (2001). *Human exposure assessment, an introduction*. WHO/SDE/OEH/01.3 World Health Organization, Geneva.
- OMS (1948). *Definición de salud. Constitución de la Organización Mundial de la Salud. Conferencia Sanitaria Internacional*. New York, Estados Unidos.
- OPS (2003). *Efectos de los plaguicidas en la salud y el ambiente en Costa Rica*. Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud – San José, Costa Rica.
- Ortiz, R.; López, A.; Ponchner, S.; Segura, A. (2001). *El cultivo del banano*. Editorial UNED. San José, Costa Rica.
- Orton, F., Lutz, I., Kloas, W., & Routledge, E. J. (2009). Endocrine disrupting effects of herbicides and pentachlorophenol: in vitro and in vivo evidence. *Environmental science & technology*, 43 (6), 2144-2150.
- Park, J. S., Kwak, S. J., Gil, H. W., Kim, S. Y., & Hong, S. Y. (2013). Glufosinate herbicide intoxication causing unconsciousness, convulsion, and 6th cranial nerve palsy. *Journal of Korean medical science*, 28(11), 1687-1689.
- Penagos, H., Ruedert, C., Partanen, T., & Wesseling, C. (2004). Pesticide patch test series for the assessment of allergic contact dermatitis among banana plantation workers in Panama. *Dermatitis: contact, atopic, occupational, drug*, 15(3), 137-145.
- Pérez, J., Domingues, I., Monteiro, M., Soares, A. M., & Loureiro, S. (2013). Synergistic effects caused by atrazine and terbuthylazine on chlorpyrifos toxicity to early-life stages of the zebrafish *Danio rerio*. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.

- Periódico La Nación. (2009). Vecinos denuncian matanza masiva de peces en Matina. http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Vecinos-denuncian-matanza-masiva-Matina_0_1033696685.html (Consultado en septiembre de 2013)
- Periódico La Nación. (2010). Masiva muerte de peces en Los Chiles y Limón. http://www.nacion.com/nacional/comunidades/Masiva-muerte-peces-Chiles-Limon_0_1144485613.html (Consultado en septiembre de 2013)
- Periódico La Nación. (2013). Encuentran más de 170 peces muertos en Barra del Colorado, Pococí. http://www.nacion.com/archivo/Encuentran-muertos-Barra-Colorado-Pococi_0_1327867354.html (Consultado en septiembre de 2013)
- Pimentel, D., Culliney, T. W., & Bashore, T. (1996). Public health risks associated with pesticides and natural toxins in foods. *The Radcliffes's IPM World Textbook*.
- Pozo, K., Harner, T., Shoeib, M., Urrutia, R., Barra, R., Parra, O., & Focardi, S. (2004). Passive-sampler derived air concentrations of persistent organic pollutants on a north-south transect in Chile. *Environmental science & technology*, 38(24), 6529-6537.
- PNUD (2011). Atlas del desarrollo humano cantonal de Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Prutner, W., Nicken, P., Haunhorst, E., Hamscher, G., & Steinberg, P. (2013). Effects of single pesticides and binary pesticide mixtures on estrone production in H295R cells. *Archives of toxicology*, 87(12), 2201-2214.
- Ramaprasad, J., Tsai, M. Y., Elgethun, K., Hebert, V. R., Felsot, A., Yost, M. G., & Fenske, R. A. (2004). The Washington aerial spray drift study: assessment of off-target organophosphorus insecticide atmospheric movement by plant surface volatilization. *Atmospheric Environment*, 38(33), 5703-5713.
- Ramírez, F. (2011) Importación de Plaguicidas en Costa Rica: periodo 2007-2009. Informe Técnico.
- Ramírez, F., de la Cruz, E., Bravo, V., Chaverri, F. (2010) Indicadores de importación de plaguicidas por trabajador y área agrícola como herramienta para el monitoreo de peligros para el ambiente y la salud en Costa Rica. Observatorio Ambiental/ Indicadores ambientales/ Salud
- Ramírez, F.; Chaverri, F.; de la Cruz, E.; Wesseling, C.; Castillo, L. y Bravo, V. (2009). Importación de plaguicidas en Costa Rica. Periodo 1977-2006. Serie Informes Técnicos IRET. Número 6. ISBN 978-9968-924-05-4. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Ramírez, J. A., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67-75.
- RAP-AL (2013). Fumigaciones aéreas y terrestres. Impacto al ambiente y salud de la población. Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas en América Latina, Uruguay.

- RAPAM (2002). Persistencia y bioacumulación de plaguicidas. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México.
- Rauh, V., Arunajadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D. B., & Whyatt, R. (2011). Seven-Year Neurodevelopmental Scores and Prenatal Exposure to Chlorpyrifos, a Common Agricultural Pesticide. *Environmental Health Perspectives*, 119(8), 1196–1201. doi:10.1289/ehp.1003160
- Rauh, V. A., Perera, F. P., Horton, M. K., Whyatt, R. M., Bansal, R., Hao, X. & Peterson, B. S. (2012). Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(20), 7871-7876.
- Rauh, V. A., Garfinkel, R., Perera, F. P., Andrews, H. F., Hoepner, L., Barr, D. B., ... & Whyatt, R. W. (2006). Impact of prenatal chlorpyrifos exposure on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children. *Pediatrics*, 118(6), e1845-e1859.
- Reigart, J., & Roberts, J. (1999). Reconocimiento y manejo de los envenenamientos por pesticidas. 5ta edición. (En línea). Environmental Protection Agency (EPA). Washington, US.
- Rojas, A. et al. (2000). Malformaciones congénitas y exposición a pesticidas. *Rev. méd. Chile* vol.128 n.4 Santiago Apr. 2000.
- Royster, M. O., Hilborn, E. D., Barr, D., Carty, C. L., Rhoney, S., & Walsh, D. (2002). A pilot study of global positioning system/geographical information system measurement of residential proximity to agricultural fields and urinary organophosphate metabolite concentrations in toddlers. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 12(6), 433-440.
- Ruepert, C. et al. (2005). Vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por plaguicidas en Costa Rica. Estudio preliminar. Costa Rica: Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional.
- Santovito, A., Cervella, P., & Delpero, M. (2011). In vitro aneugenic effects of the fungicide thiabendazole evaluated in human lymphocytes by the micronucleus assay. *Archives of toxicology*, 85(6), 689-693.
- Sharma, R. K., Jaiswal, S. K., Siddiqi, N. J., & Sharma, B. (2012). Effect of carbofuran on some biochemical indices of human erythrocytes in vitro. *Cell. Mol. Biol*, 58(1), 103-109
- Shoeib, M., & Harner, T. (2002). Characterization and comparison of three passive air samplers for persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology*, 36(19), 4142-4151.
- Simcox, N., Fenske, R., Wolz, S., I-Chwen, L., Kalman, D. (1995) Pesticides in Household Dust and Soil: Exposure Pathways for Children of Agricultural Families. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 103, N° 12, December 1995.

- Şişman, T., & Türkez, H. (2010). Toxicologic evaluation of imazalil with particular reference to genotoxic and teratogenic potentials. *Toxicology and industrial health*, 26(10), 641-648.
- Skytt, Å. (2011). Drinking water and pesticides in banana growing areas: Contamination of water sources with ethylenethiourea (ETU) in matina County – Costa Rica.
- Slaughter, M. R., Thakkar, H., & O'Brien, P. J. (2002). Effect of diquat on the antioxidant system and cell growth in human neuroblastoma cells. *Toxicology and applied pharmacology*, 178(2), 63-70.
- Solano, K. (2009). Análisis de plaguicidas en polvo de casas y escuelas cerca de plantaciones de banano y piña en la zona del Caribe de Costa Rica. Tesis de maestría. Salud ocupacional con énfasis en higiene ambiental. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Tahir, S., & Anwar, T. (2012). Assessment of Pesticide Exposure in Female Population Living in Cotton Growing Areas of Punjab, Pakistan. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89(6), 1138-1141.
- Tchounwou, P. B., Ayensu, W. K., Ninashvili, N. and Sutton, D. (2003), Review: Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health. *Environ. Toxicol.*, 18: 149–175. doi: 10.1002/tox.10116
- Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T., & Satayavivad, J. (2013). Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food and Chemical Toxicology*, 59, 129-136.
- Tong, S., Schirnding, Y. E. V., & Prapamontol, T. (2000). Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1068-1077.
- Tuduri, L., Harner, T., & Hung, H. (2006). Polyurethane foam (PUF) disks passive air samplers: Wind effect on sampling rates. *Environmental Pollution*, 144(2), 377-383.
- UE (2009). Directiva 2009-128-CE del parlamento europeo y del consejo. Actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. Unión Europea.
- US EPA (2002). Interim Reregistration Eligibility Decision for Chlorpyrifos (Case No. 0100) EPA 738-R-01-007. Health Effects Division, Office of Pesticide Programs, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- US EPA (2005). About pesticides. <http://www.epa.gov/pesticides/about/index.htm> (Consultado en Setiembre de 2013). United States Environmental Protection Agency.
- US EPA (2012). Buffer zones distances. United States Environmental Protection Agency.
- van Leuween, L., Jongennel, R. (2006) Environmental exposure in communities neraby melón plantation. Master thesis. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University.

- van Wendel de Joode, B., Mora, A. M., Córdoba, L., Cano, J. C., Quesada, R., Faniband, M., ... & Lindh, C. H. (2014). Aerial Application of Mancozeb and Urinary Ethylene Thiourea (ETU) Concentrations among Pregnant Women in Costa Rica: The Infants' Environmental Health Study (ISA). *Environmental Health Perspectives*, 122(12), 1321.
- van Wendel de Joode, B., Barraza, D., Ruepert, C., Mora, A. M., Córdoba, L., Öberg, M., & Lindh, C. H. (2012). Indigenous children living nearby plantations with chlorpyrifos-treated bags have elevated 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCPy) urinary concentrations. *Environmental research*.
- van Wendel, D. J., Berna, N., De Graaf, I. A., Wesseling, C., & Kromhout, H. (1996). Paraquat exposure of knapsack sprays operators on banana plantations in Costa Rica. *International journal of occupational and environmental health*, 2(4), 294-304.
- Vargas, S. (2013). Estudio de la escorrentía, en la variación de las concentraciones de residuos de plaguicidas, presentes en las aguas superficiales del río Caño Azul, Limón, Costa Rica. Tesis maestría en gestión y estudios ambientales. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Waliszewski, S. M., Aguirre, A. A., Infanzón, R. M., & Siliceo, J. (2000). Carry-over of persistent organochlorine pesticides through placenta to fetus. *Salud pública de México*, 42(5), 384-390.
- Wang, C., & Li, Y. (2011). Study on the binding of propiconazole to protein by molecular modeling and a multispectroscopic method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(15), 8507-8512.
- Wang, X. P., Gong, P., Yao, T. D., & Jones, K. C. (2010). Passive air sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers across the Tibetan Plateau. *Environmental science & technology*, 44(8), 2988-2993.
- Wania, F.; Shen, L.; Lei, Y. D.; Teixeira, C.; Muir, D. C. G. Development and calibration of a resin-based passive sampling system for monitoring persistent organic pollutants in the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37, 1352–1359.
- Wason, S. C., Julien, R., Perry, M. J., Smith, T. J., & Levy, J. I. (2013). Modeling exposures to organophosphates and pyrethroids for children living in an urban low-income environment. *Environmental research*.
- Weppner, S., Elgethun, K., Lu, C., Hebert, V., Yost, M. G., & Fenske, R. A. (2006). The Washington aerial spray drift study: children's exposure to methamidophos agricultural community following fixed wing aircraft application. *Journal Exposure Science Environmental Epidemiology*, 16(5), 387-396
- Wesseling, C. (1997). Health effects from pesticide use in Costa Rica: an epidemiological approach. Stockholm, Sweden: Karolinska University Press.

- Wesseling, C., Joode, D., Van Wendel, B., & Monge, P. (2001). Pesticide-related illness and injuries among banana workers in Costa Rica: a comparison between 1993 and 1996. *International journal of occupational and environmental health*, 7(2), 90-97.
- Whyatt RM, Rauh V, Barr DB, Camann DE, Andrews HF, Garfinkel R, Hoepner LA, Diaz D, Dietrich J, Reyes A, Tang D, Kinney PL, Perera FP. (2004). Prenatal insecticide exposures and birth weight and length among an urban minority cohort. *Environ Health Perspect.* Jul;112(10):1125-32.
- Wilson, N., Chuang, J., Lyu, C., Menton, R., Morgan, M. (2003) Aggregate exposures of nine preschool children to persistent organic pollutants at day care and at home. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* (2003) 13, 187–202
- World Resource Institute. (2011) Agricultural Inputs. Pesticide Use Intensity. (En línea.) Disponible: <http://earthtrends.wri.org/text/agriculturefood/variable-204.html> Consultado: octubre 2014.
- Wu, J. C., Hseu, Y. C., Tsai, J. S., Chen, L. C., Chye, S. M., Chen, C. H., & Ching Chen, S. (2011). Fenthion and terbufos induce DNA damage, the expression of tumor-related genes, and apoptosis in HEPG2 cells. *Environmental and molecular mutagenesis*, 52(7), 529-537.
- Young, J. G., Eskenazi, B., Gladstone, E. A., Bradman, A., Pedersen, L., Johnson, C., & Holland, N. T. (2005). Association between in utero organophosphate pesticide exposure and abnormal reflexes in neonates. *Neurotoxicology*, 26(2), 199-209.
- Zhang, G., Chakraborty, P., Li, J., Sampathkumar, P., Balasubramanian, T., Kathiresan, K., & Jones, K. C. (2008). Passive atmospheric sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in urban, rural, and wetland sites along the coastal length of India. *Environmental science & technology*, 42(22), 8218-8223.
- Zhang, X., Wallace, A. D., Du, P., Lin, S., Baccarelli, A. A., Jiang, H. & Hou, L. (2012). Genome-wide study of DNA methylation alterations in response to diazinon exposure in vitro. *Environmental toxicology and pharmacology*, 34 (3), 959-968.
- Zhao, M., Zhang, Y., Zhuang, S., Zhang, Q., Lu, C., & Liu, W. (2014). Disruption of the hormonal network and the enantioselectivity of bifenthrin in trophoblast: maternal–fetal health risk of chiral pesticides. *Environmental science & technology*, 48(14), 8109-8116

7.2 Anexos

Anexo 1: Legislación nacional e internacional con respecto a las distancias que se debe respetar entre las áreas de fumigación en los diferentes cultivos y las áreas de actividades humanas

1. El artículo 50 de la constitución política de Costa Rica, el más alto nivel jerárquico de la legislación costarricense, hace referencia a la protección del ambiente y de la salud humana, dice textualmente:

“Artículo 50: El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes”

Sin embargo, existe muy poca reglamentación ambiental respecto las aplicaciones de plaguicidas, se conocen únicamente dos reglamentos en el tema de plaguicidas, el “Reglamento sobre Registro, Uso y Control de Plaguicidas Sintéticos Formulados, Ingrediente Activo, Grado Técnico, Coadyuvantes y Sustancias Afines de Uso Agrícola”, N° 33495, de 2007; y el “Reglamento para las actividades de la Aviación Agrícola”, N° 31520, de 2003.

2. Artículo 70 “Reglamento para las actividades de la Aviación Agrícola”:

Artículo 70: Requisitos de cumplimiento en las aplicaciones aéreas de plaguicidas respecto a centros de población o granjas.

*“Las aplicaciones aéreas de plaguicidas pueden llevarse a cabo si entre el campo a tratar y cualquier carretera, centros de población, casas de habitación, edificios donde permanezca personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños o fincas vecinas susceptibles a efectos negativos derivados del plaguicida aplicado, se deja una franja de no aplicación aérea **no menor de 100 metros**, de tal manera que no se contaminen personas, animales, casas, poblados, carreteras, pastizales, fuentes de agua, abrevaderos y los cultivos o fincas antes citados por efectos de la deriva o el arrastre de plaguicidas. **Dicha franja podrá ser reducida hasta un mínimo de 30 metros**, si entre el campo a tratar y los sitios indicados, existen zonas de amortiguamiento de 30 metros de ancho, reforestadas preferiblemente con especies nativas, siempre y cuando además se apliquen plaguicidas de moderada toxicidad a lo sumo, y la aplicación se realice bajo condiciones adecuadas de altura de vuelo, tamaño de la partícula, velocidad del viento que en conjunto permitan la reducción de la deriva y que la aeronave disponga de implementos adecuados para ese fin y que se vuele en forma paralela a la zona de amortiguamiento.*

En caso de que la aplicación se realice en forma perpendicular a dicha zona, deberá dejarse además una franja no menor de 40 metros dentro del cultivo, en la que no se podrán aplicar plaguicidas por avión para reducir el efecto del arrastre, pudiéndose aplicar el área respectiva con helicóptero u otro medio que asegure el control del arrastre. La franja de no aplicación de plaguicidas podrá omitirse en caso de vías o caminos internos de uso exclusivo para el cultivo que se va a tratar y en el tanto no existan viviendas ni se produjeran ninguno de los supuestos a que se refiere el párrafo primero del presente artículo”.

3. Ley forestal N° 7575 prohíbe cualquier intervención en un radio de 100 metros de una naciente, en terreno plano, 10 metros en ríos o quebradas en zona urbana y 15 metros en zona rural; en terreno quebrado 50 metros. La ley de aguas protege un radio de 60 metros de manantiales; si los manantiales son utilizados para consumo humano se debe aumentar el radio a 200 metros. Igualmente el reglamento sobre la inmisión de contaminantes atmosféricos no incluye a los plaguicidas dentro de los posibles contaminantes

Legislación nacional vigente asociada con protección a la salud pública y al medio ambiente frente a sustancias químicas

Normativa	Descripción
Ley General de Salud N° 5395	En su artículo 313 inciso 1, se indica que “Toda vivienda individual, familiar o multifamiliar, deberá cumplir con los siguientes requisitos sanitarios: 1. Localización en áreas que no ofrezcan peligro para la salud y el bienestar de los ocupantes.”
Ley de Planificación Urbana N° 4240	Establece la obligatoriedad por parte de los gobiernos locales para emitir reglamentos relacionados al ordenamiento territorial en pro de los intereses de la salud, seguridad, comodidad y bienestar de la comunidad (artículo 19). Asimismo, indica que dichos reglamentos deberán promover: a) Protección de la propiedad contra la proximidad de usos prediales molestos o peligrosos; b) Una relación armónica entre los diversos usos de la tierra.
Ley de Aguas N°276 Ley Forestal N° 7575	Ambas leyes establecen las distancias respectivas para la protección a fuentes de agua, superficiales principalmente. La Ley de Aguas lo especifica en sus artículos 148 al 150; la Ley Forestal en su artículo 33 establece las áreas según el tipo de fuente.
Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos N° 30221	El cual establece los parámetros más importantes sobre la concentración de sustancias consideradas como contaminantes para el aire, destacando las Partículas Suspendidas y gases provenientes de quema de combustibles fósiles y otros procesos industriales.

Fuente: elaboración propia

4. Con respecto a la legislación internacional en materia de regulación de fumigaciones de plaguicidas y distancias que se deben respetar, se encontró en Latinoamérica algunas variantes respecto a estas distancias, por ejemplo en países como Brasil para una fumigación aérea se debe mantener 500 metros, en Uruguay, específicamente para escuelas, las fumigaciones aéreas se deben realizar a 500 metros y para fumigaciones terrestres la distancia de amortiguamiento es de 300 metros (RAP-AL, 2013), en Argentina la distancia para fumigación aérea es de 500 metros y para fumigaciones terrestre es de 100 metros de amortiguamiento para una zona residencial, incluyendo escuelas¹⁰; en Chile y Paraguay la distancia disminuye a 200 metros en una zona residencial (Felsot. A et al, 2010).
5. En la UE mediante la directiva 2009/128/CE sobre el uso sostenible de los plaguicidas exige a los estados miembros a garantizar la prohibición de las fumigaciones aéreas, dejando algunas excepciones sanitarias donde es permitido utilizar esta técnica de fumigación cuando sea estrictamente necesario y tomando todas las precauciones del caso para no afectar la salud humana y el medio ambiente. Igualmente, dicha directiva indica que los estados miembros deben de velar por minimizar o prohibir el uso de plaguicidas en zonas específicas, dentro de las cuales se encuentran áreas escolares y de juego infantil (UE, 2009).
6. Por su parte, la US-EPA define que para cada actividad agrícola y plaguicida a utilizar en ese cultivo se debe de definir una zona de protección, o zona buffer, mediante una evaluación de la exposición ambiental del plaguicida elegido para aplicarse. Las zonas se determinan tomando en cuenta cuerpos de agua, caminos, trabajadores y áreas residenciales, igualmente se utiliza para plaguicidas aplicados por fumigación aérea o por fumigación terrestre (EPA, 2012).

¹⁰ Tomado de la página: http://www.apfdigital.com.ar/despachos.asp?cod_des=214451&ID_Seccion=2, visitada en febrero, 2015

Anexo 2: Categorías de peligrosidad de los plaguicidas, según la OMS

Categorías	
Ia	Extremadamente peligroso
Ib	Altamente peligroso
II	Moderadamente peligroso
III	Ligeramente peligroso
U	No hay peligro de efectos agudos

Anexo 3: Categorías de toxicidad de los plaguicidas, según la US-EPA

Categorías	
Ia	Altamente tóxico
Ib	Moderadamente tóxico
II	Ligeramente tóxico
III	Prácticamente no tóxico

Anexo 4: Clasificación de carcinogenicidad, según la US-EPA

Categoría	Criterios
Carcinógeno humano	Cuando la evidencia epidemiológica es concluyente en cuanto a la relación causa - efecto, o cuando los eventos clave del mecanismo carcinogénico demostrado en modelos animales han sido reportados en poblaciones humanas en asociación con la exposición al agente.
Probablemente carcinogénico en humanos	Hay evidencia epidemiológica de asociación entre la exposición al agente y la aparición del cáncer. La carcinogenicidad ha sido demostrada en animales y el mecanismo carcinogénico es factible que ocurra en humanos.
Sugestivo	Existe evidencia epidemiológica y experimental de carcinogenicidad, pero no se considera concluyente. Se requiere más estudios.
Datos inadecuados	Cuando los estudios de carcinogenicidad fueron considerados inadecuados según los estándares de las agencias internacionales. También se utiliza este descriptor cuando los estudios disponibles cumplen con los criterios de calidad pero aportan evidencia contradictoria.
Probablemente no carcinogénico en humanos	Cuando los estudios de que se dispone se consideran robustos para decidir que no debe existir preocupación por el riesgo de carcinogenicidad en humanos, por ejemplo, cuando el mecanismo demostrado en animales, no es factible que ocurra en humanos.

Anexo 5: Clasificación de carcinogenicidad, según la IARC

Categoría		Criterios
1	Carcinógeno en humanos	Existe evidencia suficiente de carcinogenicidad en estudios en humanos.
2A	Probable carcinógeno en humanos	La evidencia de carcinogenicidad en humanos es limitada, pero hay suficiente evidencia experimental en animales.
2B	Posible carcinógeno en humanos	La evidencia de carcinogenicidad es limitada en humanos y en animales de experimentación.
3	No clasificable	Es posible que exista evidencia en animales de experimentación, pero el mecanismo implicado en la carcinogenicidad en los animales, no es factible que ocurra en el hombre.
4	Probablemente no carcinogénico en humanos	No hay evidencia de carcinogenicidad en humanos y en animales de experimentación.

Anexo6:

A) Concentraciones (ng/m³) de (metabolitos) de ingredientes activos de plaguicidas medidos en las muestras de aire pasivo, agrupadas por centros educativos inmersos y no inmersos: porcentaje de las muestras con concentraciones detectables, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas que fueron detectados en más del 50% de las muestras.

Plaguicidas	LD (ng/m ³)	% > LD (n)	Inmersos (ng/m ³) (n=43, k=10)						No inmersos (ng/m ³) (n=9, k=2)					Valor p Fisher exact test (dos colas)	Valor p Wilcoxon / Kruskal-Wallis tests	ICC	
			% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75	p90	% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75				p90
Insecticidas																	
Clorpirifos	0,5	98% (51)	100% (43)	0,6	36,1	16,9	21,9	25,4	89% (8)	< 0,5	11,3	2,8	5,2	11,3	p=0,17	p<0,0001	0,66
Diazinon	0,3	31% (16)	26% (11)	0,6	3,9				56% (5)	1	3,8	1,9	2,9	3,8			
Nematicidas																	
Etoprofos	0,5	77% (40)	79% (34)	< 0,5	60,8	1,8	5,3	20,5	67% (6)	< 0,5	8,1	1,3	5,5	8,1	p=0,41	p=0,46	0,04
Terbufos	3	15% (8)	19% (8)	5,5	61,7				0								
Terbufos sulfone	0,5	52% (27)	56% (24)	1,6	28,7	7,6	14,3	25,7	33% (3)	1,3	6,1				p=0,28	p<0,03	
Fungicidas																	
Pirimetaniil	0,5	79% (41)	88% (38)	< 0,5	22,1	1,6	7,5	18,6	33% (3)	< 0,5	0,6	0,4	0,6	0,6	p<0,0014	p<0,003	0,84
Clorotalonil*		50% (26)	51% (22)						44% (4)								
Spiroxamina	3	9% (5)	12% (5)	16,5	61,8				0								
Epoxiconazol	1	25% (13)	30% (13)	2,5	15,8				0								
Difenoconazol	1	9% (5)	12% (5)	3,1	21,3				0								
Fenpropimorf	1,5	28% (15)	35% (15)	< 1,5	20,9				0								

Fuente: elaboración propia. *El clorotalonil no se pudo cuantificar (véase sección 3.4.1.1)

B) Concentraciones (ng/m³) de (metabolitos) de ingrediente activos de plaguicidas medidas en las muestras de aire activo (XAD), agrupadas por centros educativos inmersos y no inmersos: el porcentaje de las muestras con concentraciones detectables, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas detectados en más del 50% de las muestras

Plaguicidas	LD (ng/m ³)	% > LD (n)	Inmersos (ng/m ³) (n=13, k=4)						No inmersos (ng/m ³) (n=3, k=1)					Valor p Fisher exact test (dos colas)	Valor p Wilcoxon / Kruskal-Wallis tests	
			% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75	p90	% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75			p90
Insecticidas																
Clorpirifos	0,3	100% (16)	100% (13)	3,1	16	5,1	10,8	14,3	100% (3)	0,6	1,1	0,8	1,1	1,1		P=0,009
Diazinon	0,3	25% (4)	23% (3)	0,9	6,4				33% (1)	2,1	2,1					
Buprofezin	0,2	6% (1)	8% (1)	0,2	0,2				0							
Nematicidas																
Etoprofos	0,4	68% (11)	69% (9)	0,7	57,4	2,3	26	57,4	67% (2)	0,8	1,9	1,3	1,9	1,9	p=0,70	p=0,47
Terbufos	0,1	75% (12)	77% (10)	0,7	242,9	2,8	41,5	225,4	67% (2)	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	p=0,60	P=0,03
Terbufos sulfone	0,2	18% (3)	23% (3)	0,8	1,6				0							
Cadusafos	0,3	68% (11)	77% (10)	0,8	100,9	4,9	25,7	94,9	33% (1)	2,1	2,1				p=0,21	p=0,63
Fungicidas																
Pirimetaniil	0,1	68% (11)	85% (11)	0,7	3,7	1,4	2,3	3,4	0						P=0,02	
Clorotalonil	0,3	56% (9)	62% (8)	0,8	43,2	3,9	28,1	43,2	33% (1)	2,1	2,1				p=0,93	p=0,69
Spiroxamina	0,1	18% (3)	15% (2)	0,8	0,95				33% (1)	4,3	4,3					
Otros																
DEET	3	6% (1)	8% (1)	< 3	4.5				0							

Fuente: elaboración propia

C) Concentraciones (ng/m³) de (metabolitos de) ingredientes activos de plaguicidas, medidas en las muestras de aire activo (filtro), agrupadas por centros educativos inmersos y no inmersos: el porcentaje de las muestras con concentraciones detectables, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas detectados en más del 50% de las muestras.

Plaguicidas	LD (ng/m ³)	% > LD (n)	Inmersos (ng/m ³) (n=13, k=4)						No inmersos (ng/m ³) (n=3, k=1)						Valor p Fisher exact test (dos colas)	Valor p Wilcoxon / Kruskal-Wallis tests
			% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75	p90	% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75	p90		
Insecticidas																
Buprofesin	0,01	6% (1)	8% (1)	0,2	0,2				0							
Diazinon	0,01	12% (2)	8% (1)	0,01	0,01				33% (1)	<0,01	0,03					
Nematicidas																
Cadusafos	0,015	50% (8)	54% (7)	0,03	0,5	0,1	0,4	0,5	33% (1)	<0,01	0,08				p=0,50	p=0,27
Etoprofos	0,02	37% (6)	38% (5)	0,03	0,3				33% (1)	<0,02	0,05					
Terbufos	0,01	12% (2)	15% (2)	0,01	0,06				0							
Terbufos sulfone	0,03	31% (5)	38% (5)	0,03	0,24				0							
Carbofuran	0,01	6% (1)	8% (1)	0,26	0,26				0							
Fungicidas																
Pirimetanil	0,01	12% (2)	15% (2)	0,03	0,06				0							
Clorotalonil	0,01	31% (5)	31% (4)	0,1	2,1				33% (1)	<0,01	0,08					
Spiroxamina	0,02	75% (12)	77% (10)	0,03	0,46	0,1	0,2	0,4	66% (2)	<0,02	0,5	0,4	0,5	0,5	p=0.60	p=0.05
Epoconazol	0,1	6% (1)	8% (1)	0,1	0,1				0							
Difenoconazol	0,1	31% (5)	38% (5)	0,1	6,9				0							

Fuente: elaboración propia

D) Concentraciones (ng/m³) de (metabolitos de) ingredientes activos de plaguicidas, medidas en las muestras de polvo, agrupadas por centros educativos inmersos y no inmersos: el porcentaje de las muestras con concentraciones detectables, rango, y los percentiles 50, 75 y 90 para los (metabolitos de) plaguicidas detectados en más del 50% de las muestras.

Plaguicidas	LD (ng/m ³)	% > LD (n)	Inmersos (ug/g) (n=36, k=10)						No inmersos (ug(g) (n=6, k=2)					Valor p Fisher exact test	Valor p Wilcoxon / Kruskal-Wallis tests	
			% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75	p90	% > LD (n)	Mín	Máx	p50	p75			p90
Insecticidas																
Cipermetrina	1,5	4% (2)	6% (2)	2	2,6				0							
Nematicidas																
Terbufos sulfone	1	2% (1)	3% (1)	1,9	1,9				0							
Fungicidas																
Clorotalonil	0,5	50% (21)	56% (20)	1,5	209,35	12,8	33,9	109,8	17% (1)	1,7	1,7				p=0,09	p=0,13
Epoconazol	3,1	21% (9)	25% (9)	< 3,1	242				0							
Difenoconazol	5,5	16% (7)	19% (7)	< 5,5	77,7				0							
Spiroxamina	0,9	11% (5)	14% (5)	1,4	64,1				0							
Tebuconazol	3,6	7% (3)	8% (3)	3,7	35,3				0							
Pirimetanil	0,4	4% (2)	6% (2)	2	4				0							
Bitertanol	4,7	2% (1)	3% (1)	32,3	32,3				0							
Propiconazol	1,6	0	0	< 1,6	< 1,6				0							

Fuente: elaboración propia

Anexo 7: Promedios mensuales de datos climáticos de la estación meteorológica de Limón, 1941-2011

LIMON

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
Departamento de Información
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS

ESTACION **LIMON** **Aeropuerto.** No.810003 Lat. 10° 00' N Long. 83° 03' O Altitud 5 Metros

Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Annual
LLUVIA	1941-11	319.7	238.6	206.9	264.8	336.2	290.6	424.1	301.0	142.2	208.4	396.9	447.7	3577.1
DIAS LLUVIA	1941-11	19	16	17	16	19	19	22	19	14	17	18	21	217
TEM.MAXIMA	1970-11	28.9	29.1	29.7	30.1	30.4	30.3	29.7	30.1	30.6	30.4	29.4	28.9	29.8
TEM.MININIMA	1970-11	20.7	20.7	21.2	22.0	22.8	22.9	22.6	22.5	22.5	22.2	21.9	21.2	21.9
TEM.MEDIA	1970-11	24.8	24.9	25.5	26.1	26.6	26.6	26.2	26.3	26.6	26.3	25.7	25.1	25.9
BRILLO SOLAR	1969-10	5.1	5.4	5.8	5.7	5.2	4.4	3.8	4.7	5.3	5.4	4.5	4.7	5.0
PRESION	1969-06	1012.9	1013.1	1012.3	1011.7	1010.7	1010.6	1011.2	1010.9	1010.3	1010.1	1010.7	1011.8	1011.4
RADIACION	1969-01	13.1	14.4	15.7	15.8	15.1	13.0	12.6	13.8	14.4	14.3	12.7	11.9	13.9
HUMEDAD REL.	1970-11	88	87	85	85	87	88	89	88	86	87	88	88	87.2
VIENTO	1971-97	7.1(SO)	7.1(SO)	7.6(SO)	7.5(SO)	6.9(SO)	6.4(SO)	6.6(SO)	6.6(SO)	6.6(SO)	6.9(SO)	7.0(SO)	7.2(SO)	6.9(SO)

Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por M².
 Radiación Solar Global en megajulius
 Presión Barométrica en hectoPascuales
 Elaboración: ALL

Temperaturas en Grados Celsius
 Humedad Relativa en %
 Dias Con Lluvia >= 0.1
 Operada por el IMN.
 Brillo Solar en Horas y Décimas de Hora
 Viento en Kilómetros por Hora
 Dirección predominante del Sudeste.
 Ráfaga Máxima 86.0 Km/h.

Anexo 8: Promedios mensuales de datos climáticos de la estación meteorológica de Limón, 1997-2010

LIMON														
INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL														
DEPARTAMENTO DE INFORMACION														
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS														
ESTACION AEROP-LIMON			No.81005			Lat. 09° 57' N			Long. 83° 01' O			Altitud 7 m.		
Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Annual
LLUVIA	1997-2010	338,6	248,1	233,7	246,3	377,3	257,2	391,6	235,9	95,8	162,3	424,9	457,4	3469,1
DIA LLUVIA	1997-2010	21	16	17	16	19	19	22	18	14	17	20	21	220
TEM.MAX.	1997-2010	28,5	28,8	29,3	29,7	30,0	30,2	29,7	29,9	30,6	30,4	28,9	28,6	29,6
TEM.MIN.	1997-2010	21,0	21,1	21,6	22,2	23,0	23,1	22,7	22,8	22,7	22,7	22,2	21,6	22,2
TEM.MED.	1997-2010	24,8	25,0	25,5	26,0	26,5	26,7	26,2	26,4	26,7	26,6	25,6	25,1	25,9
VIENTO	1997-2010	7,9	7,7	8,4	8,3	7,7	7,7	7,4	7,4	7,7	8,1	8,7	8,2	7,9
HUMEDAD	1997-2010	88	86	85	85	87	87	88	88	85	86	88	88	87

Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por m².
 Viento en K/h. del SO todo el año. Ráfaga 78,9
 Elaboró: Frank Dias Con Lluvia => a 0.1 Mm. Humedad Relativa en %
 Estación Automática operada por el IMN. Temperatura en Grados Celsius