

UNIVERSIDAD NACIONAL COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR  
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**ESTRATEGIA PARA LA DISPOSICIÓN ADECUADA DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS  
GENERADOS POR PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES HORTÍCOLAS DEL  
CANTÓN DE ZARCERO, 2019-2020**

MARY PAZ JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

Heredia, Costa Rica

Enero, 2023

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, para optar al grado de Licenciatura en **Ingeniería en Gestión Ambiental**.

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

.....  
**Dra. Meylin Alvarado Sánchez**

**Representante Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar**

.....  
**M.Sc. José Félix Rojas Marín**  
**Representante de EDECA**

.....  
**Ph.D. Martha Orozco Aceves**  
**Tutora**

.....  
**M.Sc. Marisol Vidal Castillo**  
**Lectora**

.....  
**M.Sc Clemens Gerardus Ruepert**  
**Lector**

.....  
**Mary Paz Jiménez Domínguez**  
**Postulante del trabajo**

## **Resumen**

La principal actividad económica del cantón de Zarceró es la producción hortícola; gracias a sus condiciones climáticas, sin embargo, en los últimos años, se ha determinado que es una de las zonas donde se utiliza una mayor cantidad de plaguicidas. El uso intensivo de estas sustancias ha tenido efectos negativos en la salud humana y ecosistemas. Además de las aplicaciones de plaguicidas con fines sanitarios, en las fincas se realizan actividades como la manipulación de productos concentrados, preparación de mezclas y lavado de equipo y herramientas contaminadas con plaguicidas, todas con el potencial de generar residuos líquidos de plaguicidas. Las actividades anteriores generalmente se realizan en un sitio específico de la finca, el cual puede convertirse en una fuente puntual de contaminación, ya que pueden presentarse derrames accidentales o no accidentales, provocando la liberación de plaguicidas al ambiente.

En el presente trabajo final de graduación, se logró implementar la tecnología limpia de biocama, que es un dispositivo para retener y degradar residuos de plaguicidas líquidos. Las biocamas fueron construidas en cuatro fincas agrícolas del cantón de Zarceró, con el fin de validar su uso y eficiencia, adaptándolas según las necesidades y condiciones de cada finca.

Para validar la eficiencia de las biocamas se tomaron muestras de biomezcla a dos profundidades 15 y 30 cm por tres meses; una muestra por mes. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) para cuantificar las concentraciones de plaguicidas y comparar éstas entre las dos profundidades de muestreo. Se consideró indicio de degradación de plaguicidas cuando se presentaban concentraciones menores de plaguicidas a 30 cm en comparación a 15 cm de profundidad. Por otro lado, se realizó un proceso de investigación participativa con los agricultores para retrolimentar el diseño de la biocama y optimizar su funcionamiento, además de un proceso educativo con actividades presenciales y virtuales.

Se destaca como principal resultado que la biocama es una tecnología que se puede tropicalizar según las condiciones y características de cada finca. A partir de la detección de los plaguicidas en laboratorio y la información brindada por los agricultores, se determinó que la biocama tiene la capacidad de degradar plaguicidas que no se utilizan de manera intensiva como carbendazim y flutolanil y sucedió lo contrario con plaguicidas de uso intensivo como clorotalinol o clorpirifos, ya que es posible que estos superen la tasa de descomposición posible para el tipo de biocama implementada. Por otro lado, es fundamental la participación e involucramiento de las personas

agricultoras para la identificación de las mejoras en la tecnología de la biocama. Finalmente, es necesario considerar que la incorporación de la biocama en la práctica agrícola demanda de un proceso participativo y educativo-concientizador para reconocer el aporte que se puede generar al entorno y a los sistemas de producción agrícola.

**Palabras claves:** biomezcla, buenas prácticas agrícolas, contaminación puntual, degradación, personas agricultoras.

## **Agradecimientos**

Mi gratitud para mi tutora Ph.D. Martha Orozco Aceves y mis lectores la Dra. Marisol Vidal Castillo y MSc. Clemens Ruepert, por sus buenos criterios académicos que fueron indispensables para la finalización del Trabajo Final de Graduación, su disposición y por enseñarme a comprender los cambios que demanda la realidad.

Agradezco el apoyo técnico y tecnológico del Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) y sus personas siempre colaboradoras.

Al sector productor del cantón de Zarceró, gente que se esfuerza y trabaja siempre y mi corazón entero para los productores de las fincas del proyecto, por la oportunidad de compartir con ellos sus experiencias en campo que fueron invaluable.

A mis amigos y amigas emocionales por esta aventura en la Universidad.

Y un amor eterno a mi familia y personas especiales que me acompañaron en todo el camino.

Gracias a la vocación humana y social de la Universidad Nacional, ¡mi gratitud!

## Contenido

1. Introducción .....	11
1.1 Antecedentes .....	11
1.2 Problema de investigación.....	12
1.3 Justificación .....	13
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Marco teórico .....	16
3.1 Actividad agrícola en Costa Rica.....	16
3.1.1 Caso de Zarcero .....	17
3.2. Plaguicidas.....	17
3.2.1 Características generales .....	18
3.2.2 Uso de plaguicidas en Costa Rica.....	19
3.3 Contaminación por plaguicidas .....	20
3.3.1 Fuentes puntuales de contaminación .....	21
3.3.2 Buenas prácticas agrícolas (BPA) .....	22
3.4 Normativa .....	23
3.5 Efectos de los plaguicidas en el medioambiente y salud humana .....	25
3.6 Tecnologías limpias para manejo de residuos de plaguicidas .....	26
3.6.1 La biocama .....	26
4. Metodología .....	29
4.1 Tipo de enfoque, alcance y diseño .....	29
4.1.1 Enfoque del estudio .....	29
4.1.2 Alcance del estudio.....	29
4.1.3 Diseño metodológico .....	29
4.1.4 Selección de fincas .....	30
4.2 Proceso metodológico .....	31
4.2.1 Implementación de biocamas en fincas .....	31
4.2.2 Determinación de residuos de plaguicidas en biocamas.....	36
4.2.3 Análisis de funcionamiento y uso de las biocamas mediante investigación participativa. 40	
4.2.4 Construcción de módulo educativo .....	40

5.	Resultados y discusión.....	42
5.1.	Implementación de biocamas en fincas.....	42
5.1.1	<i>Caracterización de las fincas</i> .....	42
5.1.3	<i>Plaguicidas utilizados en las fincas</i> .....	47
5.4	Determinación de residuos de plaguicidas en biocamas .....	48
5.4.1	<i>Biocama Finca A</i> .....	50
5.4.2	<i>Biocama Finca B</i> .....	51
5.4.3	<i>Biocama Finca C</i> .....	56
5.4.4	<i>Biocama Finca D</i> .....	61
5.5	Análisis de funcionamiento y uso por investigación participativa .....	66
5.6	Proceso educativo sobre la biocama .....	73
6.	Conclusiones .....	82
7.	Recomendaciones.....	83
8.	Referencias.....	84
9.	Anexos .....	91

## Índice de figuras

Figura 1.	Principales cultivos de Costa Rica. Fuente: Bouroncle, et al. (2015). .....	16
Figura 2.	Rendimientos de la producción agrícola en el cantón de Zarcero. Fuente: MAG (2022)..	17
Figura 3.	Clasificación de plaguicidas según su composición química. Fuente: Díaz y Betancourt (2018).....	18
Figura 4.	Composición de la cama biológica original. Fuente: Castillo, et al. (2008). .....	28
Figura 5.	<i>Ubicación de las fincas en estudio</i> . Fuente: Mora y Ramírez, s.f. ....	30
Figura 6.	Materiales para la construcción de las biocamas: (A) estañón con llave incorporada, (B) arena y piedra, (C) carbón, (D) suelo, (E) abono orgánico y (F) residuos vegetales. ....	33
Figura 7.	Imágenes ilustrativas del final del proceso constructivo de las biocamas. ....	34
Figura 8.	Muestreo de biomezcla de biocama realizado en finca D.....	36
Figura 9.	Equipo y extractos de muestras. ....	38
Figura 10.	Actividades realizadas durante el proceso educativo sobre el tema de la biocama.....	42
Figura 11.	Línea de tiempo de sucesos ocurridos a la biocama A .....	50

Figura 12. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama A.....	51
Figura 13. Porcentaje de presencia de plaguicidas según acción biocida en la biocama B.....	52
Figura 14. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama B. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron encontrados a partir de los análisis de laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca. ....	53
Figura 15. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocama C a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes. ....	54
Figura 16. Concentración de linuron ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama B, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de linuron detectada. ....	55
Figura 17. Concentración de flutolanil ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama B, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de flutolanil detectada. ....	56
Figura 18. Porcentaje de presencia de plaguicidas según acción biocida en biocama de la finca C. ....	57
Figura 19. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama C. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron detectados en el laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca. ....	58
Figura 20. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocama C a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes. ....	58
Figura 21. Concentración de cipermetrina ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama C, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de cipermetrina detectada. ....	60
Figura 22. Concentración de clorotalonil ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama C, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de clorotalonil detectado. ....	61
Figura 23. Porcentaje de presencia de plaguicidas según la acción biocida en la biocama D.....	61
Figura 24. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama D. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron detectados en el laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca. ....	62
Figura 25. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocama D a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes. ....	63

Figura 26. Concentración de azoxistrobina ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama D, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de azoxistrobina detectado. ....	64
Figura 27. Concentración de clorotalonil ( $\mu\text{g/g}$ suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama D, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de clorotalonil detectado. ....	65
Figura 28. Niveles de material en la biocama: (A) es un nivel óptimo de material en la biocama; (B) se da una disminución del volumen de material en la biocama en el tiempo. ....	68
Figura 29. Biocamas experimentales en cada finca: (A) biocama A inundada; (B) biocama B construida fuera de la bodega al aire libre, pero cerrada herméticamente mediante lámina y peso; (C) biocama C inundada al final del estudio; y, (D) biocama D construida bajo techo. ....	69
Figura 30. Ejemplos de instalación de biocamas: (A) biocama al aire libre cercana a fuentes de agua; (B) biocama bajo techo. ....	70
Figura 31. Afiche informativo indicando los resultados más relevantes de la validación de la eficiencia de las biocamas. ....	71
Figura 32. Agricultores proponiendo mejoras al diseño de la biocama. ....	72
Figura 33 Actividades de socialización de la problemática del uso de plaguicidas, así como de la generación de residuos de estas sustancias en foros diversos: (A) Oficina local del Ministerio de Salud; (B) Colegio Técnico Profesional de Zarcero. ....	74
Figura 34. Material utilizado para el diálogo crítico-reflexivo-transformador sobre la temática de la biocama. ....	75
Figura 35. Afiche invitación a la charla sobre el uso de biocamas para el manejo de residuos de plaguicidas. ....	76
Figura 36. Participación en programa de la televisora local de Zarcero ZTC para informar sobre el tema de la biocama. ....	77
Figura 37. Sugerencias de modificaciones al sistema de biocama realizadas por el agricultor. ....	78
Figura 38. Diálogo con personas agricultoras. ....	80

## Índice de tablas

Tabla 1 Normativas relacionadas con la gestión de residuos de plaguicidas en Costa Rica. ....	24
Tabla 2 Características de biocamas según cada país. ....	28
Tabla 3 Características de la construcción de biocamas por finca. ....	34

Tabla 4 Registro de muestreos de las biocamas.....	37
Tabla 5 Proceso educativo desarrollado para trabajar el tema de la biocama con grupos de personas agricultoras.....	41
Tabla 6 Características de las fincas hortícolas en estudio.....	43
Tabla 7 Análisis comparativo de las características de las fincas de estudio. ....	46
Tabla 8 Uso y clasificación de toxicidad de los plaguicidas utilizados en las fincas en estudio.....	48
Tabla 9 Plaguicidas detectados en biomezclas de las biocamas A, B, C y D.....	49

### **Índice de anexos**

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos.....	91
Anexo 2. Imágenes ilustrativas sobre información brindada a productores.....	94
Anexo 3. Registro de vertido de plaguicidas en biocama.....	95
Anexo 4. Registro de recolección de muestras de biomezcla.....	96
Anexo 5. Cuestionario aplicado a productores participantes en la investigación.....	97
Anexo 6. Concentraciones de plaguicidas detectados en laboratorio.....	98

## **1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

Las biocamas consisten en una construcción sencilla que tiene la función de retener líquidos de plaguicidas, en caso de que ocurran derrames accidentales durante la manipulación de estos o para disponer residuos como aguas de lavado. En la biocama, los plaguicidas son degradados por la acción de microorganismos. Esta tecnología resulta necesaria en las fincas donde se usan plaguicidas y tiene la ventaja de poder adaptarse al contexto de estas según el tamaño, el tipo de producción agrícola, condiciones climáticas y disponibilidad de recursos (Guerra, 2020).

En el cantón de Zarcero ubicado en la provincia de Alajuela, Costa Rica, se han realizado esfuerzos por parte del Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) e Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) para promover la tecnología de la biocama en las fincas, con el fin de disponer de forma adecuada los residuos de plaguicidas. Sin embargo, el seguimiento para monitorear su eficiencia y realizar ajustes para optimizar su funcionamiento ha sido escaso por parte de las instituciones, por lo que las biocamas fueron finalmente abandonadas por las personas agricultoras. Por tanto, no se ha logrado concretar la investigación de campo, además, el uso y eficiencia de las biocamas instaladas en Zarcero no fue formalmente documentado o sistematizado.

En otros sitios del territorio nacional, se han realizado investigaciones de campo para evaluar la biocama. Una de estas se llevó a cabo en la zona de Los Santos ubicada al sureste del país, donde se implementaron biocamas a nivel del suelo en tres fincas modelo en las que se produce café y aguacate. En esta investigación, la biocama modelo se tropicalizó adaptando el modelo original de Suecia a las condiciones del lugar y para su construcción se utilizó bagazo de caña, compost y suelo; su eficiencia se midió a partir de las experiencias de las personas productoras. También se diagnosticaron las prácticas agrícolas asociadas al uso de plaguicidas y los riesgos al ambiente y la salud (Calvo y Molina, 2019).

El Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) también ha realizado investigación en condiciones controladas para evaluar la eficiencia de la biocama; específicamente, se valoró un sistema en estañones con recirculación. En dicho trabajo, se determinó la eficacia de diferentes tipos de biomezclas para degradar y retener residuos líquidos de plaguicidas. De las biomezclas probadas, la elaborada con pasto y lombricompost fue la más eficiente, según el porcentaje de degradación de imidacloprid (Chavarría, 2015).

También, el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) ha trabajado con agricultores de Tierra Blanca de Cartago, con el fin de impulsar el uso de biocamas para tratar adecuadamente los residuos de plaguicidas generados en sus fincas. En este caso, las biocamas se construyeron con materiales como suelo, fibra de coco y compost, los cuales tienen una gran capacidad de degradación de plaguicidas (Blanco, 2017). Por último, en una investigación realizada en la Finca Santa Lucía de la Universidad Nacional, se mostró que las biocamas construidas en estañones con abonos orgánicos, residuos vegetales, granza y suelo, presentan una alta eficiencia en la degradación de plaguicidas como el clorotalonil (Jiménez, 2018).

A nivel internacional, existen varias investigaciones que han evaluado la eficiencia de la biocama en la degradación de plaguicidas. Castillo et al. (2008) indican que la biocama se originó en Suecia con el objetivo de encontrar un método simple y eficiente para reducir la contaminación por residuos de plaguicidas. La tecnología se fue expandiendo a otros países europeos como Francia y Bélgica, y, posteriormente, al continente americano, en Perú, Guatemala, entre otros. En América Latina, la biocama se ha adaptado para ser simple, eficiente y de bajo costo, para ser funcional en el contexto de la prevalencia de fincas pequeñas y medianas. En estas fincas, las actividades para las cuales la biocama es necesaria son aquellas relacionadas con la manipulación de plaguicidas concentrados (medición, trasvase) y disposición de residuos (recepción de agua de lavado de equipos de aplicación o de triple lavado de envases vacíos).

## **1.2 Problema de investigación**

La pregunta central que dio origen a la presente investigación fue: ¿de qué manera pueden las biocamas ser parte de una estrategia para tratar los residuos de plaguicidas generados por pequeños y medianos productores hortícolas del cantón de Zarcero? La necesidad de disponer de manera adecuada los residuos de plaguicidas se ha hecho más evidente en el contexto de la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y, desde el punto de vista ambiental, la biocama se presenta como una solución viable y efectiva que puede contribuir a mitigar la contaminación generada por los plaguicidas y cuidar el entorno.

El modelo de producción agrícola que domina en Costa Rica incluye el uso intensivo de plaguicidas, algunos clasificados como altamente peligrosos (SEPSA, 2019); lo que genera que se busquen métodos para tratar los residuos de estas sustancias que actualmente no son tratadas de alguna manera. En las fincas, las zonas de manipulación de plaguicidas, por ejemplo, preparación de mezclas, llenado de equipos y áreas de desecho; se consideran fuentes puntuales de contaminación, ya que en estas

zonas pueden ocurrir derrames accidentales o no accidentales, liberándose plaguicidas al ambiente (al suelo, posteriormente a los cuerpos de agua o mantos acuíferos) que no forman parte de aplicaciones con fines de manejo fitosanitario de los cultivos (Palma, et al., 2013).

Por otro lado, es importante considerar que la incorporación de la biocama en la práctica agrícola demanda de un proceso educativo-concientizador para reconocer el aporte que se puede generar al entorno y a los sistemas de producción agrícola. El proceso demanda comprender la responsabilidad social que requiere la práctica agrícola, así como conocer la tecnología, su manejo, funcionamiento y el seguimiento para dar sostenibilidad en el tiempo. El IRET de manera colaborativa con otras facultades, desde el trabajo interdisciplinario, ha acumulado experiencia en esta tarea, ya que ha acompañado a los pequeños y medianos productores en la implementación de diversas tecnologías limpias, además de la biocama; por ejemplo, sistemas de saneamiento básico rural, biojardineras y sanitario seco (IRET, 2018).

Debido a lo anterior, la presente investigación busca evaluar la biocama que constituye una tecnología sencilla, efectiva, económica y viable de aplicarse en el campo, para disponer de manera adecuada los residuos de plaguicidas de uso agrícola en la zona de Zarcero. Esto es avalado por la legislación vigente, debido a la existencia de diferentes normativas, reglamentos y leyes que regulan lo referente a las aguas residuales contaminadas.

### **1.3 Justificación**

El incremento de los monocultivos ha provocado una mayor rentabilidad y producción, pero también el uso de sustancias peligrosas como los plaguicidas para el control rápido y efectivo de plagas y enfermedades agrícolas. Esta forma de manejo de problemas fitosanitarios de cultivos ha sido económica, sin embargo, el uso inadecuado de dichas sustancias ha causado severos daños ambientales (Córdova, et al., 2017). La aplicación de plaguicidas afecta el suelo, ya que en algunos casos la adsorción de estos a las partículas edáficas es muy fuerte, provocando una alta persistencia; en otros casos, el plaguicida corre arrastrado por la escorrentía llegando a cuerpos de agua (Montoro et al., 2009).

Para mitigar la contaminación por plaguicidas diversos entes internacionales como la Organización para Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) han planteado la necesidad de implementar métodos alternativos a plaguicidas e idealmente prácticas agrícolas con enfoques ecológicos (FAO, 2019 y OMS, 2019). No obstante, el proceso de transición hacia una agricultura limpia tomará varios años. Mientras tanto, es una necesidad crítica minimizar la liberación de

plaguicidas al ambiente, sobre todo, aquellos que no forman parte de una aplicación sanitaria, sino que se generan a partir de fuentes puntuales de contaminación en las fincas. Para lo anterior, es necesario desarrollar tecnologías efectivas, sencillas y económicas de aplicarse en campo mediante procesos que eduquen y concienticen, una de estas es la biocama.

La biocama fue creada para contener derrames accidentales o no accidentales. Los accidentales, por ejemplo, son los que ocurren durante la manipulación de plaguicidas concentrados, esto es porque los productos se manejan sobre la superficie de la biocama. Por su parte, los derrames no accidentales son aquellos que ocurren cuando se desechan residuos de plaguicidas o aguas de lavado de equipos de aplicación, lo cual se realiza, generalmente, en el suelo. En la biocama, los plaguicidas son retenidos y degradados microbiológicamente (Castillo, et al., 2008).

La información que existe en la actualidad sobre la tecnología de biocamas se enfoca, principalmente, en ensayos de laboratorio a pequeña escala, en condiciones controladas, lo que no permite conocer la eficiencia de una biocama en condiciones reales de uso, al ser utilizada por personas agricultoras y depositando las cantidades de residuos líquidos de plaguicidas que utilizan semanalmente. Con base en lo anterior, el presente trabajo evaluó el funcionamiento y usabilidad de la biocama en la zona de Zarcero, debido a que, según Ramírez (2015), es una de las principales áreas del país que depende altamente de los plaguicidas para la producción. Estas sustancias se usan en altas cantidades, además de que se han identificado prácticas inadecuadas de manejo y también de disposición de residuos. Todo lo anterior ha provocado una mayor carga ambiental de contaminantes en los ecosistemas.

Entre las ventajas se pueden destacar que, para la construcción de la biocama, es posible utilizar materiales locales, microorganismos nativos, que poseen un bajo costo, rapidez y equipo accesible para su construcción (Castillo, et al., 2008).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

- Desarrollar una estrategia para la disposición adecuada de residuos de plaguicidas generados en fincas hortícolas del cantón de Zarcero, por medio de la tecnología de biocamas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la eficiencia de las biocamas por medio de la implementación en fincas del cantón de Zarcero para su respectiva validación.
- Analizar el funcionamiento y uso de las biocamas implementadas en el cantón de Zarcero, por medio de la investigación participativa para la realimentación del diseño.
- Establecer un módulo educativo para la disposición adecuada de residuos de plaguicidas mediante uso de biocamas, con base en la información obtenida de las actividades anteriores.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Actividad agrícola en Costa Rica

En Costa Rica, la producción agrícola es una de las actividades de mayor importancia para el desarrollo económico del país. Según el VI Censo Nacional Agropecuario (2015), se han identificado aproximadamente 60 626 fincas con actividades agrícolas de producción de arroz, café, hortalizas, banano, palma aceitera y caña de azúcar; siendo el cultivo de arroz el que posee una mayor extensión de área sembrada, principalmente, en los cantones de Liberia y Upala.

Las áreas de cultivo del Gran Área Metropolitana (GAM) se caracterizan por la producción de café, hortalizas y ornamentales. En las provincias de Alajuela y Cartago, existe una mayor actividad con alrededor de 34% y 33% de áreas productivas, respectivamente. Por otro lado, Heredia presenta un 21% y San José un 12%. Cartago predomina en cuanto a la producción de hortalizas con alrededor de 12 533 ha (Durán y Wei, 2015). La figura 1, muestra 52 de los 82 cantones que posee Costa Rica, los cuales son de importancia agrícola. A nivel nacional, se da la tendencia de una concentración del territorio en cultivos agroindustriales, una disminución en las áreas sembradas de granos básicos y poco territorio para actividades orgánicas certificadas (Chacón, 2019).

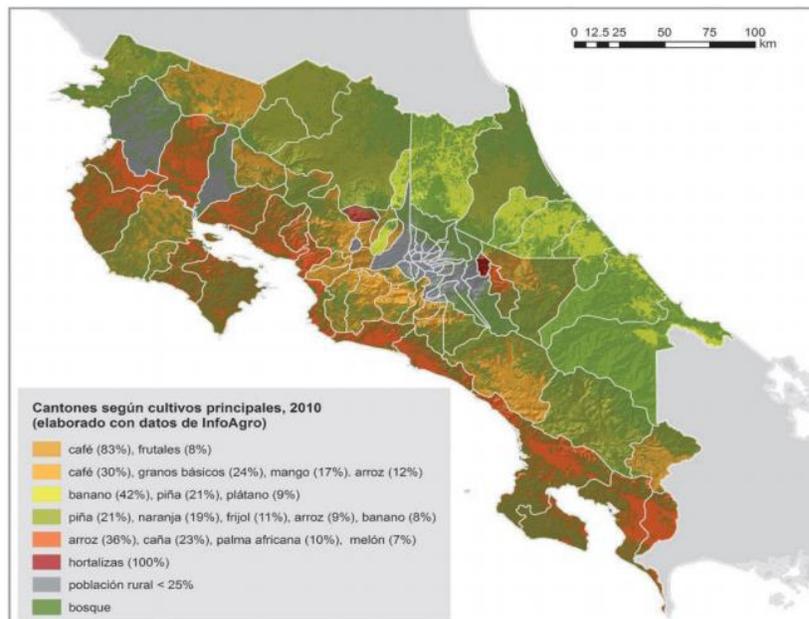


Figura 1. Principales cultivos de Costa Rica. Fuente: Bouroncle, et al. (2015).

### 3.1.1 Caso de Zarcero

El cantón de Zarcero es el número 11 de la provincia de Alajuela, conformado por distritos como Zarcero, Laguna, Tapezco, Guadalupe Norte y Sur, y Palmira Norte y Sur. La población se dedica principalmente a las actividades agropecuarias, en especial a la producción hortícola (Municipalidad de Zarcero, 2016), con una de las mayores extensiones sembradas de papa con 594,1 ha y zanahoria con 176,3 ha (INEC, 2015). Zarcero también se caracteriza por producir grandes cantidades de leche y sus derivados. La Figura 2 muestra los rendimientos de la producción por toneladas/hectárea en el año 2021 según cada tipo de cultivo en Zarcero.



Figura 2. Rendimientos de la producción agrícola en el cantón de Zarcero. Fuente: MAG (2022).

Es importante mencionar que los cultivos de tomate y chile dulce representan los mayores rendimientos durante el 2021, con aproximadamente 80 y 100 toneladas/hectárea, respectivamente. En muchos casos, la alta productividad responde al uso intensivo de plaguicidas.

### 3.2. Plaguicidas

El desarrollo del sector agrícola nacional se ha basado, principalmente, en la utilización de plaguicidas, los cuales tienen el propósito de aumentar la cantidad de producción y rendimiento de los cultivos, mediante la eliminación de organismos plaga y patógenos que causan enfermedades. Un plaguicida se define, según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2018), como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias que tienen como objetivo prevenir, destruir, repeler o controlar una plaga; en la agricultura, se utilizan para controlar malezas, la infestación de insectos y las enfermedades”. Además, se pueden identificar como contaminantes que persisten, ya que poseen la

capacidad de retener sus características fisicoquímicas en el medio en el que se encuentran. Otros autores como Córdova, et al. (2017) los definen como “sustancias tóxicas empleadas para el control y eliminación de plagas, enfermedades y sus posibles vectores”.

### 3.2.1 Características generales

Los plaguicidas se utilizan para el control de insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, entre otros; según Pérez y Forbes (2016), se pueden clasificar de acuerdo con su acción biocida en insecticidas para el control de insectos; fungicidas, para el control de hongos; herbicidas, que controlan las malas hierbas; nematicidas para manejo de nemátodos y molusquicidas para disminución de poblaciones de caracoles y babosas.

Los plaguicidas también se clasifican según su naturaleza en organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y neonicotinoides (Díaz y Betancourt, 2018) (Figura 3). Las características químicas de un plaguicida le confieren propiedades que los hacen sustancias peligrosas, cuyo uso constituye riesgos potenciales para humanos, animales y el ambiente en general.

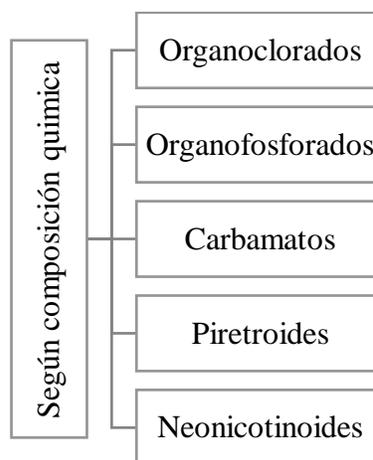


Figura 3. Clasificación de plaguicidas según su composición química. Fuente: Díaz y Betancourt (2018).

Algunas características de los plaguicidas anteriores son (Díaz y Betancourt, 2018):

- Organoclorados: son insecticidas, se trata de sustancias químicamente estables, persistentes en el ambiente, con alta presencia de residuos en el suelo y alta toxicidad, la mayor parte son prohibidos en diferentes países, debido a las características anteriores. Según Leal, et al. (2013), los organoclorados son utilizados en la producción agrícola a nivel mundial, pero se consideran compuestos orgánicos persistentes (COPs); presentan una gran toxicidad y su

degradación requiere desde meses hasta aproximadamente 25 años para que se conviertan en una forma menos dañina. Además, pueden bioacumularse en cadenas tróficas, depositarse en el suelo y dispersarse a grandes distancias. Entre estos se pueden mencionar plaguicidas como aldrín, endrín, hexaclorobenceno, endosulfán, entre otros.

- Organofosforados: utilizados para combatir insectos y parásitos de las plantas, son tóxicos para los vertebrados.
- Carbamatos: provocan gran contaminación en cuerpos de agua, suelo y alimentos, además, son principalmente fungicidas.
- Piretroides: poseen poca acumulación en el medioambiente y controlan los insectos plaga.
- Neonicotinoides: son insecticidas conocidos por ser de bajo riesgo, sin embargo, son muy estudiados por sus efectos negativos en las abejas.

A su vez, los plaguicidas de diversa naturaleza química son agrupados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuatro grandes grupos, según su grado de toxicidad, estos son: IA extremadamente tóxicos, IB altamente tóxicos, II moderadamente tóxicos y III ligeramente tóxicos; según su capacidad de generar un daño, basado en la dosis letal media o DL<sub>50</sub> (Gordon y Marrugo, 2018).

### **3.2.2 Uso de plaguicidas en Costa Rica**

En Costa Rica, la agricultura representa una de las principales actividades económicas; sin embargo, está fuertemente asociada con el uso excesivo de plaguicidas, lo que ha provocado un impacto ambiental significativo, que se agrava por diferentes factores como las cantidades de aplicación, frecuencia, movilidad, solubilidad y las características físicas y químicas de estas sustancias. En el país se ha ido incrementando el uso de plaguicidas por la presencia de poblaciones de insectos plaga resistentes y por las exigencias estéticas impuestas por el mercado internacional y, en alguna medida, por el nacional. Por estas razones, Vargas (2021) del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) indica que, entre los años 2012-2020, el uso aparente promedio anual de plaguicidas en el país fue de 18 226 kg de ingrediente activo (i.a) y 9 kg i.a/ha/año, lo que representa un alto uso de plaguicidas en la agricultura, mayor a países con condiciones agrícolas similares como Colombia, Ecuador y Guatemala.

La importación de plaguicidas también ha ido incrementándose; por ejemplo, los plaguicidas de mayor importación en 2019 fueron mancozeb, glifosato, paraquat, diazinon, entre otros; siendo algunos de estos extremadamente tóxicos, lo que genera una mayor problemática (Calvo y Molina, 2019). En

términos cuantitativos, se estima la importación de aproximadamente 8 019,9 ton i.a de plaguicidas entre los años 2008 y 2012, y el promedio anual de aplicación de plaguicidas en el país es de 14,7 kg ia/ha (Calvo y Molina, 2019).

Uno de los cantones a nivel nacional donde se han realizado diferentes investigaciones sobre el uso de plaguicidas y las prácticas agrícolas asociadas a estos es Zarceró; en este cantón, los cultivos donde se ha identificado el mayor uso de estos químicos (en kg de i.a/ha/ciclo de cultivo) son la papa (41,2), cebolla (37,6) y zanahoria (15,3), con una mayor presencia de clorotalonil, cipermetrina, mancozeb y clorpirifos (IRET, 2018). El uso de plaguicidas en cultivos para los cuales no están registrados en el país es un hecho común en la zona, además, es frecuente su utilización de manera preventiva; es decir, no se realiza un monitoreo de problemas fitosanitarios para tomar decisiones de aplicación en momentos críticos. Estas y otras prácticas inadecuadas han evidenciado en la zona la no realización de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) (IRET, 2018). Un ejemplo de cultivo donde se utiliza gran cantidad de plaguicidas es el tomate, siendo una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial, en tomate es frecuente encontrar cantidades variables de residuos de plaguicidas, como aldrín, heptacloro, endosulfan y metoxicloro (García, et al., 2017).

El escenario expuesto revela la urgente necesidad de que el Estado costarricense defina políticas que aporten cambios en las tendencias productivas nacionales sobre el uso de plaguicidas que afectan los ecosistemas y salud humana. Además, se demanda un proceso educativo crítico para generar conciencia ciudadana sobre la relevancia de generar una producción agrícola limpia, saludable y sustentable.

### **3.3 Contaminación por plaguicidas**

En los últimos años, la contaminación por plaguicidas es un tema de alarma a nivel mundial, debido a que existe una mayor conciencia sobre los riesgos ambientales asociados; sin embargo, la aplicación de estas sustancias en muchos casos es necesaria para proteger los cultivos y controlar los vectores de enfermedades. Además, el constante uso de estos compuestos químicos ha generado efectos negativos en el medioambiente, como la contaminación del suelo y efectos adversos en la salud humana. Diversas investigaciones han corroborado que gran cantidad de plaguicidas aplicados no llegan a alcanzar a los organismos que se desean combatir, solo un porcentaje aproximado de 0,1% (IRET, 2018).

Según Hernández y Hansen (2011), los plaguicidas pueden llegar a cuerpos de agua por la infiltración, escurrimiento y erosión, en los diferentes espacios donde se han aplicado. Por otro lado, se pueden

movilizar por transporte atmosférico hasta llegar a contaminar sedimentos y el agua. Una investigación realizada por el proyecto Infantes y Salud (ISA) del IRET demostró en 2015 que los plaguicidas también pueden provocar contaminación ambiental aérea. Por su parte, un estudio realizado en centros educativos del cantón de Matina, Limón, reveló la presencia de diez plaguicidas en muestras de aire tomadas con un muestreador pasivo, de los cuales seis eran fungicidas y cuatro insecticidas/nematicidas organofosforados, como el clorpirifos, diazinon, etoprofos, entre otros (Córdoba, et al., 2020). Este tipo de contaminación representa un alto riesgo para la salud de la población infantil y personas trabajadoras.

En el cantón de Zarceró, se utiliza una amplia gama de plaguicidas peligrosos como clorotalonil, clorpirifos, mancozeb y cipermetrina. A partir de una investigación realizada, se encontró que el uso intensivo de estas sustancias provocó un alto nivel de contaminación en los arroyos, indicando un riesgo importante para la vida acuática. Además, se detectaron 84 compuestos en aguas superficiales de quebradas del río Tapezco como flutolanil, clorpirifos, dimetoato, entre otros; y en los tanques de agua para consumo humano, se detectaron ocho plaguicidas que estaban en niveles por debajo del límite recomendado (Mora y Ramírez, s.f.).

Por otro lado, Ramírez et al. (2017) mencionan que se han logrado detectar residuos de tres o más plaguicidas en muestras de suelo en el cantón de Zarceró, principalmente, en terrenos con siembras de brócoli, espinaca y remolacha. Plaguicidas como clorotalonil, flutolanil y cipermetrina fueron los que se reportaron con mayores concentraciones, los cuales pueden representar persistencia en el suelo ocasionando problemas en los ecosistemas.

### **3.3.1 Fuentes puntuales de contaminación**

La contaminación ambiental por plaguicidas puede clasificarse en difusa o puntual. La primera es aquella que no posee un punto de origen y provienen de fuentes que no son discernibles o precisas (Rojas, 2016). Por otro lado, el presente proyecto se enfoca en la contaminación puntual, la cual se da por derrames que ocurren en lugares específicos de las fincas productoras; por ejemplo, cuando se prepararan mezclas, lavan equipos o tanques-contenedores. Los residuos son depositados en el suelo, desde donde se pueden dispersar y transformar en contaminantes (Córdoba, et al., 2017).

Según Castillo et al. (2008), existen tres actividades críticas en la utilización de plaguicidas; una es el vertido de concentraciones de plaguicidas en los equipos de aspersión y sus diluciones. La segunda es la aspersión en el suelo y la tercera es el manejo de los residuos de plaguicidas tanto en los equipos como en envases, por lo que son diferentes actividades que requieren especial cuidado y control para

evitar contaminación, ya que, por ejemplo, los derrames de pequeñas cantidades de plaguicidas concentrados (durante la operación de medición o trasvase) poseen cantidades de i.a que pueden llegar a ser de hasta un gramo, lo que es equivalente a una ton/ha. Por esta razón, las fuentes puntuales de contaminación se consideran de gran impacto ambiental; no obstante, son prevenibles considerando las medidas correctivas necesarias.

### **3.3.2 Buenas prácticas agrícolas (BPA)**

La problemática asociada al uso y manejo de plaguicidas en las fincas ha provocado dependencia, resistencia de plagas y patógenos y afectaciones a la biodiversidad, por lo que se ha propuesto la implementación de las BPA (Somoza, et al., 2018). Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008), “son todas aquellas prácticas aplicadas en la producción agropecuaria que buscan evitar o reducir los daños ambientales, procurar la adecuada productividad de las actividades y a la vez obtener productos inocuos para las personas que los consumen”. Estas tienen como fin establecer los criterios básicos y generales que se deben realizar en la producción agrícola, para evitar riesgos al ambiente y salud humana. Las BPA consideran temas como los siguientes:

- Principios y valores de la vida campesina
- Uso y protección del agua
- Planes de conservación del suelo
- Análisis de suelos y agua
- Manejo adecuado de plaguicidas y control de plagas

Lo anterior promueve beneficios relacionados con la obtención de un valor añadido de los productos generados por pequeños y medianos productores, así como una mejor calidad, ya que se producen de forma sostenible y la población en general disfruta de un ambiente sano. Las BPA permiten que los productores conozcan las características de su finca e identifiquen riesgos; implementen prácticas como la calibración de equipos; se informen sobre los químicos utilizados; planeen la frecuencia de aplicación; revisen el funcionamiento de los equipos; seleccionen plaguicidas menos dañinos; eviten la contaminación por operaciones de trasvase, mezcla o lavado de equipos (MAG, 2008).

En muchos casos, la mala disposición de los residuos de plaguicidas se debe al desconocimiento sobre los efectos negativos que pueden causar o por la falta de información y de tecnologías sencillas para dar tratamiento a estos residuos; por lo que las BPA cumplen un papel importante para realizar acciones adecuadas para cada tipo de actividad que realicen los productores, además del cumplimiento de la legislación nacional, incluyendo los diferentes reglamentos y normativas relacionadas.

### **3.4 Normativa**

En Costa Rica, existe normativa que regula la disposición de residuos líquidos de plaguicidas, entre estos, el Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (2013), el cual considera aquellos contaminantes que poseen una combinación de propiedades fisicoquímicas, con características de alta persistencia, distribución a través del ambiente y generación de riesgos a la salud humana y medioambiente. A partir de esta consideración, la gestión integral de residuos peligrosos toma un papel fundamental para su cumplimiento y se define como:

Conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región. (Poder Ejecutivo, 2013)

El Reglamento sobre las características y listado de los desechos peligrosos industriales menciona que la fabricación de abonos, plaguicidas y los desechos relacionados a esta industria se clasifican como residuos peligrosos (Poder Ejecutivo, 1998). Además, Costa Rica cuenta con normativas estrechamente relacionadas con la contaminación por plaguicidas, las cuales tienen el propósito de proteger el ambiente y la salud humana. Los instrumentos legales y su aplicabilidad específicamente relacionados al presente trabajo se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1

*Normativas relacionadas con la gestión de residuos de plaguicidas en Costa Rica.*

Instrumento legal	Aplicabilidad
Ley Orgánica del Ambiente, N.º 7554, Arts. 53, 60,65, 66 y 69	Busca proteger el suelo a partir del control de las prácticas que provoquen erosión o degradación de este; previene y controla la contaminación del ambiente mediante la recolección y manejo de desechos y el control de sustancias químicas. Además, se menciona que las aguas residuales de cualquier origen deben recibir algún tipo de tratamiento antes de ser descargadas a cuerpos de agua; el responsable de lo anterior es quien produzca la contaminación, de igual manera sucede para la disposición de residuos en suelos.
Ley General de Salud N.º 5395, Arts. 263, 275	Se prohíbe toda acción, práctica u operación que deteriore el medioambiente natural, especialmente el aire, agua y suelo donde se genere una disminución de la calidad y estética. Lo anterior, por medio de acciones como el drenaje o descarga de residuos o desechos de cualquier naturaleza que altere las características de los recursos.
Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales N.º 33601, Arts. 4 y 65	Es una obligación tratar las aguas residuales que se generen para evitar perjuicios al ambiente, salud y bienestar humano y se prohíbe la infiltración o vertido en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado, las aguas residuales o desechos de plaguicidas.
Reglamento de Salud Ocupacional para el Manejo y Uso de Agroquímicos N.º 33507, Arts. 6, 13, 16, 26	Se estipula que todo patrono, intermediario o contratista debe utilizar solo productos agroquímicos registrados ante el Servicio Fitosanitario del Estado, que no estén vencidos o prohibidos. Además, conforme a las disposiciones del Ministerio de Salud, deben contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales. Estos residuos (inclusive aguas de lavado de equipos) deben ser

---

	recolectados adecuadamente y ser dispuestos en el sistema.
Reglamento de aprobación de sistemas de tratamiento de aguas residuales N.º 39887-S.MINAE, Arts., 1 y 12	Proteger la salud pública y ambiente mediante la gestión racional y adecuada de las aguas residuales, además, la ubicación del sistema de tratamiento debe ser de fácil acceso y maniobra para el personal involucrado.

---

### **3.5 Efectos de los plaguicidas en el medioambiente y salud humana**

Los plaguicidas pueden provocar efectos negativos en el medioambiente, ya que no solo perturban el suelo, sino también por escorrentía; pueden llegar a fuentes de agua, contaminando estos cuerpos, a las especies acuáticas y a las personas por su consumo. Los daños están relacionados con la adsorción, activación y distribución de los mismos (Córdova, et al., 2017). Estos efectos adversos en la biodiversidad, la poca permeabilidad de los suelos y el incremento de plagas y enfermedades provocan la degradación de los agroecosistemas. Según Calvo y Molina (2019), alrededor de un 47% de los plaguicidas aplicados se depositan en cuerpos de agua y en el suelo, siendo de esa manera uno de los contaminantes más importantes en suelos agrícolas, debido a que poseen una dinámica y un destino que es definido por sus características físicas y químicas, además de interactuar de diferentes modos en el ambiente, provocando efectos en la salud del ecosistema.

Por otro lado, una inadecuada manipulación de los plaguicidas puede provocar intoxicaciones, enfermedades vasculares y desórdenes neuropsiquiátricos, siendo así una problemática grave a nivel mundial (Tovar, et al., 2015). Las enfermedades relacionadas con la exposición a plaguicidas pueden ser también la leucemia, cáncer (próstata, estómago, piel, cerebral y testicular), mieloma múltiple y sarcoma en tejidos blandos. Además, los principales cuadros clínicos agudos son la pérdida de conocimiento, espasmos musculares, deficiencia respiratoria y vómitos (Molina, et al., 2012; Montoro, et al., 2009). Estos efectos en la salud se pueden generar a través de diferentes vías de exposición como la digestiva, dérmica y respiratoria.

La exposición a plaguicidas se da, principalmente, en el ámbito ocupacional, sin embargo, toda la población puede verse afectada ya sea por los alimentos, ambiente o cercanía a producciones agrícolas. Según Muñoz et al. (2014), los niños y niñas poseen una mayor vulnerabilidad a este tipo de sustancias, cuando son expuestos a plaguicidas organofosforados y organoclorados llegando a presentar daños cognitivos, neuroconductuales, endocrinos y fisiológicos.

Díaz y Betancourt (2018) mencionan que cada año se presentan muertes y enfermedades a nivel mundial a causa del envenenamiento por plaguicidas de aproximadamente un millón de personas. Así mismo, el uso de plaguicidas ha producido una disminución de poblaciones de abejas afectando la polinización de los cultivos y causando disminución del rendimiento de estos. Por otro lado, los plaguicidas pueden llegar a grupos base de las cadenas alimenticias e ir acumulándose en organismos de niveles tróficos superiores hasta encontrarse en una concentración letal para estos (Del Puerto, et al., 2014).

### **3.6 Tecnologías limpias para manejo de residuos de plaguicidas**

Las tecnologías limpias buscan mitigar las malas prácticas agrícolas, como es el caso de la inadecuada disposición de residuos de plaguicidas; ya sea en forma concentrada o en mezclas. Estas alternativas responden a condiciones y recursos específicos, con el fin de evitar mayores problemas ambientales y de la salud humana (Hidalgo, et al., 2015). Según Cuevas et al. (2016), una tecnología limpia genera beneficios cuando se cambia la manera en la que se practica la agricultura, desde una visión ambiental. Según la Agenda 21, las tecnologías limpias consisten en procesos y productos que buscan proteger el ambiente, generar una menor contaminación, tratar los residuos y utilizar los recursos de forma sustentable (Flores y Chacón, 2009).

Existen diferentes tecnologías limpias que tienen el propósito de mitigar la contaminación, cada una de estas presenta características y fines específicos, los cuales pueden implementarse en un programa de BPA; por ejemplo, las biojardineras, las cuales, según Quintero (2014) son sistemas de tratamiento de aguas residuales que tienen la capacidad de remover metales pesados y plaguicidas, por medio de procesos de sedimentación, absorción y metabolismo bacteriano, siendo un sistema vivo. También existen las plantas de tratamiento, que pueden remover los contaminantes del agua que son generados por procesos domésticos e industriales para evitar peligros a la salud humana y medioambiente (Barrantes y Cartín, 2017). Por otro lado, la tecnología limpia de la biocama es un sistema sencillo que tiene la función de retener y degradar plaguicidas durante la manipulación y disposición de residuos de mezclas de dichas sustancias (Córdova, et al., 2017).

#### **3.6.1 La biocama**

Castillo et al. (2016) mencionan que la biocama es un sistema de biorremediación viable para fincas agrícolas, con la finalidad de dar un tratamiento adecuado a los residuos de plaguicidas que se generan. Es una tecnología que tiene como función contener los residuos y degradarlos por medio de la actividad microbiana. Para esto, la biocama debe construirse con materiales que posean y promuevan

una cantidad y diversidad alta de microorganismos; el material que sustenta la comunidad microbiana es la biomezcla. La eficiencia de este tipo de alternativa se basa en la capacidad de retener y degradar estos químicos que son dispuestos en ella (Góngora, et al., 2018).

La biomezcla se fabrica con abono orgánico y residuos vegetales, ya que son materiales ricos en carbono para promover una gran concentración de microorganismos que realicen la degradación de compuestos xenobióticos, mediante diversas actividades enzimáticas que pueden oxidar e hidrolizar los plaguicidas (Castellano, 2012). Además, en la biocama se colocan otros materiales como suelo, carbón, arena y piedra (Castillo, et al., 2016). Adicionalmente, las biocamas pueden inocularse con microorganismos degradadores de plaguicidas, por ejemplo, los hongos de la pudrición blanca, con lo cual se promueve la presencia de enzimas como la fenoloxidasa que intervienen en la degradación de residuos de plaguicidas (Cooper, et al., 2016).

Las condiciones ambientales tienen una gran influencia en el funcionamiento de las biocamas, según Córdava et al. (2017), la densidad, composición del consorcio bacteriano, cantidad de agua presente y temperatura son importantes en el funcionamiento de esta. El control de la humedad es fundamental, debido a que, si es excesiva, la proliferación de microorganismos puede no ser efectiva porque se limita el intercambio gaseoso y la cantidad de oxígeno disponible. Según Calvo y Molina (2019), el proceso de degradación de los plaguicidas se puede detectar desde las primeras semanas de haber realizado el vertido de plaguicidas en la biocama y hasta 12 meses después; esto depende de condiciones como el clima, los materiales y los i.a que fueron utilizados. Finalmente, la eficiencia de la biocama puede ser medida a partir de la toma de muestras de biomezcla o lixiviados presentes, para monitorear la cantidad residual de plaguicidas.

La biocama se creó en Suecia, actualmente, existen diferentes diseños en distintos países, los cuales son el resultado de la adaptación de la tecnología a las condiciones de cada lugar y a los materiales disponibles (Castillo, et al., 2008). El modelo original sueco contiene un porcentaje de biomezcla preparada con materiales como paja, turba y suelo en proporciones 50:25:25 (v/v); cada uno de estos materiales posee un rol importante (Figura 4). Por su parte, la paja es el sustrato principal, ya que su alto contenido de celulosa incentiva la presencia de hongos de la pudrición blanca. El suelo posee la capacidad de absorber plaguicidas y constituye un sustrato para promover la actividad microbiana. Por último, la turba controla la humedad y el pH de la biomezcla (Castillo, et al., 2008). La Tabla 2 resume las características de las biocamas desarrolladas en diferentes países:

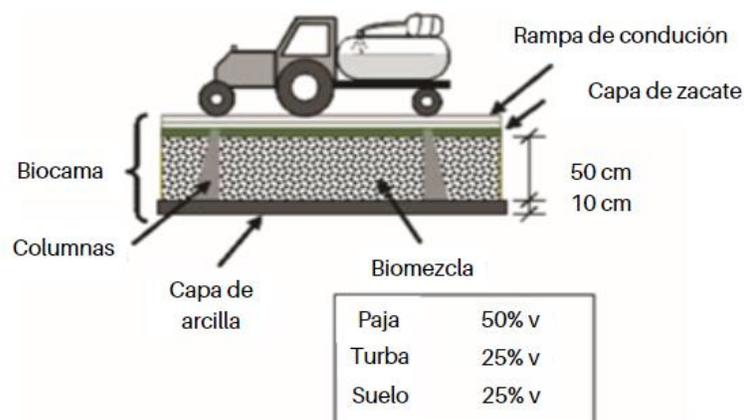


Figura 4. Composición de la cama biológica original. Fuente: Castillo, et al. (2008).

Tabla 2

*Características de biocamas según cada país.*

Lugar	Características
<b>Bélgica</b>	Llamadas biofiltros, en este país son creadas en contenedores con recirculación. El sistema está compuesto por suelo, paja picada y turba y, en algunos casos, las plantas pueden ser incluidas para mantener la humedad.
<b>Italia</b>	En este país, se les llama cama biomásica. La turba no es fácil de conseguir, por lo que se utilizan materiales como compost, semillas de melocotón y cáscaras de cítricos. Estos materiales presentaron una alta degradación de plaguicidas como clorpirifos.
<b>Perú</b>	La implementación se ha realizado en pequeñas fincas en contenedores, utilizando la caña como material principal para su composición, además del compost con residuos vegetales y suelo.
<b>Guatemala</b>	Las biocamas son pequeñas, construidas para que una sola persona realice el trasvase y lavados de los equipos, compuesta por arcilla, biomézcla de residuos de maíz, suelo, paja y zacate en la parte superior.

Fuente: Castillo, et al. (2008).

En Costa Rica, se han realizado investigaciones a nivel de laboratorio, en la zona de los Santos al sureste del país y por parte de instituciones como el CICA-UCR, IRET y el INA. Según Jiménez

(2018), el diseño de biocama en estaciones es ideal para pequeñas y medianas fincas, los materiales utilizados para su construcción son: granza de arroz, suelo, biomezcla (compuesta por abono orgánico y residuos vegetales; 50:50 v/v), además de carbón y arena en el fondo del contenedor.

## **4. Metodología**

### **4.1 Tipo de enfoque, alcance y diseño**

#### **4.1.1 Enfoque del estudio**

El trabajo final de graduación presentó un enfoque mixto, el cual implicó recolectar y analizar datos tanto cuantitativos como cualitativos en una sola investigación, para entender de una manera adecuada el estudio, identificado como CUAL-CUAN. Se representó a través de números y lenguaje, con el fin de obtener evidencia y entendimiento del objeto de estudio (Hernández, et al., 2014).

Se emplearon herramientas tanto cualitativas como cuantitativas de manera conjunta; en primer lugar, cualitativas como el diálogo y participación con pequeños y medianos productores hortícolas, visitas de campo, entrevistas, instrumentos de recolección de datos sobre las fincas seleccionadas y el diseño de materiales educativos; en segundo lugar, cuantitativos como el registro de cantidades de plaguicidas utilizados por parte de los productores y análisis de residuos de plaguicidas en muestras de biomezcla en laboratorio.

#### **4.1.2 Alcance del estudio**

El alcance de la investigación se clasificó como exploratorio, según Hernández et al. (2014), este alcance tiene como propósito conocer un tema o problema de investigación que posee pocos estudios o es muy novedoso; además de que, a partir de este, se puede obtener información para nuevas investigaciones o sugerir afirmaciones. En este caso, el estudio comprendió una estrategia para la disposición adecuada de residuos de plaguicidas en el cantón de Zarcerro, a partir de la implementación de la tecnología de biocamas e investigación participativa, donde actualmente no existen investigaciones de campo relacionadas al tema.

#### **4.1.3 Diseño metodológico**

El diseño metodológico de la investigación tuvo un enfoque cuantitativo, experimental, donde se manipulan tratamientos y existen intervenciones para observar los efectos en las diferentes variables; y por su enfoque cualitativo, se conocieron las características de las fincas y se diseñó un módulo educativo, por lo que se clasificó como investigación-acción que comprende problemáticas específicas

de un grupo, relacionadas a un ambiente determinado, con el fin de que se brindara información para tomar decisiones en proyectos y procesos (Hernández, et al., 2014).

#### 4.1.4 Selección de fincas

El proyecto fue desarrollado en cuatro fincas del cantón de Zarceró (Figura 5), dos en el distrito de Laguna, una en Tapezco y la última en Zarceró seleccionadas según criterios de implementación de buenas prácticas agrícolas en fincas. En estas, se cultivan zanahoria, papa, culantro y cebolla, siendo pequeños productores con fincas que van desde los 5000 m<sup>2</sup> hasta 2,5 ha de extensión. En las cuatro fincas, se hace uso de plaguicidas como parte de un manejo integrado de plagas y también incorporan métodos alternativos a plaguicidas; por ejemplo, controladores biológicos, feromonas, extractos botánicos y otros. Los cuatro agricultores participaron en el proyecto *Estrategia integral para disminuir el uso de plaguicidas en la agricultura y mejora de la calidad ambiental en Zarceró, Alajuela*, realizado por el IRET, la Escuela de Ciencias Agrarias y la División de Educación Rural entre 2018 y 2021, del cual formó parte el presente trabajo final de graduación, lo que permitió un mayor acercamiento con cada productor.



Figura 5. Ubicación de las fincas en estudio. Fuente: Mora y Ramírez, s.f.

## 4.2 Proceso metodológico

### 4.2.1 Implementación de biocamas en fincas

#### *Caracterización de las fincas hortícolas seleccionadas*

La recolección de datos de las fincas participantes se realizó a partir de dos actividades: en primer lugar, se recopiló información generada en el marco del proyecto *Estrategia integral para disminuir el uso de plaguicidas en la agricultura y mejorar la calidad ambiental en Zarceros, Alajuela*. En segundo lugar, se aplicaron entrevistas a los propietarios o responsables de las cuatro fincas, ya que, según Hernández et al. (2014), esta metodología es flexible, abierta e íntima y tiene como propósito intercambiar información pertinente. La entrevista tuvo el propósito de conocer las características de cada una de las fincas para determinar si era factible la instalación de la biocama; esta se realizó con un diseño semiestructurado, es decir, se basó en una guía con preguntas (Anexo 1), con la libertad de agregar interrogantes adicionales para conocer más sobre el tema, por lo que no todas las preguntas están predeterminadas. La elaboración del instrumento se basó, principalmente, en las siguientes categorías de información:

- i. Características generales de la finca: ubicación, extensión y cultivos.
- ii. Uso y manejo de plaguicidas: aplicaciones, registro, frecuencia y cantidades.
- iii. Disposición y manejo de residuos de plaguicidas: características de la manipulación y disposición de los residuos.

El instrumento se aplicó en una sesión de trabajo de campo a partir de la visita a cada finca durante un día. La información obtenida se sintetizó describiendo los resultados de cada finca y se generó una matriz por categoría, en la cual se incluyó el cumplimiento de las normativas relacionadas.

Posterior a la entrevista, se brindó a las personas productoras un documento escrito que describía la problemática principal relacionada con la disposición inadecuada de los residuos de plaguicidas y los efectos negativos que pueden causar; las características de la biocama, su forma de construcción y se invitó/incentivó a que fueran instaladas en sus fincas (Anexo 2).

Con la información antes descrita, se elaboró una matriz valorando aspectos (criterios) relacionados con las buenas prácticas agrícolas enfocadas en la disposición de residuos de plaguicidas según MAG (2008) y Ramírez (2015), con el fin de determinar si la tecnología de la biocama era necesaria e idónea en la finca. Los criterios fueron asignados con una puntuación como la siguiente: “0” no cumple; “1” cumple, pero no satisfactoriamente y “2” sí cumple.

## *Construcción de biocamas*

La construcción de las biocamas se realizó de la siguiente manera:

- i. Preconstrucción: se seleccionó, en conjunto con los productores, el lugar idóneo para colocar las biocamas, idealmente ubicadas bajo techo, cercanas al lugar donde se realizan las mezclas de plaguicidas y con disponibilidad de agua. También se coordinó con ellos la compra de materiales y visitas de campo.
- ii. Construcción: las biocamas se construyeron en estañones plásticos de 200 L, a los cuales se les incorporó una llave a 20 cm de altura desde el suelo. Los materiales utilizados y su colocación dentro de los estañones se realizaron de acuerdo con estudios previos llevados a cabo por Jiménez (2018) de la siguiente manera (Figura 6): al fondo del estañón se coloca una capa de 15 cm de una mezcla de partes iguales de arena y piedra, seguida de una capa de carbón de madera de 10 cm de altura (Figuras 6B-C).

Posteriormente, se colocó un saco de suelo de la finca (aproximadamente 12 kg) (Figura 6D), seguidos de la biomezcla, la cual se constituye de una mezcla en partes iguales de abono orgánico o lombricompost y residuos vegetales frescos picados (Figura 6E-F). En términos prácticos, se mezcló un saco de abono orgánico (32 kg) con un saco de residuos vegetales. El abono orgánico de la marca *Vida Verde* tenía la siguiente composición: nitrógeno (0,20-1,30% p/p), fósforo (0,80-2,50% p/p), potasio (0,60-1,70% p/p), magnesio (0,20-1,20% p/p), calcio (2-9% p/p), zinc (100-350 ppm), cobre (40-120 ppm), hierro (650-750 ppm), manganeso (450-900 ppm) y materia orgánica (32,30% o/p). Finalmente, se colocó una capa de grana de arroz de aproximadamente 10 cm de grosor. A cada biocama se le adicionaron 10 L de agua para, finalmente, dejarlas en un periodo de reposo o maduración de 22 días para permitir el establecimiento de las poblaciones microbianas. Los detalles de la construcción de las biocamas individuales se describen en la Figura 6 y Figura 7.



*Figura 6.* Materiales para la construcción de las biocamas: (A) estañón con llave incorporada, (B) arena y piedra, (C) carbón, (D) suelo, (E) abono orgánico y (F) residuos vegetales.

Finca A	Finca B
	
Finca C	Finca D
	

*Figura 7.* Imágenes ilustrativas del final del proceso constructivo de las biocamas.

La construcción de cada biocama presentó características específicas para cada finca, con distintas fechas de instalación y ubicación (tabla 3), según las visitas a campo que se realizaron.

Tabla 3

*Características de la construcción de biocamas por finca.*

Finca	Características
A	<p>En la finca A, la biocama se construyó el 19 de setiembre de 2019 en periodo de lluvia. Se colocó cerca del lugar donde se realiza la manipulación y mezcla de plaguicidas a cielo abierto. Se usaron materiales como abono orgánico y residuos vegetales de cebollino.</p>
B	<p>La biocama fue construida el 19 de setiembre de 2019 en periodo de lluvia, el productor participó activamente durante el proceso.</p> <p>La biocama se colocó cerca de la bodega general, donde el productor realiza las actividades de manipulación y mezcla de plaguicidas y lavado de equipos de aspersión. Esta se cubrió con una lámina de zinc para evitar el ingreso de lluvia. Se utilizó suelo y residuos vegetales de la finca.</p>
C	<p>En la finca C, la biocama fue construida el 3 de octubre de 2019 en periodo de lluvia. La biocama se colocó en un lugar cerca de los cultivos a cielo abierto.</p> <p>Los materiales como el suelo y residuos vegetales fueron adquiridos de la misma finca.</p>
D	<p>En la finca D, se construyó la biocama el 20 de setiembre de 2021 en periodo de lluvia, con la participación del productor. La biocama se colocó bajo techo, cerca de la zona de preparación y manipulación de plaguicidas y lavado de equipos de aspersión. Los materiales como el suelo y residuos vegetales se obtuvieron de la misma finca.</p>

- iii. Utilización y seguimiento: pasado el periodo de maduración, se inició el uso de la biocama para tratar residuos de plaguicidas. Por otro lado, se creó un instrumento para registrar el vertido de plaguicidas a las biocamas (Anexo 3), con el fin de conocer las sustancias que se depositaban en esta, la frecuencia y cantidades aproximadas de plaguicidas depositados. Estos fueron entregados a los cuatro productores y se dio una comunicación directa a través de visitas, mensajes de texto y llamadas telefónicas.

#### 4.2.2 Determinación de residuos de plaguicidas en biocamas

##### *Muestreo*

El criterio del muestreo se basó en uno de tipo compuesto a partir de la obtención de muestras de biomezcla, que consistió en tomar submuestras con la ayuda de un barreno pequeño en diferentes puntos de la biocama con cantidades similares para homogenizarlas posteriormente, utilizando guantes de nitrilo; la herramienta del barreno fue ideal para muestras de suelos sueltos o arenosos, lo que permite obtener cantidades adecuadas de la biomezcla (Bismark y Espinoza, 2017) (Figura 8). El muestreo se realizó a dos profundidades: 15 y 30 cm. Las muestras compuestas se colocaron en papel aluminio calcinado y en una bolsa con un cierre hermético claramente identificado con etiquetas; luego, fueron transportadas en una hielera, con el fin de evitar la pérdida de humedad. Posteriormente, se almacenaron en congelación hasta su análisis.



*Figura 8.* Muestreo de biomezcla de biocama realizado en finca D.

Los muestreos de la biocama A se realizó una única vez con un total de dos muestras de biomezcla a cada profundidad (debido a que la biocama se saturó de agua de lluvia) y para las fincas B, C y D se realizó una vez al mes, durante 3 meses, para obtener un total de 18 muestras de biomezcla (9 muestras a cada profundidad), con el fin de conocer las concentraciones de plaguicidas a través del tiempo y los plaguicidas utilizados por cada productor. En cada muestreo, se registró la información por cada finca, visita y biocama (Tabla 4), de acuerdo con el instrumento del Anexo 4.

Tabla 4

*Registro de muestreos de las biocamas.*

# muestreo	Fecha	Finca				Profundidad (cm de superficie)	Código
		A	B	C	D		
1	02/09/2020	X				15	A1-15
1	02/09/2020	X				30	A1-30
1	20/01/2020		X			15	B1-15
1	20/01/2020		X			30	B1-30
2	05/03/2020		X			15	B2-15
2	05/03/2020		X			30	B2-30
3	02/09/2020		X			15	B3-15
3	02/09/2020		X			30	B3-30
1	20/01/2020			X		15	C1-15
1	20/01/2020			X		30	C1-30
2	05/03/2020			X		15	C2-15
2	05/03/2020			X		30	C2-30
3	02/09/2020			X		15	C3-15
3	02/09/2020			X		30	C3-30
1	12/03/2022				X	15	D1-15
1	12/03/2022				X	30	D1-30
2	30/04/2022				X	15	D2-15
2	30/04/2022				X	30	D2-30
3	21/05/2022				X	15	D3-15
3	21/05/2022				X	30	D3-30

### *Cuantificación de residuos de plaguicidas*

La extracción de los plaguicidas se realizó en el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del IRET-UNA, mediante el procedimiento QuEChERS, basado parcialmente en la metodología de Sánchez et al. (2004) y NMKL (2013). Se realizó el procedimiento de la siguiente manera: se homogenizó la muestra de biomezcla y se pesaron 5 g en tubos plásticos de centrifuga Falcon de 50 mL con sus respectivas etiquetas, según la cantidad de muestras por extraer, por medio de una balanza analítica. Seguidamente, se agregó un estándar interno (clorpirifos D10) y 10 mL de acetato de etilo (calidad para análisis de residuos) a los tubos de centrifuga que se introdujeron en un baño ultrasónico por 10 min.

Después, se agregaron 5 g de sulfato de sodio a los tubos para ultrasonicarlos por 10 min más y, finalmente, centrifugarlos durante 10 min a 3000 rpm. Se tomaron 5 mL de sobrenadante con pipeta Pasteur para transferirlos a tubos de 10 mL previamente pesados en balanza analítica. Además, se hicieron diluciones de los extractos en acetato de etilo y metanol, con cada tanda de muestras se incluyó un blanco muestra con solo el disolvente, el estándar interno y el sulfato de sodio (Figura 9).

Los extractos fueron inyectados junto con los respectivos patrones en un cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas (GCMS: Agilent, 7890A-5975C) (Figura 9) y en un cromatógrafo líquido con detector de masas-masas (LC-MSMS: Waters, Acquity UPLC H-Class con Xevo TQ-S micro). En los análisis, se incluyó una amplia lista de plaguicidas (alrededor de 120 sustancias). Estos análisis químicos estaban bajo la responsabilidad del personal analítico del LAREP.



*Figura 9. Equipo y extractos de muestras.*

### *Análisis de resultados*

El análisis de los datos de las muestras de biomezcla se basó en un promedio de sus duplicados (extraídos e inyectados separadamente). Con los resultados obtenidos de la cuantificación de residuos de todos los plaguicidas detectados, se realizó por biocama un Análisis de Coordenadas Principales (PCO por sus siglas en inglés) (Anderson, 2001). Para realizar el PCO, se construyeron matrices de semejanza en las cuales se incluyó una variable dummy = uno (lo cual es recomendable cuando existen valores = cero para algunos plaguicidas que no se detectaron) y se utilizó la distancia euclidiana.

El PCO brindó información integral de lo sucedido con el conjunto de plaguicidas encontrados a las profundidades de muestreo y dio la pauta para ahondar en el comportamiento de plaguicidas individuales. Para analizar con mayor detalle lo sucedido con plaguicidas individuales, a los PCO se les incluyeron burbujas bidimensionales para visualizar las concentraciones de plaguicidas particulares. A mayor tamaño de la burbuja, mayor era la concentración del plaguicida. Todos los análisis anteriores se realizaron mediante el programa estadístico PRIMER v6 (PRIMER-E Ltd.).

### *Determinación de la eficiencia de las biocamas en la degradación de plaguicidas*

Para determinar si las biocamas cumplieron o no la función de degradar plaguicidas, se construyó una línea de tiempo con los plaguicidas que fueron dispuestos en la biocama de acuerdo con lo informado por las personas agricultoras y con los residuos de plaguicidas detectados en el laboratorio en las muestras de biomezcla. Lo anterior permitió realizar predicciones de lo que podría encontrarse mediante análisis cromatográfico; también permitió determinar el régimen de uso de algunos plaguicidas, lo cual podría incidir en los resultados conducentes a determinar si un plaguicida se está o no degradando en la biocama. Por otro lado, se realizaron comparaciones de los plaguicidas encontrados en biomezcla tomada a 30 cm de profundidad con los encontrados a los 15 cm. Para efectos de este trabajo, se plantearon las siguientes hipótesis para considerar o no la degradación de un plaguicida.

- a) Posible degradación: cuando la concentración de un plaguicida a 30 cm fue menor con respecto a la encontrada a 15 cm de profundidad.
- b) Posible degradación: cuando el plaguicida fue detectado a 15 cm de profundidad y no a 30 cm de profundidad.
- c) Posible ausencia de degradación: cuando la concentración a 30 cm fue igual o mayor a la detectada a 15 cm.

### **4.2.3 Análisis de funcionamiento y uso de las biocamas mediante investigación participativa**

Para conocer la percepción del uso y funcionamiento de las biocamas, se aplicaron cuestionarios (Anexo 5) a los agricultores usuarios de las cuatro biocamas, con el fin de conocer sus opiniones, recomendaciones y ajustes a la tecnología, una vez que fue utilizada rutinariamente por tres meses por lo menos.

Durante las visitas de campo realizadas a cada una de las fincas para las tomas de muestras, se recopilaron los comentarios e inquietudes de cada productor, con el fin de definir las condiciones idóneas que debe tener la tecnología para, por un lado, degradar plaguicidas y, por otro lado, facilitar el uso por parte de las personas agricultoras, de tal manera que no sea percibida como una carga más de trabajo o que no se perciba su utilidad. Por otro lado, se diseñó un afiche informativo para la devolución de los resultados a los productores; es decir, se informó al productor si la biocama estaba funcionando para degradar los plaguicidas, con el fin de que tuvieran el conocimiento de los resultados; de esta manera, se generó un proceso de realimentación y mejora del sistema.

### **4.2.4 Construcción de módulo educativo**

El módulo educativo estuvo planeado para construirse desde un enfoque participativo con las personas agricultoras, lo que implicaba realizar encuentros presenciales en fincas de manera individual o grupal para tratar el tema de la biocama. Con la llegada de la pandemia y las restricciones impuestas por el Ministerio de Salud y, por consiguiente, por la Universidad Nacional (UNA) para realizar trabajo en las comunidades, se ideó una estrategia metodológica para construir un módulo educativo que se adaptara a la situación prevaleciente en ese momento en el tiempo, este consiste en un documento que permite dar paso a un proceso educativo con una diversidad de momentos y actividades que se describen en la tabla 5, con la capacidad de ser información valiosa para poder replicar.

Tabla 5

*Proceso educativo desarrollado para trabajar el tema de la biocama con grupos de personas agricultoras*

<b>Momento</b>	<b>Actividades</b>	<b>Objetivo</b>
Mirada crítico-problematizadora del espacio agrícola	Charlas	Dar a conocer los hallazgos de investigaciones realizadas por el IRET sobre la presencia de plaguicidas en el ambiente y las implicaciones de esto en la vida ecosistémica.
Diálogo crítico-reflexivo-transformador	Comunicaciones personales, entrevistas, charlas, participación en programa de TV local	Dar a conocer la biocama como una tecnología para mitigar la contaminación provocada por plaguicidas.
Diseño de la biocama (funcionamiento, uso y manejo)	Comunicaciones personales, charlas, entrevistas, participación en programa de TV local, validación de tecnología	Conocer el proceso de construcción y funcionalidad de la biocama.
Escritura en el territorio	Comunicaciones directas con usuarios, escritura de documentos	Plasmar el proceso educativo en un documento.
Aprendizajes tejidos y reflexión	Comunicaciones directas con usuarios, jornadas de trabajo	Comprender la relevancia de aprender a construir la Universidad Necesaria.

Como se indica en la tabla anterior, el proceso educativo abarcó una serie de actividades diversas; por ejemplo, se confeccionaron varios materiales escritos para apoyar sesiones de trabajo (Figura 10); entre estos, material informativo (Anexo 2), formato semiestructurado de entrevista (Anexo 5) y afiche.



*Figura 10.* Actividades realizadas durante el proceso educativo sobre el tema de la biocama.

*Nota:* parte de las actividades realizadas para construir el proceso educativo sobre el tema de la biocama: (A) charla en el Colegio Técnico Profesional de Zarceo sobre uso, funcionalidad y construcción de la biocama; (B) entrevista a productor sobre uso de tecnología; y (C) comunicaciones personales con productor de finca.

Fue relevante la organización de actividades virtuales; por ejemplo, una charla realizada el 26 de enero 2021 y un programa televisivo grabado en la televisora local ZTV de Coopealfaroruz el 16 de setiembre de 2020.

## **5. Resultados y discusión**

### **5.1. Implementación de biocamas en fincas**

#### *5.1.1 Caracterización de las fincas*

Los datos de la caracterización de las fincas hortícolas de manera individual se resumen en la tabla 6.

Tabla 6

*Características de las fincas hortícolas en estudio*

<b>Característica</b>	<b>Finca A</b>	<b>Finca B</b>	<b>Finca C</b>	<b>Finca D</b>
<b>Ubicación</b>	Zarcero	Laguna	Laguna	Tapezco
<b>Nombre</b>	Finca San Luis	Sin nombre	Finca La Niquita	Finca La Esperanza
<b>Superficie</b>	2,5 ha	0,5 ha	1 ha	0,5 ha
<b>Cultivos sembrados</b>	Cebolla, lechuga, papa, apio	Zanahoria, culantro, cebolla y papa	Papa y zanahoria	Cebolla, lechuga, zanahoria, culantro y papa
<b>Uso de plaguicidas</b>	Una vez por semana	Una vez a la semana y en algunos casos dos cuando el tiempo no es favorable	Cada 5-7 días dependiendo del tiempo	Una vez por semana en verano y dos veces por semana en invierno
<b>Plaguicidas de uso frecuente</b>	Clorotalonil, clorpirifos, cipermetrina	Mancozeb con cobre y propineb	Clorotalonil, cipermetrina y mancozeb	Clorotalonil, clorpirifos, linuron
<b>Preparación de mezclas de plaguicidas</b>	En un estañón, batiendo con un palo o agitando en la bomba de aspersión	En un estañón, batiendo con un palo o agitando en la bomba de aspersión	En un estañón, batiendo con un palo o agitando en la bomba de aspersión	En un estañón, batiendo con un palo o agitando en la bomba de aspersión
<b>Almacenamiento de plaguicidas</b>	Bodega	Bodega sin algún tipo de organización	Bodega	Bodega, organizados por acción biocida
<b>Realiza calibración de aplicaciones</b>	No	No	No	No

<b>Realiza de registro de aplicaciones de plaguicidas</b>	No	No	No	No
<b>Realiza lectura de panfleto</b>	De algunas secciones	De algunas secciones	De algunas secciones	De algunas secciones
<b>Disposición de residuos de mezclas de plaguicidas y aguas de lavado de equipos</b>	Reaplica en cultivos	En suelo o pasto cercano	En suelo o se reaplica a los cultivos	En suelo cerca de cultivos
<b>Contención de derrames de producto concentrado</b>	No se realiza ninguna práctica de contención	No se realiza ninguna práctica de contención	No se realiza ninguna práctica de contención	No se realiza ninguna práctica de contención
<b>Uso de alternativas a plaguicidas/insumos no sintéticos</b>	Uso de controladores biológicos	Abono orgánico y ceniza	Lombricomposta y gallinaza, controladores biológicos	Uso de controladores biológicos
<b>Manejo de suelos/prácticas culturales</b>	Siembra en contorno	Rotación de cultivos	Rotación de cultivos	Siembra en contorno
<b>Aspectos adicionales</b>	Posee empacadora, se contratan trabajadores temporales. Productor experimentado y con interés por aprender.	Trabajo en conjunto con hijo, no contratan trabajadores	Trabajan padre e hijo, no contratan trabajadores	Posee empacadora, se contratan trabajadores temporales.

De acuerdo con la información proporcionada por los agricultores, existe necesidad de uso de la biocama, debido a que no se realiza ninguna práctica de contención de derrames accidentales de plaguicidas encontrados. Además, todo residuo de mezcla se dispone en el suelo, ya sea reapplicando el cultivo o directamente en el suelo cercano al punto de lavado de equipos de aspersión. Por otro lado, es importante mencionar que los cuatro agricultores indicaron que no se realizan calibraciones de aplicación, así que es probable que se genere una cantidad substancial de residuos de plaguicidas, al no contar con criterios para determinar la cantidad de mezcla que se requiere con exactitud.

Con la información antes descrita, se elaboró una matriz con criterios relacionados con la disposición de residuos de plaguicidas, cada uno de los aspectos conforman las buenas prácticas agrícolas, lo que permitió determinar si la tecnología de la biocama es necesaria e idónea en cada finca.

Tabla 7

*Análisis comparativo de las características de las fincas de estudio.*

Variable	Aspecto	Finca	Finca	Finca	Finca
		A	B	C	D
		0	0	0	0
	Realiza la calibración de los equipos de aplicación de plaguicidas <sup>1</sup>				
<b>Disposición de residuos de plaguicidas</b>	Dispone adecuadamente el agua generada del triple lavado <sup>2</sup>	0	0	0	0
	Las aguas de lavado de equipos de aspersión y protección no son vertidas al ambiente sin control o previo tratamiento <sup>3</sup>	0	0	0	0
		0	0	0	0
	Realiza alguna estrategia para el manejo de los residuos de plaguicidas generados en la finca <sup>4</sup>				
	Practica alguna técnica para disminuir el uso de plaguicidas en la finca <sup>5</sup>	2	0	1	2
	<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

**0:** No cumple; **1:** Cumple, pero no satisfactoriamente; **2:** Sí cumple.

Cada uno de los aspectos de la matriz forman parte de las BPAs mencionadas por el MAG (2008) y Ramírez (2015):

<sup>1</sup> Realizar una calibración adecuada de los equipos de aplicación de plaguicidas es fundamental para preparar cantidades de mezclas exactas, de tal manera que se evite producir sobrantes, esta práctica también contribuye a optimizar costos y a evitar plaguicidas innecesarios al ambiente.

<sup>2</sup> El agua generada del triple lavado puede presentar concentraciones altas de plaguicidas que tienen la capacidad de contaminar, por lo tanto, la adecuada disposición de estas aguas constituye una BPA.

<sup>3</sup> Las aguas contaminadas por plaguicidas no deben ser dispuestas en el suelo o fuentes de agua sin un tratamiento previo.

<sup>4</sup> La implementación de tecnologías limpias, representan una estrategia para manejar adecuadamente los residuos de plaguicidas, dentro de estas está la biocama.

<sup>5</sup> El uso de alternativas a plaguicidas representa una BPA, dentro de estas se pueden mencionar los controladores biológicos, feromonas, trampas cromáticas, repelentes botánicos, entre otros. Estos permiten disminuir el uso de plaguicidas en fincas.

La falta de prácticas para la adecuada disposición final de residuos de plaguicidas se reflejó en la matriz, ya que las cuatro fincas tuvieron puntajes bajos. La finca A posee una sumatoria total de 2 puntos; la finca B obtiene 0 puntos; la C, 1 punto y la finca D, 2 puntos. Estos resultados estuvieron influenciados de manera importante por la falta de registros de aplicaciones de plaguicida, calibración de los equipos de aspersión en las fincas y la disposición de las aguas generadas del triple lavado. Por otro lado, la disposición de residuos de plaguicidas tuvo baja calificación, ya que se presenta vertido de las aguas de lavado de equipos sin ningún control y no cuentan con una estrategia para el manejo de los residuos generados. En conclusión, la construcción y uso de la biocama en las fincas se justifica ampliamente.

### *5.1.3 Plaguicidas utilizados en las fincas*

El régimen de uso de plaguicidas en las fincas está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas, básicamente, la humedad generada en invierno provoca que se realice un uso más intensivo de plaguicidas. Por esta razón, es altamente probable que este sea también un periodo de uso intensivo de la biocama. En este estudio, los muestreos de las biocamas A, B y C se realizaron en invierno, mientras que en la finca D se llevaron a cabo en verano.

Los plaguicidas de mayor uso por los agricultores entrevistados fueron clorotalonil, azoxistrobina, carbendazim, cipermetrina, clorpirifos, entre otros (Tabla 8). Algunos de estos están clasificados como altamente peligrosos (PAN, 2016), y moderadamente peligrosos (OMS, 2019) por lo que es de importancia que la manipulación, uso y disposición final se realicen correctamente. En este último aspecto, la implementación y uso de la biocama resulta esencial.

Tabla 8

*Uso y clasificación de toxicidad de los plaguicidas utilizados en las fincas en estudio.*

<b>Acción biocida</b>	<b>Ingrediente activo (i.a)</b>	<b>Clasificación de toxicidad (OMS)</b>	<b>Clasificación Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAN)</b>
<b>Fungicidas</b>	Clorotalonil	U. No peligro agudo	Riesgo “fatal si se inhala” y probable carcinógeno
	Azoxistrobina	U. No peligro agudo	nd
	Flutolanil	U. No peligro agudo	Probable carcinógeno
	Carbendazim	U. No peligro agudo	Probable carcinógeno
	Tiametoxam	II. Moderadamente peligroso	nd
<b>Insecticidas</b>	Cipermetrina	II. Moderadamente peligroso	Muy tóxico en abejas
	Malation	III. Ligeramente peligroso	Probable carcinógeno y muy tóxico en abejas
	Clorpirifos	II. Moderadamente peligroso	Plaguicida altamente peligroso

r: registrado para su comercialización.

Fuente: elaboración propia, con base en datos de IRET (2019), PAN (2016) y OMS (2019)

#### **5.4 Determinación de residuos de plaguicidas en biocamas**

##### *Plaguicidas detectados en biomezcla*

Se detectó una variedad de plaguicidas en las muestras de biomezcla en términos cualitativos y cuantitativos de acuerdo con el uso particular de dichas sustancias en las fincas (Tabla 9) (Anexo 6).

Tabla 9

*Plaguicidas detectados en biomezclas de las biocamas A, B, C y D.*

Biocamas	Muestreos	Profundidad (cm)	Concentraciones de plaguicidas detectados (µg/g) (p.h)													
			Azoxistrobina	Carbendazim	Clorotalonil	Cipermetrina	Clorpirifos	Flutolanil	Linuron	Malation	Imidacloprid	Metaxilil	Dimetato	Tebuconazol	Tiametoxam	Trifloxistrobina
<b>A</b>	1	15	0,10	nd	nd	nd	0,50	nd	2,72	nd	nd	0,36	nd	5,40	nd	nd
		30	0,20	nd	0,03	nd	0,40	0,11	nd	nd	nd	1,99	nd	nd	nd	nd
<b>B</b>	1	15	nd	nd	nd	nd	nd	0,7	0,43	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
		30	nd	nd	9,2	3,7	3,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	2	15	nd	0,01	nd	nd	nd	0,08	0,97	0,49	0,01	0,03	nd	nd	nd	nd
		30	nd	nd	nd	nd	nd	0,14	1,69	0,2	0,05	nd	nd	nd	nd	nd
	3	15	nd	0,8	nd	nd	0,04	0,43	2,72	1,13	0,18	2,09	0,78	7,8	nd	1,8
		30	nd	0,38	0,02	1,2	0,01	0,11	0,68	0,12	nd	0,67	0,34	8,2	nd	1,1
<b>C</b>	1	15	nd	nd	9,2	3,7	3,5	nd	nd	nd	nd	0,09	nd	nd	nd	nd
		30	nd	nd	18,1	10,3	8,9	nd	nd	nd	nd	0,16	nd	nd	nd	nd
	2	15	nd	1	141	25	318	nd	nd	nd	nd	27,1	1	nd	nd	nd
		30	nd	nd	256	7	nd	nd	nd	nd	nd	12,1	nd	nd	nd	nd
	3	15	nd	nd	45,5	5,1	2,89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
		30	nd	nd	36,3	1,7	0,78	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>D</b>	1	15	5,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,42	nd
		30	3,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,24	nd
	2	15	10,7	nd	0,1	0,25	0,1	nd	11,79	nd	nd	nd	nd	nd	0,8	nd
		30	1,4	nd	nd	nd	nd	nd	1,56	nd	nd	nd	nd	nd	0,12	nd
	3	15	3	nd	3,16	nd	0,88	nd	5,54	nd	nd	nd	nd	nd	0,61	nd
		30	2,9	nd	6,89	nd	7,91	nd	2,8	nd	nd	nd	nd	nd	0,74	nd

Siglas nd indican que no se detectó el plaguicida en cuestión. Límites de detección e incertidumbre en anexo 6.

Los plaguicidas detectados en todas las biocamas fueron el clorotalonil y clorpirifos, ambos de uso intensivo en el cantón de Zarceró. Por otro lado, sustancias como azoxistrobina y tiametoxan se detectaron únicamente en la biocama D en todos los muestreos realizados.

Es importante recalcar que una de las limitantes que se presentó durante el estudio fue la dificultad para que los agricultores llenaran el registro de vertidos a la biocama, el cual fue escasamente utilizado. Pasado un tiempo corto, se debió cambiar la estrategia de recolección de datos, la cual fue solicitada vía WhatsApp mediante mensajes y fotografías de los envases de plaguicidas que utilizaban, cuyos residuos fueron depositados en las biocamas. La falta de información exacta sobre las sustancias que fueron vertidas en la biocama a lo largo de la investigación se consideró subregistro<sup>6</sup>.

#### 5.4.1 Biocama Finca A

La biocama A fue construida al aire libre en la finca, lo que provocó que, en dos ocasiones, se llenara completamente de agua de lluvia, sin poder darle continuidad a su uso (Figura 11). Por esta razón, se realizó únicamente un muestreo el día 02/09/2020. La cuantificación de los residuos de plaguicidas detectados en la biocama fueron fungicidas como azoxistrobina, clorotalonil, flutolanil, metalaxil y tebuconazol; un insecticida, clorpirifos; y un herbicida, linuron (Tabla 9).

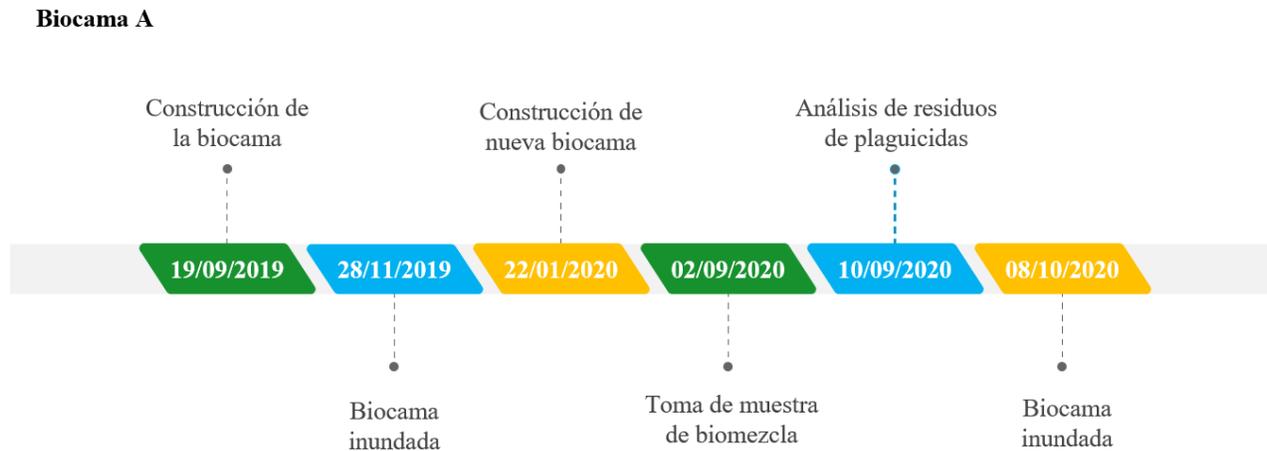
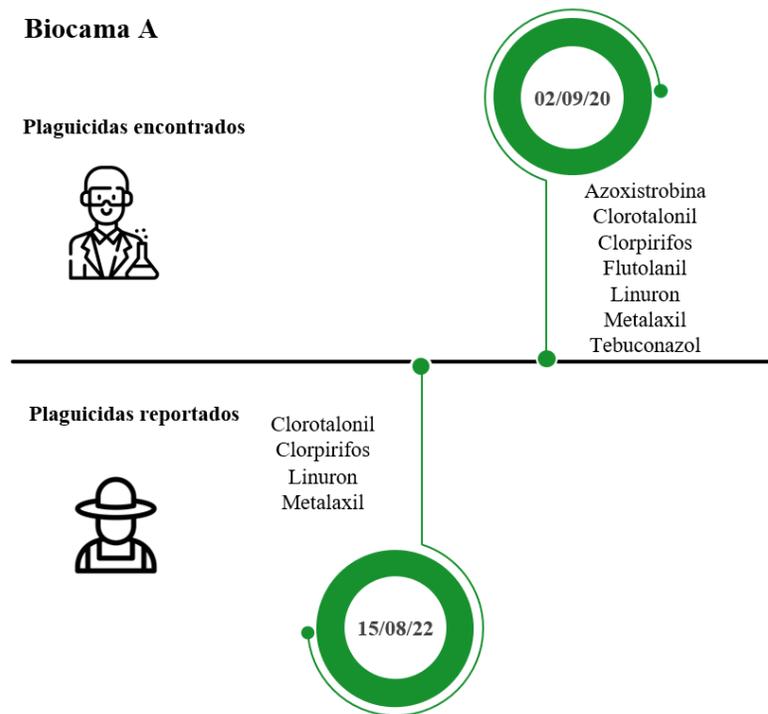


Figura 11. Línea de tiempo de sucesos ocurridos a la biocama A

Existió una correspondencia parcial entre los plaguicidas detectados en el laboratorio y lo informado por el agricultor (Figura 12). Se cuantificaron tres plaguicidas que no fueron previamente informados,

<sup>6</sup> Para efectos del presente trabajo final de graduación se considera subregistro cuando la información o datos transmitidos por las personas agricultoras son menores a los ocurridos, debido a que no se cuenta con una cultura de registrar adecuadamente la información de uso de plaguicidas.

los cuales son azoxistrobina, flutolanil y tebuconazol, por lo que es probable que se dieran subregistros. Es importante tomar en cuenta que las fechas se presentaron según el último vertido a la biocama reportado antes de realizar el muestreo en la finca.



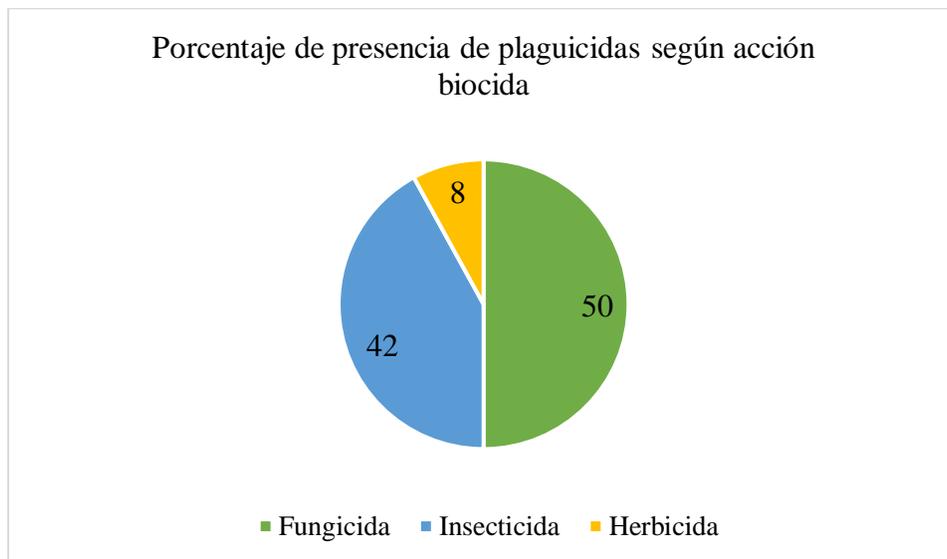
*Figura 12. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama A*

En la parte superior de la figura, se muestran los plaguicidas que fueron encontrados a partir de los análisis de laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca.

Debido a que únicamente se realizó un muestreo en la biocama A, y la información obtenida de la cuantificación de plaguicidas, esta biocama no se consideró en el estudio. Sin embargo, se logró visualizar que sustancias como clorpirifos, linuron y tebuconazol se detectaron en menor concentración a mayor profundidad (30 cm). Lo que evidencia una posible degradación; por el contrario, los demás plaguicidas presentaron mayores concentraciones a los 30 cm.

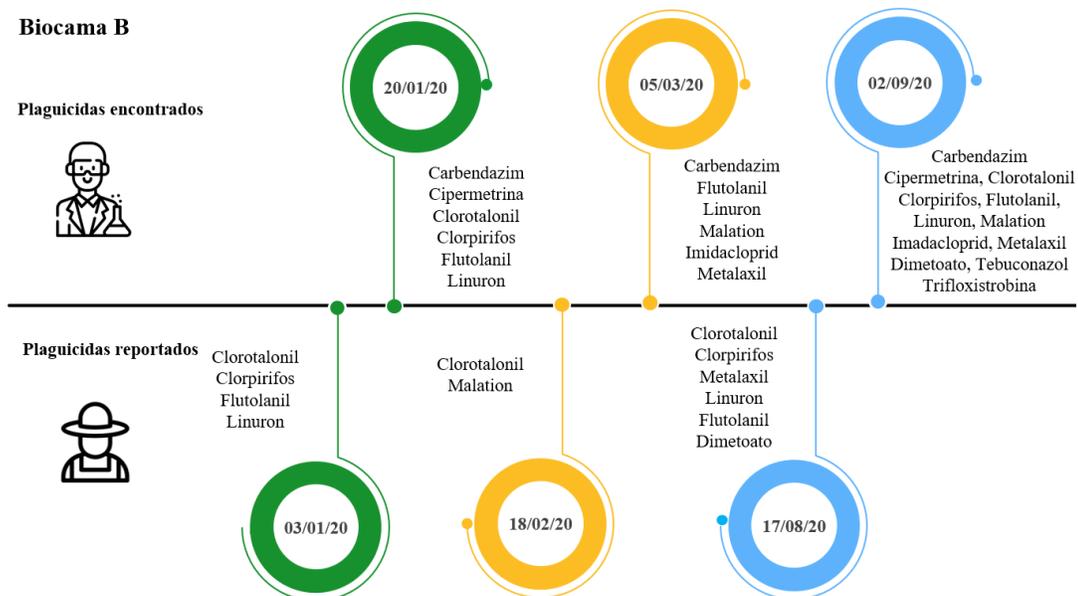
#### 5.4.2 Biocama Finca B

Los plaguicidas cuantificados en la biocama B se clasificaron en un 50% fungicidas: clorotalonil, metalaxil, carbendazim, flutolanil, tebuconazol y trifloxistrobina; 42% fueron insecticidas: cipermetrina, clorpirifos, malation, imidacloprid y dimetoato; y 8% fueron herbicidas: linuron (Figura 13).



*Figura 13.* Porcentaje de presencia de plaguicidas según acción biocida en la biocama B.

Existió correspondencia parcial entre los plaguicidas desechados en la biocama de acuerdo con lo informado por el agricultor (sección inferior de la Figura 14), con los plaguicidas detectados en el análisis de la biomezcla (sección superior de la Figura 14). En el análisis del 02/09/2020, es decir, el tercer muestreo, se cuantificaron seis plaguicidas que no fueron previamente informados (carbendazim, cipermetrina, dimetoato, tebuconazol, imidacloprid y trifloxistrobina), así que es probable que se presentara subregistro, o que los plaguicidas no reportados hayan sido vertidos a la biocama previamente al inicio del muestreo, ya que esta biocama había funcionado por algunos meses antes del comienzo del estudio.



*Figura 14.* Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama B. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron encontrados a partir de los análisis de laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca.

Durante el primer muestreo, se observaron diferencias considerables en los tipos y concentraciones de plaguicidas detectados a 30 cm respecto a 15 cm de profundidad (Figura 15). Es importante la no detección de flutolanil y linuron a 30 cm en comparación con lo determinado a 15 cm de profundidad (Tabla 9), por tanto, es posible hipotetizar la presencia de degradación de estos i.a en la biocama B.

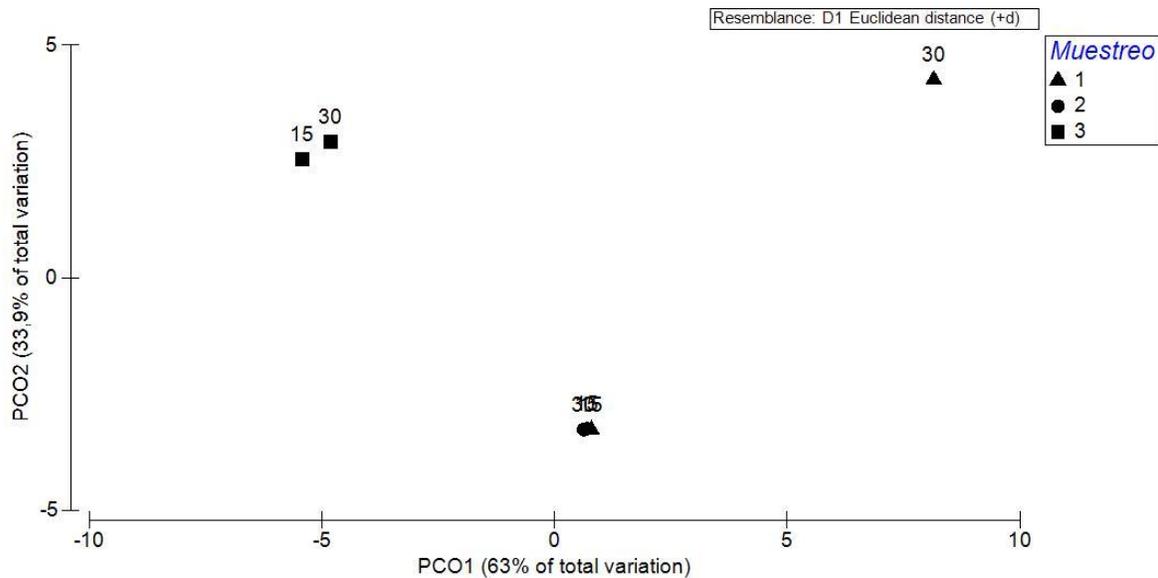


Figura 15. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocámara C a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes.

En la biocámara B, es representativo el ejemplo del herbicida linuron que, de acuerdo con los resultados, fue posiblemente degradado (Figura 16). El linuron es un herbicida altamente tóxico, estable en medios neutros, poco persistente, poco móvil en suelo, donde se acumula fácilmente, con una vida entre 22 y 150 días, y un valor típico de 60 días (IRET, 2019). Este valor se encuentra dentro del tiempo de estudio, aspecto que pudo haber influido en el resultado obtenido. Además, se indica que su degradación puede aumentar si se incrementa el contenido de humedad, temperatura y acción microbiana, elementos presentes en la biomezcla de manera favorable.

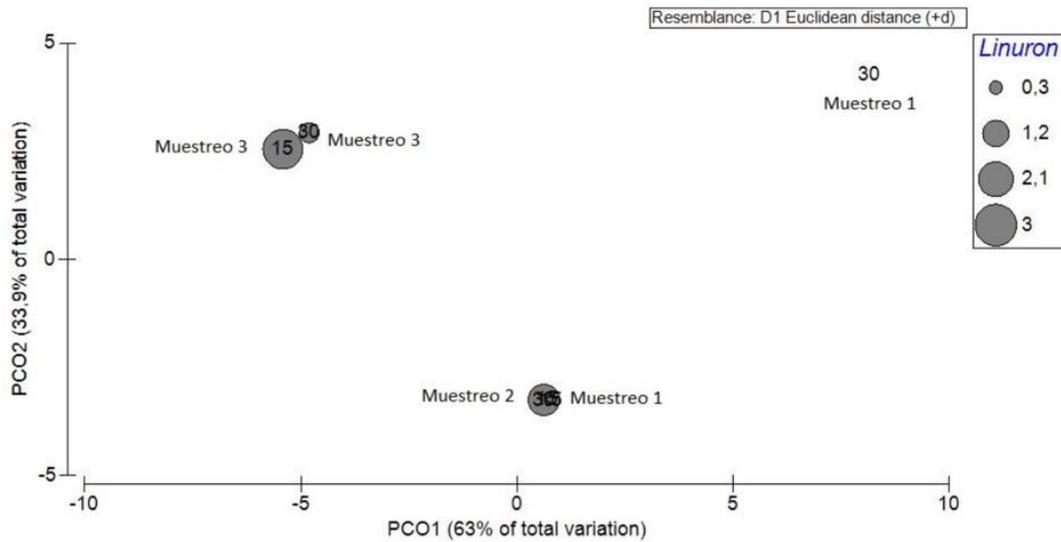
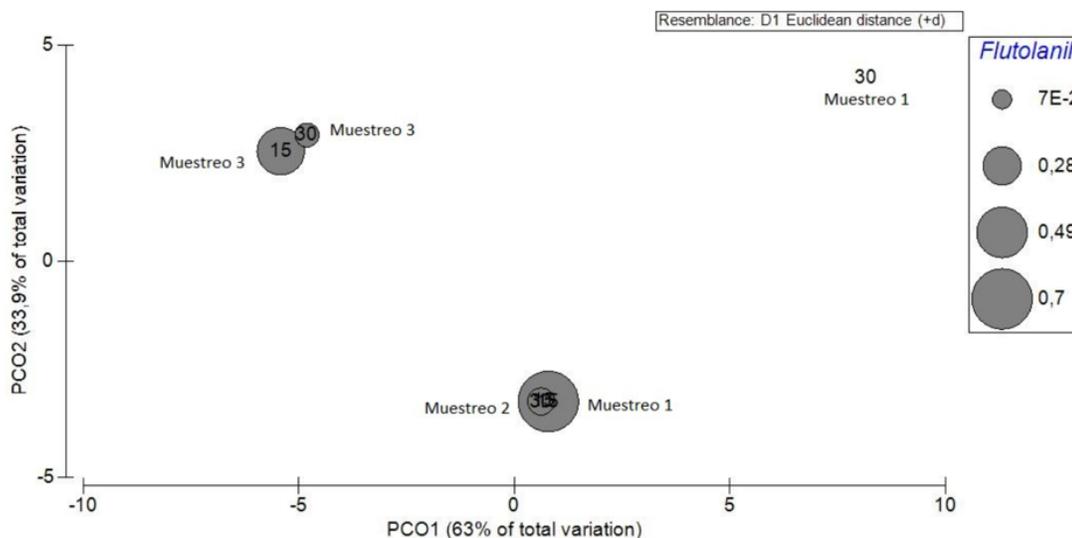


Figura 16. Concentración de linuron ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama B, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de linuron detectada.

La comparación de los plaguicidas encontrados en la biomezcla a 15 y 30 cm en el segundo muestreo evidencia que las concentraciones de carbendazim, metalaxil y malation (Tabla 9) eran menores a 30 cm, lo cual se consideró indicio de degradación.

Las muestras tomadas de biomezcla en el tercer muestreo evidencian similitudes cualitativas y cuantitativas en los plaguicidas detectados (Figura 15). En este muestreo, se encontró que las concentraciones de los plaguicidas flutolanil, carbendazim, clorpirifos, flutolanil, malation y metalaxil presentaron una concentración menor en biomezcla tomada a 30 cm en comparación con lo determinado a 15 cm de profundidad (Tabla 9); por lo que es posible hipotetizar la degradación de estos i.a. Un caso específico es el plaguicida flutolanil (Figura 17), el cual presenta persistencia en el suelo de extrema a alta y una movilidad de mediana a ligera (IRET, 2019). Los resultados indican que es posible que su tiempo de residencia en la biocama haya sido lo suficiente para promover su degradación.

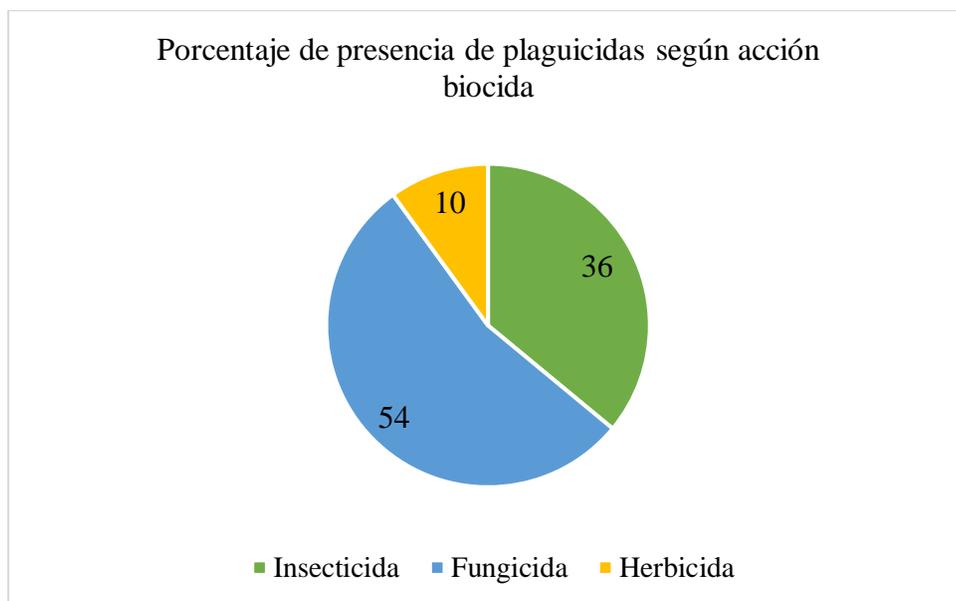


*Figura 17.* Concentración de flutolanil ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama B, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de flutolanil detectada.

En el tercer muestreo, los plaguicidas clorotalonil y clorpirifos tuvieron una menor concentración a los 30 cm (Tabla 9), lo cual contradice lo hallado en los dos muestreos previos, donde las concentraciones eran superiores a mayor profundidad. Este comportamiento pudo ser el resultado de subregistro, ya que ambos plaguicidas, pero principalmente el clorotalonil, se utilizan intensivamente en las fincas, en algunos casos durante todas las semanas. No obstante, el agricultor no reporta este tipo de régimen de uso en las comunicaciones de vertido (Figura 14). Por otro lado, en este muestreo (a una profundidad de 30 cm) se detectaron las menores concentraciones de ambos; clorotalonil y clorpirifos, en comparación con los dos muestreos previos, sugiriendo una posible degradación de los dos i.a.

#### 5.4.3 Biocama Finca C

En la biocama instalada en la finca C, se cuantificaron plaguicidas que consistieron en 54% fungicidas como clorotalonil metalaxil y carbendazim; un 36% insecticidas como cipermetrina, clorpirifos y dimetoato; y un 10% los herbicidas como el linuron (Figura 18).



*Figura 18.* Porcentaje de presencia de plaguicidas según acción biocida en biocama de la finca C.

Existió correspondencia parcial entre los plaguicidas vertidos en la biocama de acuerdo con lo informado por el agricultor (sección inferior de la Figura 19), con los plaguicidas detectados en el análisis de la biomezcla (sección superior de la Figura 19). En el análisis del 20/01/2020, es decir, el primer muestreo, se cuantificaron dos plaguicidas que no fueron previamente informados, los cuales son la cipermetrina y clorpirifos. Ambos de uso intensivo en el cantón de Zarcerro, por lo que es probable que existiera un subregistro.

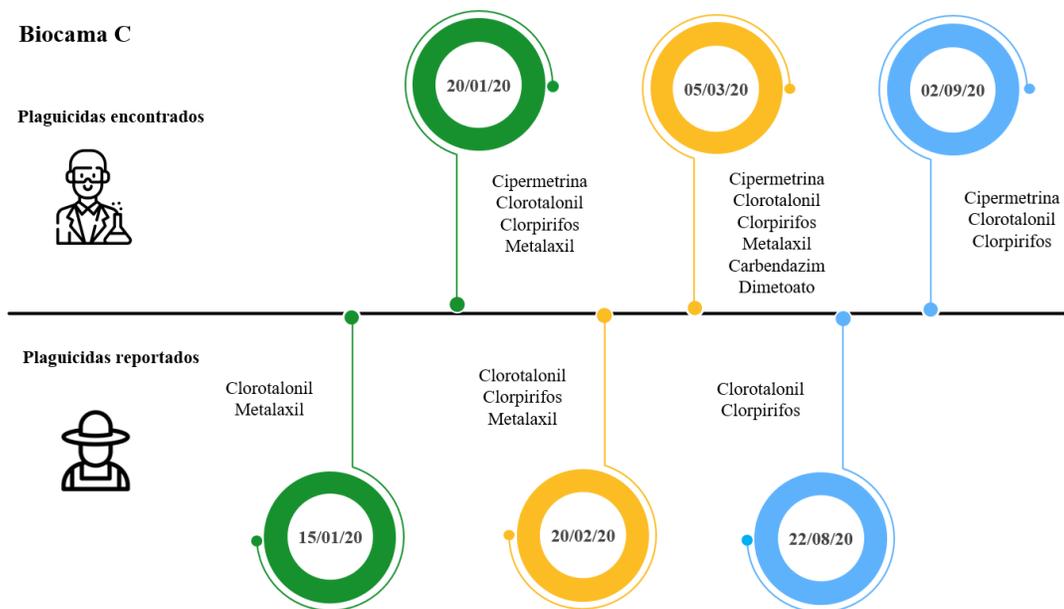


Figura 19. Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama C. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron detectados en el laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca.

El PCO construido para la biocama C indicó que se presentaron diferencias en el conjunto de plaguicidas detectados en la biomezcla tomada a 15 y 30 cm de profundidad, únicamente en el segundo muestreo, situación que no ocurrió para el primer y tercer muestreos (Figura 20).

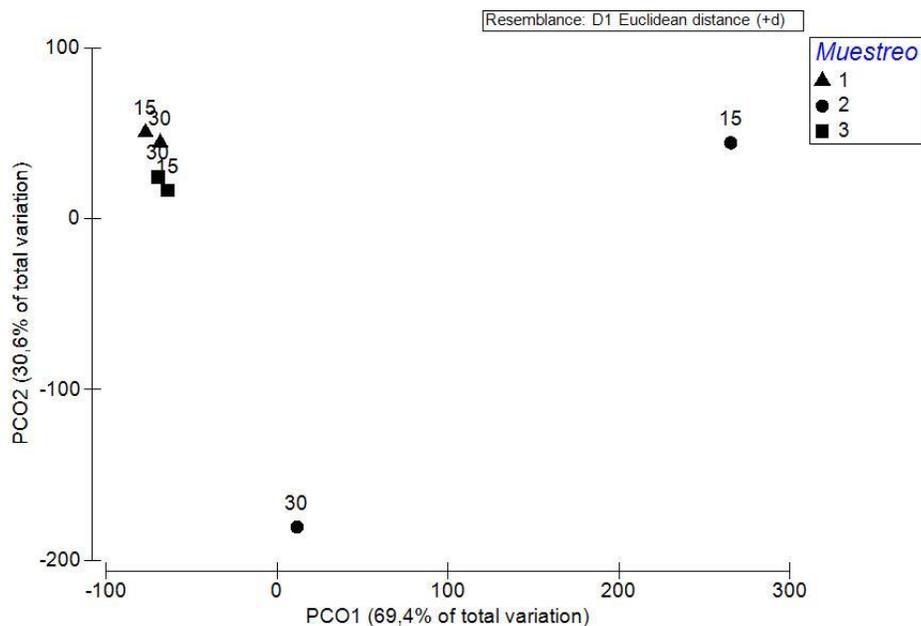


Figura 20. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocama C a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes.

Al analizar los plaguicidas de manera individual, se visualiza una posible degradación de carbendazim y dimetoato, ya que las concentraciones cuantificadas a 30 cm fueron menores a las detectadas a 15 cm en los muestreos en los que se determinó su presencia en biomezcla (Tabla 9). La posible degradación de estas sustancias pudo evidenciarse porque es probable que se utilizaran de manera esporádica por parte del agricultor, lo que pudo influir para que no se reportara su vertido en la biocama, existiendo subregistro.

El resto de los plaguicidas detectados (clorotalonil, cipermetrina, metalaxil y clorpirifos) durante los muestreos presentaron concentraciones variables en biomezcla tomada a 15 y 30 cm; en algunos muestreos, hubo mayores concentraciones a 15 cm; mientras que en otros hubo mayores concentraciones a 30 cm. Para visualizar lo anterior, se ejemplifica lo sucedido con la cipermetrina, la cual tuvo una mayor concentración a 30 cm en el primer muestreo, sugiriendo la no degradación. Por el contrario, en el segundo y tercer muestreo, su concentración fue menor a 30 cm, lo que sugiere una posible degradación (Figura 21). Sin embargo, al analizar de manera integral los resultados de los tres muestreos, existe la tendencia hacia la disminución de la concentración de este plaguicida a lo largo del tiempo (Tabla 9). La cipermetrina se usa intensivamente en el cantón, posee características como estabilidad a temperatura ambiente, movilidad en el suelo de ligera a inmóvil en arcilla y una persistencia en el suelo de alta a no persistente; vida media entre 10 a 40 días en los suelos aireados y 5 a 15 días en condiciones de mala aireación, además, su degradación depende de la temperatura y presencia de microorganismos (IRET, 2019; Jiménez, 2021). De acuerdo con la vida media del i.a y resultados encontrados, existe la posibilidad de que, su tiempo de residencia en la biocama, esté siendo suficiente para degradar el insecticida.

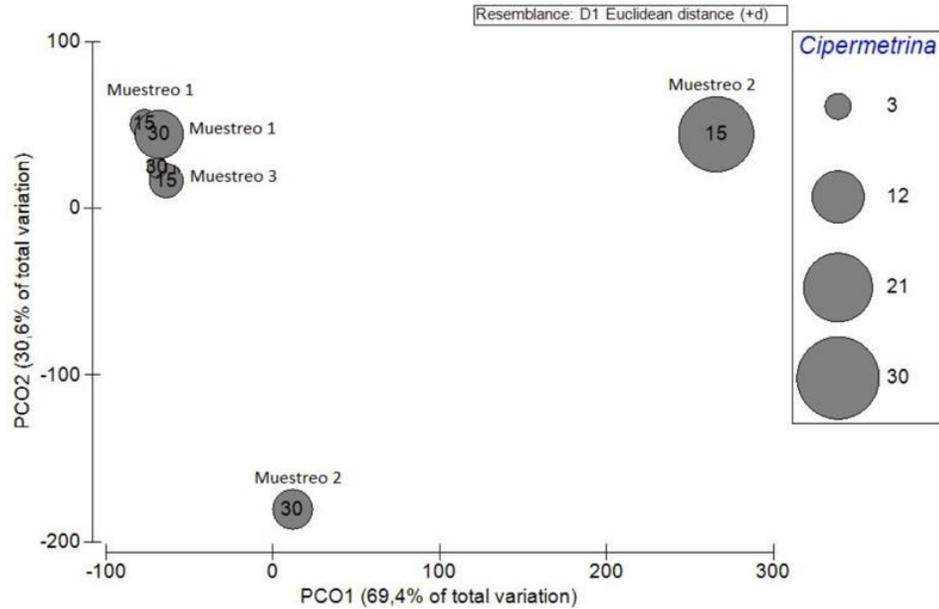


Figura 21. Concentración de cipermetrina ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama C, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de cipermetrina detectada.

Una situación similar a la de la cipermetrina se presentó con los plaguicidas clorotalonil, metalaxil y clorpirifos; cuya tendencia fue la disminución de su concentración en el tiempo y a presentarse en menor cantidad a la profundidad de 30 cm (Tabla 9). Un caso especial es el clorotalonil, cuya concentración fue siempre mayor a 30 cm, sugiriendo la no degradación; sin embargo, en el segundo muestreo, se cuantificaron concentraciones particularmente altas de este i.a. ( $256 \mu\text{g/g}$  suelo) a los 30 cm, por lo que podría hipotetizarse que, lejos de degradarse, este plaguicida se estaba concentrando dado su uso intensivo (Figura 19). No obstante, en el tercer muestreo, la concentración de clorotalonil disminuyó drásticamente tanto en 30 como en 15 cm de profundidad (Figura 22). Es importante valorar con mayor detalle la degradación de plaguicidas de uso intensivo (como clorotalonil) en la biocama, ya que otras investigaciones han evidenciado su degradación (Jiménez, 2018), pero existe la posibilidad de que su tasa de vertido a la biocama supere su tasa de degradación, sugiriendo erróneamente que no existe degradación.

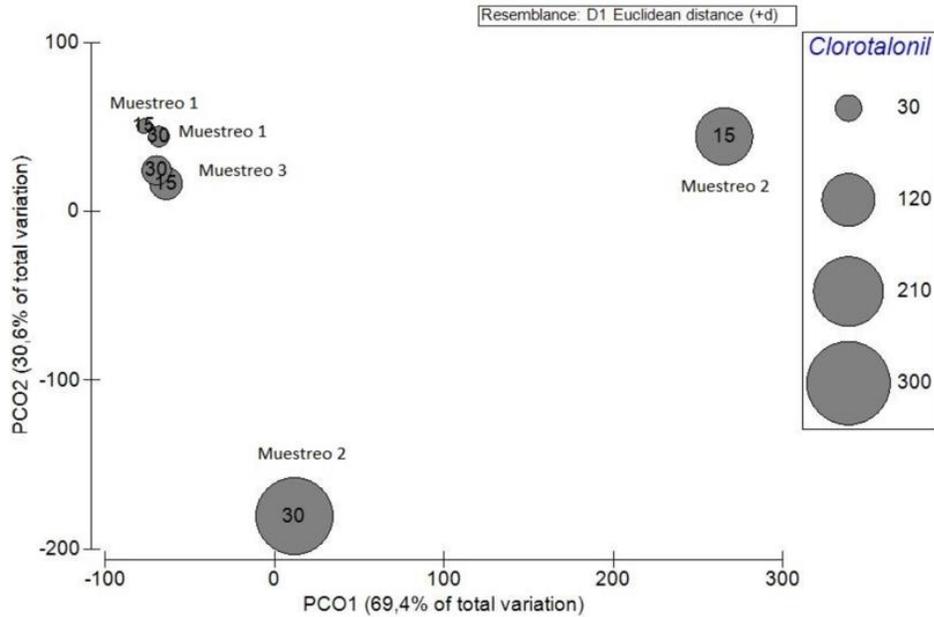


Figura 22. Concentración de clorotalonil ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama C, detectado a dos profundidades; 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de clorotalonil detectado.

#### 5.4.4 Biocama Finca D

Los plaguicidas cuantificados en la biocama D consistieron en un 50% fungicidas: clorotalonil, azoxistrobina y tiametoxam; 33% fueron insecticidas: clorpirifos y cipermetrina y 17% herbicidas: linuron (Figura 23).

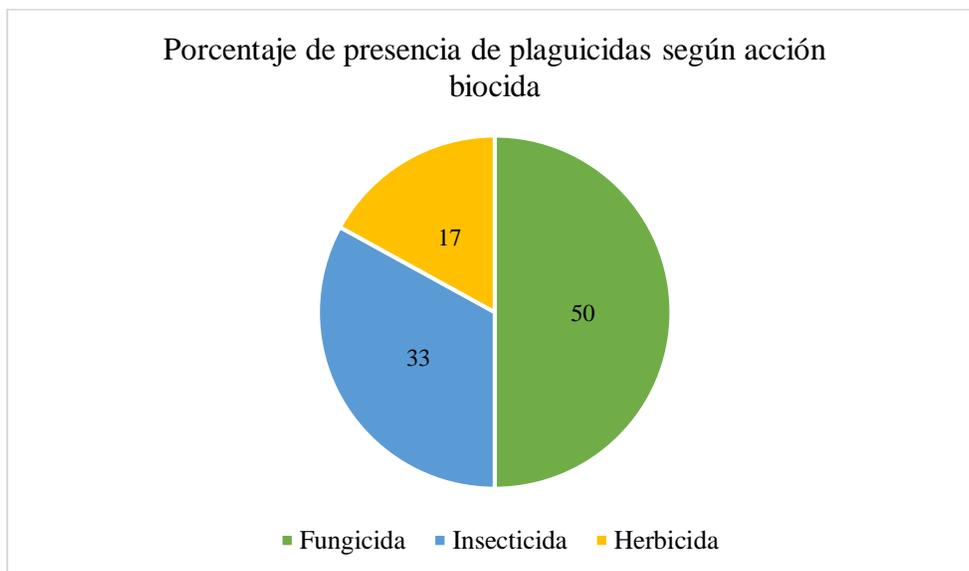
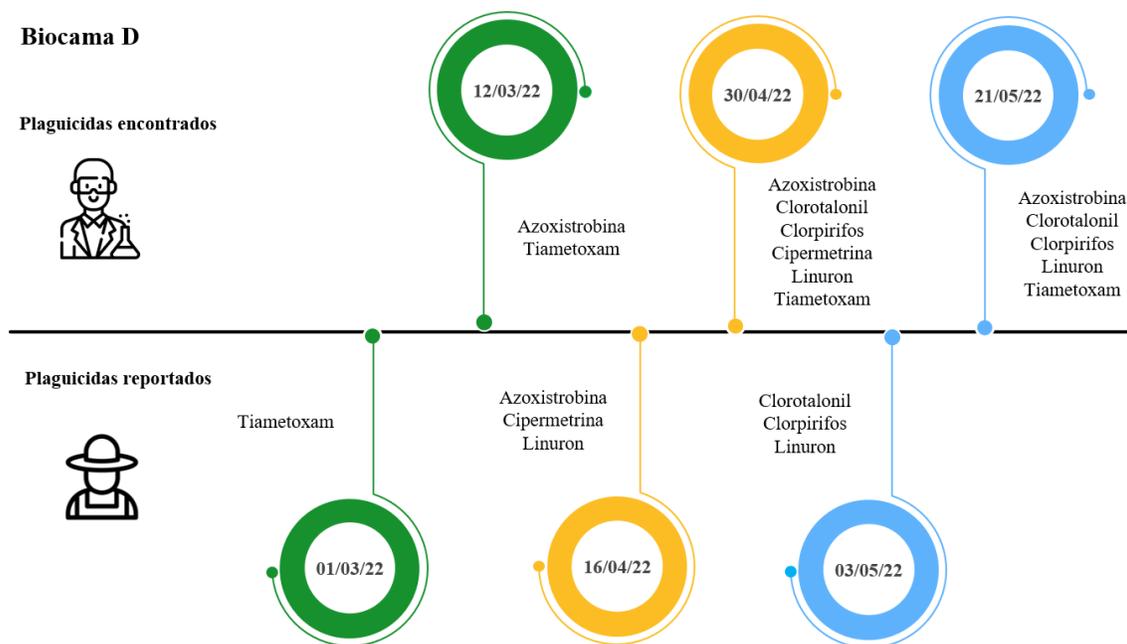


Figura 23. Porcentaje de presencia de plaguicidas según la acción biocida en la biocama D.

Existió correspondencia parcial entre los plaguicidas desechados en la biocama, de acuerdo con lo informado por el agricultor (sección inferior de la Figura 24), con los plaguicidas detectados en el análisis de la biomezcla (sección superior de la Figura 24). En el análisis del 30/04/2022, es decir, el segundo muestreo, se cuantificaron dos plaguicidas que no fueron previamente informados, los cuales son el clorotalonil y clorpirifos: estos dos plaguicidas son de uso intensivo y generalizado en la agricultura de Zarceró (Ramírez, 2017). Así que es probable que, en el caso de estos dos plaguicidas, hubiera subregistro o, por otro lado, la biocama de la finca D había estado funcionando por 6 meses previamente al comienzo de los muestreos de biomezcla, por lo que es probable que con anterioridad al estudio se hayan vertido residuos de los dos plaguicidas a la biocama. Es importante tomar en cuenta que las fechas se presentaron según el último vertido a la biocama reportado antes de realizar el muestreo en la finca.



*Figura 24.* Plaguicidas encontrados y reportados en la biocama D. En la parte superior de la figura, se demuestran los plaguicidas que fueron detectados en el laboratorio; en la parte inferior, los plaguicidas reportados por el agricultor de la finca.

El PCO construido para la biocama D indicó que se presentaron diferencias en el conjunto de plaguicidas detectados en el biomezcla tomada a 15 y 30 cm de profundidad, en el segundo y tercer muestreo; situación que no ocurrió en el primer muestreo (Figura 25). La comparación de los plaguicidas encontrados en la biomezcla a 15 y 30 cm de profundidad evidencia que en el muestreo

uno había similitud en términos cualitativos (Figura 25). En este, se encontró que las concentraciones de los plaguicidas azoxistrobina (Figura 26) y tiametoxam eran cerca del doble a 15 cm con respecto a 30 cm de profundidad en la biomezcla (Tabla 9), lo cual se consideró indicio de degradación.

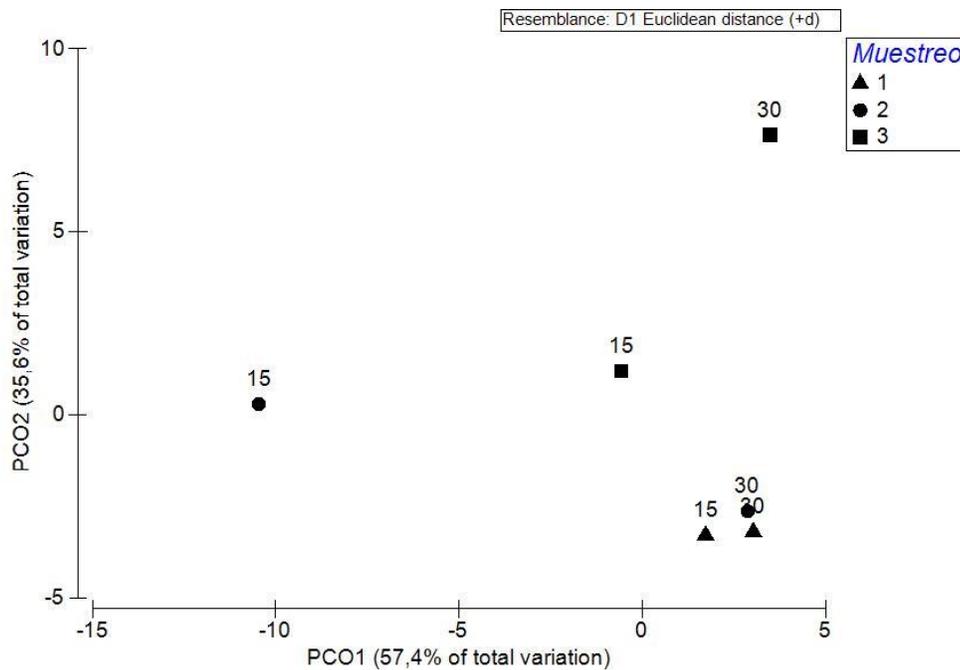
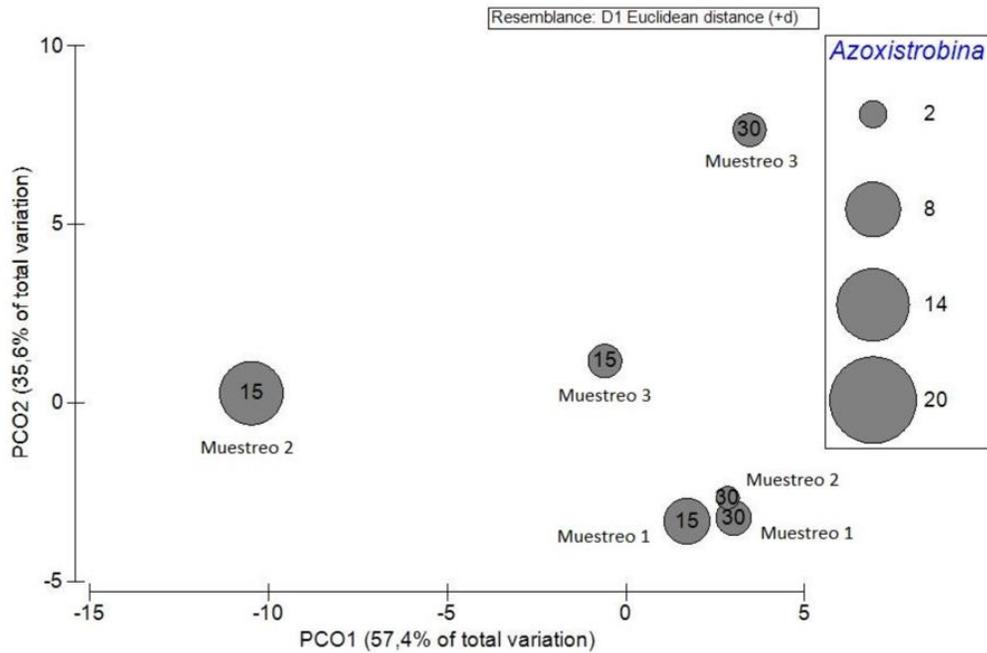


Figura 25. Análisis de coordenadas principales de los plaguicidas detectados en biomezcla de la biocama D a dos profundidades; 15 y 30 cm en tres muestreos diferentes.

Al observar a detalle los resultados, se evidenció una posible degradación de los plaguicidas azoxistrobina, carbendazim, malation, metalaxil y dimetoato, ya que su concentración a 30 cm fue siempre menor a la encontrada a 15 cm a lo largo de los tres muestreos (Tabla 9). Para ejemplificar lo ocurrido, se visualiza el comportamiento de la azoxistrobina (Figura 26). La información ambiental de este i.a es escasa; sin embargo, se sabe que su persistencia en suelo es de extrema a ligera con una movilidad media (Rodríguez, et al., 2015). De acuerdo con lo indicado por el agricultor, residuos de azoxistrobina se depositaron en la biocama una única vez (Figura 24), por lo que el tiempo de residencia del plaguicida fue de aproximadamente un mes. Los resultados evidenciaron la posibilidad de que este tiempo haya sido suficiente para degradar el fungicida en la biocama.



*Figura 26.* Concentración de azoxistrobina ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama D, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de azoxistrobina detectado.

Durante el segundo muestreo, se observaron diferencias considerables en los tipos y concentraciones de los plaguicidas detectados a 30 cm con respecto a 15 cm de profundidad en la biomezcla de la biocama D (Figura 25). Es importante la no detección de clorotalonil, cipermetrina y clorpirifos a 30 cm en comparación con lo determinado a 15 cm de profundidad (Tabla 9). En la figura 27 se visualiza el comportamiento del clorotalonil por tanto, es posible hipotetizar la presencia de degradación de estos i.a.

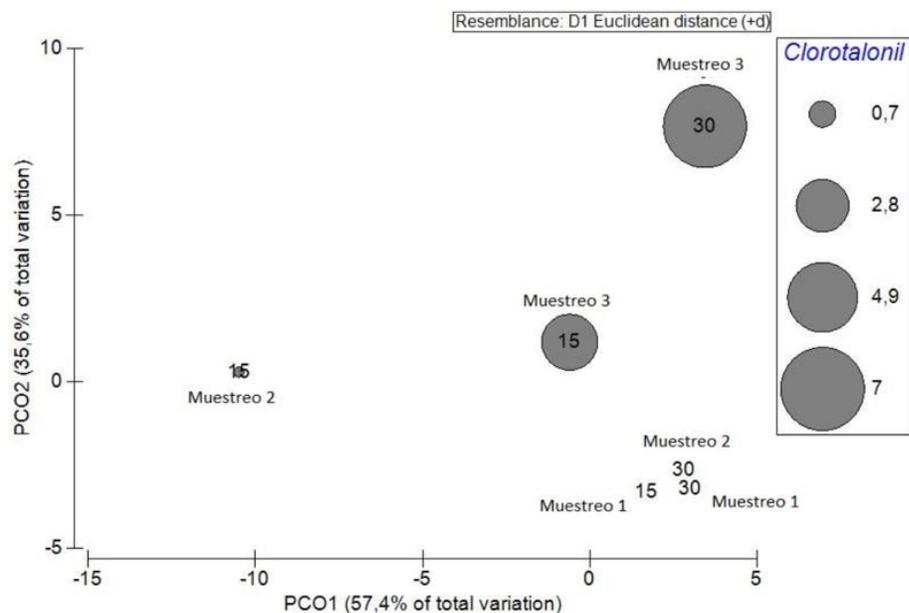


Figura 27. Concentración de clorotalonil ( $\mu\text{g/g}$  suelo) cuantificado en biomezcla de la biocama D, detectado a dos profundidades 15 y 30 cm durante tres muestreos. El diámetro de las burbujas es proporcional a la concentración de clorotalonil detectado.

Además, las concentraciones de azoxistrobina, linuron y tiametoxam fueron substancialmente menores a 30 cm respecto a 15 cm de profundidad en la biomezcla (Tabla 9), por lo tanto, también se consideró indicativo de degradación de estas sustancias. Finalmente, en biomezcla tomada durante el tercer muestreo se visualizan diferencias cualitativas y cuantitativas en los plaguicidas detectados (Figura 24). En la tercera muestra, se determinó la ausencia de cipermetrina en ambas profundidades, sustancia que sí se encontraba presente a los 15 cm del segundo muestreo realizado 20 días antes. La vida media de la cipermetrina es de entre 10 a 40 días en los suelos aireados y de 5 a 15 días en condiciones de mala aireación; además, la degradación de este depende de la temperatura y presencia de microorganismos (Jiménez, 2021), por lo que, es posible que su tiempo de resistencia en la biocama haya sido lo suficiente para promover su degradación.

En el tercer muestreo, la azoxistrobina y el tiametoxam presentaron concentraciones similares a 15 y 30 cm de profundidad, lo cual contradice lo hallado en los dos muestreos previos. No obstante, la concentración de azoxistrobina tiende a disminuir a lo largo del tiempo. Situación contraria al tiametoxam, cuyas concentraciones se incrementaron en el tiempo, siendo mayores en el tercer muestreo en comparación con el primer y segundo (Tabla 9). El tiametoxam fue aplicado una sola vez previamente al primer muestreo de acuerdo con lo indicado por el agricultor; por otro lado, es un

plaguicida con una persistencia de extrema a media y una movilidad alta, por lo que existe la posibilidad de que se haya dado un subregistro.

En cuanto a clorotalonil y clorpirifos, las concentraciones fueron considerablemente mayores a 30 cm con respecto a 15 cm de profundidad en el tercer muestreo (Tabla 9, Figura 27). Estos i.a se detectaron en el segundo muestreo también, pero el agricultor informó sobre su adición a la biocama una única vez antes del tercer muestreo (Figura 24), así que cabe la posibilidad de un subregistro. Es importante mencionar que estos dos plaguicidas son de uso intensivo y, sobre todo, en el caso del clorotalonil, se ha reportado un uso semanal, así que se establece la hipótesis de que los plaguicidas con este régimen de uso son difíciles de degradar en la biocama, porque su tasa de adición a esta supera su tasa de degradación. Esta situación se presenta aun cuando las vidas medias de los i.a no sean tan prolongadas; por ejemplo, para el clorotalonil, esta se estima de entre uno y dos meses y hasta por un año, además de ser susceptible a la degradación microbiológica (Stamatiu, 2013).

Los hallazgos sugieren que los plaguicidas clorotalonil, cipermetrina y clorpirifos no se están degradando en la biocama, ya que se presentaron en mayores concentraciones a una profundidad de 30 cm en el primer o segundo muestreo (Tabla 9). No obstante, al integrar los resultados de los tres muestreos, se observa que, en el tercero, se cuantificó la menor cantidad de dichos i.a. en biomezcla tomada a 30 cm (Tabla 9). Esta información indica la presencia de degradación, hallazgo importante dado el régimen de uso de estos plaguicidas, que es muy intensivo; lo cual es claramente visualizado en lo reportado por el agricultor (Figura 19).

### **5.5 Análisis de funcionamiento y uso por investigación participativa**

A partir del proceso de investigación participativa, se generó una realimentación y sugerencias de mejora de la biocama originalmente propuesta, con el fin de que su uso sea funcional, práctico y óptimo por parte de los agricultores. De manera general, los agricultores consideran que la biocama tiene las siguientes ventajas:

1. Es una tecnología sencilla de utilizar.
2. Los materiales son de fácil adquisición y poco costosos.
3. Su instalación es viable en fincas pequeñas y medianas.

Por otro lado, los agricultores expresaron comentarios positivos sobre la biocama; por ejemplo: “*es muy fácil porque con un poquito de orden podemos ayudar mucho al medio ambiente*” (productor finca A), “*recomiendo la biocama porque es muy fácil de utilizar y, a la vez, limpiamos de residuos*

*nuestros terrenos*” (productor finca B); *“sería una buena recomendación por que la biocama ayuda a controlar la contaminación”* (productor finca C) y *“se recomienda porque nos ayuda a educarnos para utilizar la cantidad adecuada de plaguicidas para la fumigación”* (productor finca D). Los cuatro agricultores que apoyaron la investigación mostraron entusiasmo y motivación con el uso de la tecnología y confirmaron su disposición de continuar usándola e informar a otras personas agricultoras sobre cómo instarla, su función y el impacto positivo que puede generar su uso.

Desde el punto de vista técnico, de acuerdo con la información comunicada a partir del uso cotidiano de la biocama, se destacaron los siguientes aspectos limitantes y las propuestas sugeridas por las personas agricultoras:

1. Los agricultores observaron que, conforme pasan los meses, el material dentro de la biocama disminuye debido a la descomposición de la materia orgánica. Este proceso puede ser muy evidente incluso dentro de los dos primeros meses de uso. La disminución del material es importante porque se reduce el área de superficie en la cual los plaguicidas vertidos y los microorganismos entran en contacto en detrimento de la degradación de los ingredientes activos.

Propuesta: los agricultores sugirieron ir marcando el nivel mensual del material en la biocama para cuantificar la descomposición y contar con información para calendarizar una actividad de relleno de la biocama, con la finalidad de tenerla siempre en un nivel óptimo de funcionamiento (Figura 28).



*Figura 28.* Niveles de material en la biocama: (A) es un nivel óptimo de material en la biocama; (B) se da una disminución del volumen de material en la biocama en el tiempo.

2. Es sumamente importante que la biocama se instale bajo techo, o en caso de no ser posible, colocar materiales que no permitan la entrada de agua en caso de lluvias. La entrada de agua de lluvia puede provocar la saturación de biocama, pudiendo incluso “inundarse”, esto genera un ambiente anaeróbico que limita seriamente la actividad microbiológica para degradar plaguicidas. Por otro lado, si una biocama se sobresatura de agua, esta se debe reconstruir, ya que es difícil retirar el exceso de líquido de forma manual.

En el caso de las biocamas experimentales, la biocama D se instaló bajo techo, evitando cualquier entrada de agua (Figura 29D). La biocama B (Figura 29B) fue cubierta con una lámina de zinc sobre la cual se colocó peso suficiente para evitar que la cubierta fuera arrastrada por vientos fuertes o que hubiera entrada de agua. El sencillo sistema funcionó adecuadamente en época lluviosa. También hubo acierto en elegir en conjunto con el agricultor un sitio aledaño a la bodega donde quedaba resguardada de los factores viento y agua; por el contrario, las biocamas de las fincas A y C se construyeron al aire libre y cubiertas con plástico, lo que resultó insuficiente y se inundaron; en el caso de la biocama A, después de realizar el primer muestreo, esta se volvió a construir; sin embargo, se inundó nuevamente quedando inutilizable (Figura 29A); para la biocama C la inundación sucedió después de realizar el último muestreo (Figura 29C).



*Figura 29.* Biocamas experimentales en cada finca: (A) biocama A inundada; (B) biocama B construida fuera de la bodega al aire libre, pero cerrada herméticamente mediante lámina y peso; (C) biocama C inundada al final del estudio; y, (D) biocama D construida bajo techo.

Propuesta: para evitar situaciones de inundación de las biocamas, los agricultores recomendaron instarla bajo techo idealmente, ya que esto evita que las personas estén permanentemente pendientes de asegurarse del cierre hermético de esta, lo cual puede complicarse porque, en ocasiones, ellos se encuentran trabajando en algún punto de la finca alejado de la biocama, siendo imposible trasladarse a cerrarla. Un aspecto directamente relacionado con la selección del lugar ideal para la construcción de la biocama es la disponibilidad de agua en la finca, ya que es en este sitio donde se realizan las actividades de manipulación de plaguicidas, preparación de mezclas, lavado de equipos y, por lo tanto, se trata del sitio donde deberá instalarse y usarse la biocama. De tal manera que, si la toma de agua de la finca se encuentra al aire libre, será necesario utilizar un material que no permita la entrada de agua o construir un techo sencillo, que no implique una gran inversión o trabajo para el agricultor (Figura 30).



*Figura 30.* Ejemplos de instalación de biocamas: (A) biocama al aire libre cercana a fuentes de agua; (B) biocama bajo techo.

3. Los agricultores utilizaron la biocama dos días por semana en promedio, desechando residuos de mezclas de una variedad de plaguicidas, sin embargo, de acuerdo con los resultados de la eficiencia de las biocamas descritos en secciones anteriores, los plaguicidas de uso intensivo en las fincas, como clorotalonil y clorpirifos, es probable que no logren degradarse eficientemente, debido a que se deposita más ingrediente activo del que la biocama es capaz de degradar en un tiempo determinado (Tabla 9). Para dar a conocer esta información, se construyó un afiche (Figura 31).



Figura 31. Afiche informativo indicando los resultados más relevantes de la validación de la eficiencia de las biocamas.

Propuesta: se recomienda continuar con investigación de campo para verificar la eficiencia de degradación de plaguicidas de uso intensivo en la biocama. En caso de confirmar la hipótesis de que la tasa de adición de plaguicidas de uso intensivo supere el potencial de degradación de la biocama, se sugiere ajustar el tamaño de esta, incrementado el volumen de biomezcla para contar con mayor área de superficie entre los plaguicidas y las partículas de material orgánico que sustentan la presencia de microorganismos; de esta manera, aumenta la capacidad de degradación de la biocama. Otra posibilidad es construir más de una biocama por finca, de acuerdo con el régimen de uso y disposición de residuos de plaguicidas particulares de cada finca, de tal manera que se usen de forma escalonada para brindar el tiempo necesario a los microorganismos de realizar la degradación de los i.a.

4. La biocama construida en el estañón es útil para contener derrames accidentales derivados de la manipulación de plaguicidas concentrados, debido a que su altura (aproximadamente hasta la cintura) facilita las operaciones de medición y trasvase realizadas con las manos. No obstante, los agricultores entrevistados indican que, en ocasiones, preparan las mezclas de

plaguicidas vertiendo directamente las sustancias en las bombas de aspersión (Tabla 6). Para evitar derrames accidentales durante la preparación de mezclas directamente en las bombas, es requerido colocar la bomba con agua sobre la biocama, lo cual es contraproducente, porque el peso causa la compactación de los materiales.

Propuesta: los agricultores sugieren colocar una base de algún material disponible y resistente (metal, madera) sobre la biocama que sirva para asentar la bomba de aspersión sobre la misma (Figura 32). Este dispositivo debe ser un tipo de rejilla que permita pasar hacia la biocama cualquier líquido que se derrame durante las operaciones de preparación de mezclas.

Otro de los resultados obtenidos es que la tecnología se debe instalar en un espacio cercano de donde realizan las mezclas, para que su uso sea aún más sencillo y los trabajadores no requieran trasladarse por largas distancias cada vez que realizan dicha acción y requieran depositar los residuos en el sistema. Además, se debe tomar siempre en cuenta las propuestas realizadas por las personas agricultoras (Figura 32).



*Figura 32. Agricultores proponiendo mejoras al diseño de la biocama.*

## **5.6 Módulo educativo sobre la biocama**

El resultado del módulo es un documento que describe el proceso educativo para trabajar con grupos populares la tecnología limpia de biocamas con el fin de que se pueda replicar. Este documento se presenta a continuación:

### **La biocama: una tecnología cuidadora de la vida**

La biocama es una tecnología limpia para disponer de manera adecuada los residuos de plaguicidas, ya sea aquellos generados por derrames accidentales (durante operaciones de medición o trasvase) o no accidentales (producidos por el lavado de equipos de aspersión, lavado de herramientas). La disposición adecuada de residuos de plaguicidas se traduce en una menor liberación de plaguicidas que no tienen una función de manejo fitosanitario en las fincas, lo cual ayuda a cuidar la vida ecosistémica.

#### *Momento I: Mirada crítico-problematizadora del espacio agrícola*

El tema del alto uso de plaguicidas y sus implicaciones en la vida ecosistémica (salud humana, animal, vegetal, suelo) fue abordado en tres sesiones informativas realizadas en los salones comunales de Palmira, Tapezco y La Brisa. Específicamente, durante estas sesiones se presentaron datos generados por el IRET sobre uso de plaguicidas, y contaminación de cuerpos de agua, tanques de agua potable, suelo y hortalizas de la zona de Zarcero. También se entregó a las personas asistentes materiales informativos escritos para ser revisados en casa con las familias.

Si bien estas actividades no formaron parte de la presente tesis, sentaron las bases para trabajar posteriormente la temática de uso de plaguicidas, generación de residuos y la disposición adecuada de estos. Esta información también fue socializada en otros espacios, por ejemplo, con estudiantes del Colegio Técnico Profesional de Zarcero (Figura 33B), con personas directoras del circuito San Ramón, la oficina local del Ministerio de Salud (Figura 33A) y otros grupos de la comunidad.



*Figura 33* Actividades de socialización de la problemática del uso de plaguicidas, así como de la generación de residuos de estas sustancias en foros diversos: (A) Oficina local del Ministerio de Salud; (B) Colegio Técnico Profesional de Zarcero.

*Momento II: Diálogo crítico, reflexivo y transformador*

Una vez que las personas agricultoras conocieron la problemática del alto uso de plaguicidas, se procedió a enfatizar en la generación de residuos de estas sustancias y por qué los derrames accidentales y no accidentales que se presentan en las fuentes puntuales de contaminación liberan una cantidad considerable de plaguicidas al ambiente. Por otro lado, también se informó sobre la biocama; para esto se visitaron fincas individuales, enfatizando en las cuatro en las que se realizaría la validación de la biocama. Para facilitar el diálogo y apoyar con la transmisión de la información, se diseñó un material didáctico que fue revisado durante las sesiones de trabajo y entregado a las personas agricultoras (Figura 34).

Utilice siempre que sea posible métodos alternativos para manejar problemas fitosanitarios que presenten sus cultivos ¡use plaguicidas como la última opción!



Quando usted deposita en el suelo:

1. Los sobrantes de plaguicidas después de una aplicación
2. Las aguas de lavado de las bombas
3. O cuando derrama accidentalmente plaguicida durante la medición, trasvase o dilución

¡Puede estar liberando al ambiente una gran cantidad de plaguicida de forma innecesaria!

¿Sabía qué...?

Pequeñas cantidades de plaguicidas pueden contener hasta 1 gramo de ingrediente activo (la sustancia que "mata"), si esto cae al suelo y forma una mancha de 10 centímetros por lado, se tendría 1 gramo de ingrediente activo de plaguicidas por decímetro cuadrado, ¡que equivale a 1 tonelada de plaguicida por hectárea!



¿Usted puede hacer algo en su finca para disminuir la contaminación ambiental por residuos de plaguicidas?

¡Sí! por medio del uso de la biocama

La biocama es una tecnología limpia para fincas pequeñas y medianas que tiene la función de retener y degradar los residuos de plaguicidas, evitando que pasen al suelo y a cuerpos de agua.



¡La eliminación de los plaguicidas en la biocama se realiza gracias a que nosotros los microorganismos los degradamos!!

Para que nosotros podamos realizar lo anterior, usted debe:

1. Depositar en la biocama sobrantes de mezclas de plaguicidas y aguas de lavado de equipos
2. Medir, trasvasar, diluir los plaguicidas encima de la biocama para evitar derrames

La biocama se puede construir en un estañon como se muestra a continuación:



- ← 15 cm de granza de arroz
- ← 1 carretillo de mezcla en partes iguales de abono orgánico (compost, lombricompost) y residuos vegetales frescos
- ← 1 carretillo de suelo
- ← 5 cm de carbón
- ← 15 cm de una mezcla en partes iguales de piedra y arena

¡ÁNIMESE A UTILIZAR LA BIOCAMA!

Es una tecnología sencilla, de bajo costo, los materiales para su construcción son de fácil acceso, algunos pueden conseguirse en la misma finca, además ha demostrado ser EFECTIVA degradando plaguicidas



Es muy importante evitar liberar sustancias químicas al ambiente de forma innecesaria, en Zarcero se ha detectado la presencia de plaguicidas altamente peligrosos en suelo, nacientes y ríos, donde causan la muerte de organismos y fauna benéfica, además estar expuestos a estos plaguicidas ¡¡puede tener efectos nocivos en toda nuestra comunidad!!

¿Le gustaría conocer más sobre la biocama?

Contacte a Mary Paz Jiménez Domínguez a través del correo marypaz15@hotmail.com o al teléfono 8320-6848



Figura 34. Material utilizado para el diálogo crítico-reflexivo-transformador sobre la temática de la biocama.

Otras actividades que se realizaron para apoyar el diálogo fue la charla virtual “**Uso de biocamas para el manejo de residuos de plaguicidas**” (Figura 35), realizada por medio de la aplicación Zoom, dirigida a personas dedicadas a la práctica agrícola del cantón de Zarceró, en la cual se incorporó la participación como moderador de don Leonardo Jiménez Morales, productor del cantón que cuenta con una biocama en su finca, con el propósito de exponer su experiencia y práctica. Además, durante el conversatorio, se generaron espacios de diálogo, intercambio de experiencias y consultas mediante una metodología participativa con enfoque sociocrítico.

**Charla: Uso de biocamas para el manejo de residuos de plaguicidas**

Impartida por:

- Bach. Mary Paz Jiménez Domínguez  
Ingeniera en Gestión Ambiental
- Sr. Leonardo Jiménez Morales  
Agricultor de Zarceró

Fecha y hora: Martes 26 de enero a las 5:30 p.m.

Impartida a través de zoom

The poster features a green background with a circular inset image showing two people in a field. Below the title, there are logos for the Ministry of Agriculture, the National University of Loja (UNA), and IRET.

Figura 35. Afiche invitación a la charla sobre el uso de biocamas para el manejo de residuos de plaguicidas.

La charla tuvo la siguiente dinámica:

Introducción: se mostró un video llamado *Cuidado a la madre Tierra* (enlace: [https://www.youtube.com/watch?v=Gz\\_taxZp2\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=Gz_taxZp2_g)), con la idea de crear consciencia ambiental y mostrar cómo una comunidad es capaz de unirse para lograr un propósito común: conservar y amar a nuestra Madre Tierra para disfrute de las futuras generaciones. Esto a partir de la reflexión y entendimiento de la importancia de realizar acciones que logren mitigar los impactos ambientales negativos. Por lo que surge una estrecha relación con la tecnología limpia de biocama que puede tener efectos positivos cuando los agricultores la implementan en sus fincas.

Información sobre la biocama: qué es y para qué sirve la tecnología. Seguidamente, el agricultor Leonardo Jiménez Morales explicó cómo se construye paso a paso y comentó su experiencia en cuanto a la utilización de esta.

Durante el conversatorio, se generaron espacios de diálogo mediante una metodología participativa con enfoque sociocrítico, dando énfasis al cuidado de los suelos, generación de consciencia y educación ambiental a trabajadores de finca; búsqueda de alternativas para proteger los recursos naturales de sus propias fincas y las aldeañas; acumulación de residuos de plaguicidas como actividad generadora de resistencia en plagas y la importancia de las tecnologías limpias para propiciar la salud. Finalmente, se comentaron aspectos relacionados con los costos de construcción de una biocama (₡26.700) incluyendo todos los materiales y mano de obra.

Por otra parte, se participó en un programa transmitido por la televisora local; ZTV de Coopealfaroruz, que se tituló *Disposición adecuada de residuos de plaguicidas y envases vacíos de plaguicidas* (Figura 36), el cual puede ser reproducido mediante el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=60JS8LB8yd8&t=50s>. En dicho programa también participaron ponentes para informar sobre la disposición adecuada de envases vacíos de plaguicidas.



Figura 36. Participación en programa de la televisora local de Zarcero ZTC para informar sobre el tema de la biocama.

Adicionalmente, se construyó una ruta de trabajo sobre el tema de la biocama con personal docente y población estudiantil del Colegio Técnico Agropecuario de Zarcero; sin embargo, este trabajo no pudo completarse debido a la suspensión de actividades presenciales por la pandemia.

### *Momento III: Diseño y validación de la biocama*

Para realizar la realimentación del diseño y validación de la biocama, se llevaron a cabo las actividades descritas previamente en este documento, las cuales son:

1. Determinación de la eficiencia de la biocama en la degradación de plaguicidas (Sección 5.4): se da a conocer cuáles residuos de plaguicidas pueden presentar una posible degradación o no; por el uso de la biocama.
2. Investigación participativa con personas agricultoras usuarias de la biocama (Sección 5.5): a partir de la participación activa de las personas agricultoras, se establecen propuestas de mejora en el sistema de la biocama (Figura 37).



*Figura 37.* Sugerencias de modificaciones al sistema de biocama realizadas por el agricultor.

Con los resultados obtenidos, se confeccionó un afiche para facilitar el proceso de información de los resultados de la eficiencia de la biocama (Figura 31), con el propósito de que fueran compartidos con más personas agricultoras y se implementen más tecnologías en el cantón de Zarceró.

#### *Momento IV: Escritura en el territorio*

La formación en la Universidad Nacional tiene y asume con responsabilidad y compromiso el logro de un proceso educador que trasciende la frontera del aula universitaria, a fin de desarrollar un proceso formador desde el territorio a partir de problematizar la realidad junto con las personas de la comunidad y desde sus territorios productivos.

Es por lo antes mencionado que se construye un proceso de diálogo interdisciplinario crítico que aporta cambios no sólo en el territorio agrícola, sino en la manera de hacer universidad; ya que se demanda aprender a problematizar la realidad; en este caso, los inconvenientes que se generan cuando no se usan plaguicidas y el daño que esto ocasiona a la salud ecosistémica y a la vida humana. Fue un

proceso asumido desde un diálogo reflexivo que generó una escritura en el territorio y en la vida universitaria.

La educación se vivió desde un aprender y desaprender en el hacer comuniversidad; se aprendió a sentipensar el territorio agrícola con vida y necesidad propia:

- Se comprendió el papel político-ético que puede tener la práctica agrícola crítica para generar procesos de transformación en la parcela, reflexionando y forjando una práctica cultivadora, solidaria, saludable y sustentable, en cada finca.
- Se diseñó y compartió un proceso educativo con la niñez y la juventud de la comunidad para impulsar procesos de cambio en el imaginario sociocomunitario sobre la práctica agrícola saludable y sustentable.
- Se logró una escritura en el territorio que brinda evidencias de un “cómo” manipular los residuos de plaguicidas de manera responsable a través de la biocama.
- Se participó activamente en el trabajo de campo para gestar diálogos reflexivos aprendientes desde el territorio y junto a las voces expertas de la práctica agrícola local.
- Se diseñó y desarrolló un espacio educador en la plataforma virtual para dar legitimidad y fuerza transformadora a las voces de las personas que forjan saber desde la parcela agrícola local.
- Se logra aprovechar la televisora local para aportar un proceso concientizador comunitario sobre el deber y el derecho que se tiene a vivir-construir una práctica agrícola alternativa.
- Se materializó el encuentro de saberes, la descolonización del hacer universidad y se abonó a una claridad teórico-conceptual en la producción académica, amalgamando las ideas de Universidad Necesaria, educación popular crítica, currículo universitario pertinente y articulación estratégica de las áreas sustantivas del quehacer académico.



*Figura 38. Diálogo con personas agricultoras.*

En síntesis, el trabajo desarrollado se generó desde un proceso educativo modular-procesual que inició con la socialización de resultados sobre el impacto negativo de los biocidas en el territorio, la salud humana y ecosistémica; para luego diseñar una estratégica de trabajo académico que permitió cambios positivos en la práctica agrícola y en la vida universitaria.

#### *Momento V: Aprendizajes tejidos y reflexión*

La participación de las personas agricultoras logra crear espacios e interacciones que aportan un mayor sentido al trabajo académico. Además, la implementación de las biocamas en campo logró abrir espacios de diálogo y reflexión sobre el uso de plaguicidas en el cantón, lo que permitió generar un cambio positivo en las actividades agrícolas que realizaban los cuatro agricultores.

A partir de todas las jornadas de trabajo realizadas con las personas agricultoras, se evidenció que es importante que las instituciones estatales puedan responder a sus necesidades y se escuchen las voces de forma respetuosa, además de crear espacios y procesos educativos, ya sean formales, no formales e informales que sean inclusivos para poder generar procesos de cambio positivos en la vida de las comunidades.

Es fundamental comprender la relevancia que tiene aprender a construir Universidad Necesaria con claridad política, ética y académica articulando los trabajos finales de graduación con las demandas y necesidades de las comunidades; de manera que se aporte a generar procesos de cambio vinculados,

en este caso, al logro de una práctica agrícola inteligente, sustentable y aportadora de bienestar a la vida ecosistémica y a la vida humana.

Fue enseñante y esperanzador ver que, cuando se propone lograr escrituras en los territorios, se logran procesos de cambio positivo en la práctica agrícola local y también, en la manera de tejer el sentipensar de la vida universitaria; por cuanto se tiene claro para qué se debe generar el conocimiento en los recintos de la Educación Superior.

## 6. Conclusiones

- La biocama es una tecnología que busca mitigar la contaminación por residuos líquidos de plaguicidas generados en fincas, la cual representa el uso de materiales que son de fácil acceso, inclusive, se pueden obtener de la misma finca. Tienen la capacidad de tropicalizarse según las necesidades y características de cada finca productora, con el fin de disminuir los riesgos ambientales y sociales por contaminación en fuentes puntuales.
- Existió evidencia para indicar que la biocama fue eficiente para degradar los plaguicidas que no se utilizan de manera intensiva; por ejemplo, azoxistrobina, carbendazim, cipermetrina, dimetoato, flutolanil, malatión, metalaxil y linuron, clasificados como fungicidas, insecticidas y herbicidas. Lo anterior debido a que las concentraciones de estos plaguicidas fueron menores a mayores profundidades en comparación a menores profundidades en la biomezcla. A partir de esto, se confirma que la biomezcla compuesta por abono y residuos vegetales brinda condiciones ambientales que favorecen la actividad microbiana para facilitar la degradación de plaguicidas, por tanto, un funcionamiento adecuado de la biocama.
- El uso de plaguicidas intensivos como clorotalonil y clorpirifos en la biocama evidenció una degradación de estos ingredientes activos en la biomezcla parcialmente, por lo que es posible que estas sustancias de uso intensivo presenten una tasa de vertido que supera la tasa de degradación. Lo anterior resulta de suma importancia, debido a que varios de los plaguicidas de uso intensivo en la horticultura son plaguicidas altamente peligrosos que pueden generar impactos negativos en el medioambiente y la salud humana.
- La participación e involucramiento de las personas agricultoras es fundamental para la identificación de las mejoras a la biocama. La creación de espacios de diálogo y reflexión sobre el uso de plaguicidas y sus efectos adversos, así como la realimentación por parte de personas usuarias, para que la biocama sea construida de acuerdo con el contexto particular de las fincas, así como los beneficios que brinda, son fundamentales para que se generalice el uso adecuado de dicha tecnología.
- La construcción de vivencias académicas donde se brinde espacio a las voces de las personas de las comunidades y la educación ambiental es fundamental para garantizar el encuentro de saberes y, de esta manera, generar procesos de cambio positivos en la vida agrícola de las comunidades y en la vida intrauniversitaria.

## **7. Recomendaciones**

- Se deben considerar las condiciones climáticas, económicas y geográficas cuando se requiera implementar una biocama, para que pueda cumplir con su función específica de degradar los residuos de plaguicidas. Para implementarse con éxito, los materiales para la construcción de la biocama deben ser accesibles para los pequeños y medianos agricultores.
- La biocama es una tecnología limpia que permite tratar ciertos residuos líquidos de plaguicidas, lo que genera un impacto positivo al medioambiente, sin embargo, es fundamental tomar en cuenta que, en primer lugar, se debe evitar en la medida de lo posible el uso intensivo de los agroquímicos a partir de las BPA como la reducción de las cantidades y calibración de los equipos.
- El uso de registros sobre los residuos de plaguicidas vertidos en la biocama por parte de los productores puede ayudar a mejorar la interpretación de los datos una vez sean cuantificados. Esto podría aportar nuevos resultados en la investigación que permitan explicar el comportamiento de ciertos plaguicidas.
- Las Buenas Prácticas Agrícolas deberían ser implementadas en todas las fincas productoras del cantón de Zarceró, con el fin de evitar o reducir los daños ambientales, principalmente por el uso intensivo de plaguicidas, en consonancia con la legislación nacional. La biocama puede ser una herramienta eficaz para el cumplimiento de la normativa en materia de disposición de residuos peligrosos líquidos.
- Se recomienda concientizar a los productores y trabajadores de finca sobre cómo utilizar la tecnología de biocama, ya que, si se utiliza de la forma correcta, puede tener una mayor eficiencia en cuanto a la degradación de los plaguicidas.
- Se recomienda realizar más pruebas con diferentes materiales que componen la biomezcla, para dar a conocer qué tanto varían las concentraciones de los plaguicidas a las diferentes profundidades (15 y 30 cm), por ejemplo, la fibra de coco. Lo anterior resultaría enriquecedor para determinar los componentes que requiere una biocama para ser más eficiente.
- Es necesario incentivar procesos de investigación participativa donde se estimule el diálogo crítico en estos territorios, para generar prácticas agrícolas saludables, sustentables y perpetuadoras de las personas agricultoras.

## 8. Referencias

- Anderson, M. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26:32-46.
- Barrantes, E. y Cartín, M. (2017). *Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica*. Cuadernos de Investigación UNED. 9(1).
- Blanco, P. (2017). Biobeds mitigan impacto de plaguicidas. *Ciencia más tecnología*. Recuperado de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/05/11/biobeds-mitigan-impacto-de-plaguicidas.html>
- Bismark, R. y Espinoza, A. (2017). *Guía muestreo de suelos*. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. Nicaragua.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Laderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., Fung, E., Martínez, R. y Donatti, C. (2015). La agricultura de Costa Rica y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?. *Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria*. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/45941/PB%20Costa%20Rica.pdf?sequence=7>
- Calvo, O., y Molina, D. (2019). *Tecnología limpia para el tratamiento de aguas residuales de plaguicidas provenientes de pequeñas y medianas fincas con cultivos de café y aguacate, en el cantón de León Cortés, zona de Los Santos*. Trabajo Final de Graduación. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Castillo, J., Delgado, L., Núñez, R., Nogales, R., y Romero, E. (2016). Enhancing pesticide degradation using indigenous microorganisms isolated under high pesticide load in bioremediation systems with vermicomposts. *Bioresource Technology*, 214 (pp. 234-241). doi: 10.1016/j.biortech.2016.04.105
- Castellano, J. (marzo, 2012). Selección y caracterización de microorganismos degradadores de plaguicidas. *Tercer Seminario en Ciencias Básicas* (pp. 90-102). Universidad de Boyacá.
- Castillo, M., Torstensson, L., & Stenstrom, J. (2008). Biobeds for environmental protection from pesticide use: a review. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 56(15). doi: 10.1021/jf800844x

- Chacón, K. (2019). *Agricultura y sostenibilidad ambiental en Costa Rica*. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Recuperado de [https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/2956/Agricultura\\_sostenibilidad\\_ambiental\\_Costa\\_Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/2956/Agricultura_sostenibilidad_ambiental_Costa_Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chavarría, P. (2015). *Manejo de residuos líquidos de plaguicidas en las aplicaciones agrícolas a través de la elaboración de un sistema de biopurificación con recirculación*. Instituto Nacional de Aprendizaje, Costa Rica.
- Córdova, E., Góngora, V., Giacomani, G., Quintal, C. y Ponce, C. (2017). Influencia de la humedad y temperatura en la disipación de cinco plaguicidas. *XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe*. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Córdoba Gamboa, L., Solano Diaz, K., Ruepert, C., & van Wendel de Joode, B. (2020). Passive monitoring techniques to evaluate environmental pesticide exposure: Results from the Infant's Environmental Health study (ISA). *Environmental research*, 184, 109243. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109243>
- Cooper, R., Fitt, P., Hiscock, K., Lovett, A., Gumm, L., Dugdale, S., Rambohul, J., Williamson, A., Noble, L., Beamish, J., & Hovesen, P. (2016). Assessing the effectiveness of a three-stage on-farm biobed in treating pesticide contaminated wastewater. *Journal of Environmental Management*, 181 (pp. 874-882). doi: 10.1016/j.jenvman.2016-06-047
- Cuevas, I., Rocha, L. y Soto, M. (2016). Las tecnologías verdes en la agroindustria en México: caso de dos empresas hortofrutícolas. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*. Recuperado de <https://riico.net/index.php/riico/article/view/1406/1074>
- Del Puerto, A., Suárez, S. y Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 52(3) 372-387.
- Díaz, O. y Betancourt, C. (2018). Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2).
- Durán, A. y Wei, S. (2015). Caracterización del uso del suelo en las principales áreas agrícolas de la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica. *Agron. Costarricense*, 39(1).

- EPA. (2018). *Definición de plaguicidas*. Agencia de Protección Ambiental. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pesticidas#pesticida>
- FAO y OMS. (2019). Directrices sobre los plaguicidas altamente peligrosos. *Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas*. Roma 46 pp.
- García, A., Rodríguez, C., Restrepo, E. y Sánchez, A. (2017). Residuos de plaguicidas en tomate (*Solanum lycopersicum*) comercializado en Armenia, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 24(2). doi: 10.17533/udea.vitae.v24n2(2)a08.
- Guerra, V. (2020). *Camas biológicas: una herramienta versátil y proactiva para el uso adecuado de fitosanitarios*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7941/RIA\\_VOLUMEN46\\_N%c2%b02\\_p.140-144.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7941/RIA_VOLUMEN46_N%c2%b02_p.140-144.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Góngora, V., Quintal, C., Arena, L., Giácoman, G., & Ponce, C. (2018). Identification of microbial species present in a pesticide dissipation process in biobed systems using typical substrates from southeastern Mexico as a biomixture at a laboratory scale. *Sci total Environ*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.082
- Gordon, C. y Marrugo, J. (2018). Prácticas agrícolas y riesgos a la salud por el uso de plaguicidas en agricultores Subregión Mojana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1).
- Hernández, A. y Hansen, A. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 27(2).
- Hernández, S.; Fernández, C. y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 edición. Mc Graw Hill Interamericana.
- Hidalgo, D., Calvo, O. y Loría, R. (2015). Sistemas de saneamiento básico rural con tecnologías limpias, un enfoque innovador y seguro para la población trabajadora en fincas: la experiencia con recolectores en la zona de Los Santos, Costa Rica. *SALTRA* 13. Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/11473/18.pdf?sequence=1>
- INEC. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Atlas estadístico agropecuario*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de [http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01\\_atlas\\_estadistico\\_agropecuario\\_2014.pdf](http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01_atlas_estadistico_agropecuario_2014.pdf)

- IRET. (2018). *Estrategia integral para disminuir el uso de plaguicidas en la agricultura y mejora de la calidad ambiental en Zarcero, Alajuela*. Proyecto Académico, Universidad Nacional. Costa Rica.
- IRET. (2019). *Manual de plaguicidas de Centroamérica*. Instituto Regional del Estudio en Sustancias Tóxicas. Universidad Nacional. Recuperado de <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/>
- Jiménez, M. (2018). *Evaluación del potencial de degradación de biocamas con microorganismos descomponedores de clorotalonil en la finca experimental Santa Lucía*. Informe final de graduación. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Jiménez, A. (2021). Clorotalonil, efectos sobre la salud y el medio ambiente. Universidad de Ciencias y Artes.
- MAG. (2008). *Buenas prácticas agropecuarias*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-4955.PDF>
- MAG. (2022). *Caracterización del área de influencia de agencia: Agencia de Extensión Agropecuaria de Zarcero*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/regiones/centraloccidental/Caracterizacion-AEA-Zarcero.pdf>
- Montoro, Y., Moreno, R., Gomero, L. y Reyes, M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la Sierra Central de Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 26(4) 466-72, 289-301.
- Molina, Y., Flores, M., Balza, A., Benítez, P. y Miranda, L. (2012). Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28(4).
- Mora, A. y Ramírez, F. (s.f). *Uso de plaguicidas en fincas hortícolas en Costa Rica: desafíos y oportunidades para la salud, medio ambiente y las políticas*. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional.
- Municipalidad de Zarcero. (2016). *Cantón de Zarcero: breve reseña*. Recuperado de: <http://www.zarcero.go.cr/sobre-zarcero>

- Muñoz, M., Lucero, B., Iglesias, V. y Muñoz, P. (2014). Vías de exposición a plaguicidas en escolares de la Provincia de Talca, Chile. *Gaceta Sanitaria*, 28(3). doi: 10.1016/j.gaceta.2014.01.003
- NMKL (2013). *Method 195: Pesticide residues. Analysis in foods with ethyl acetate extraction using gas and liquid chromatography with tandem mass spectrometric determination*. Nordic Committee On Food Analysis.
- Leal, S., Valenzuela, A., Gutiérrez, M., Bermúdez, M., García, J., Aldana, M., Grajeda, P., Silveira, M., Camareana, B. y Valenzuela C. (2013). *Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. México.
- PAN. (2016). *Lista de plaguicidas altamente peligrosos de PAN internacional*. Pesticide action network international. Alemania. Recuperado de [https://rap-al.org/wp-content/uploads/2017/09/HHP-Lista-PAN-2016-actual-traducida-espa%C3%B1ol\\_29agosto17.pdf](https://rap-al.org/wp-content/uploads/2017/09/HHP-Lista-PAN-2016-actual-traducida-espa%C3%B1ol_29agosto17.pdf)
- Palma, G., Diez, M., Altamirano, C., Briceño, G., Calderón, C., Díaz, J., Rubilar, O. y Tortella, G. (2013). *Manual de construcción y operación de lechos biológicos*. Universidad de la Frontera, Instituto de Agroindustria (26-28).
- Pérez, W. y Forbes, G. (2016). *Tipos de plaguicidas*. División de Manejo Integrado de Cultivos. Fondo Internacional de desarrollo agrícola.
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (1998). *Reglamento sobre las características y listado de los desechos peligrosos industriales*. N° 27000-MINAE.
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2008). *Reglamento sobre Registro, Uso y Control de plaguicidas sintéticos formulados, ingrediente activo grado técnico, coadyuvantes y sustancias agines de uso agrícola*. Art 2. Costa Rica.
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2013). *Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos*. N° 37788-S-MINAE.
- Quintero, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium*, 29(15). doi: 10.21500/01247492.1347.

- Ramírez, F. (2015). Buenas prácticas agrícolas para el mejoramiento ambiental de la zona de Zarcero, Alajuela, Costa Rica. *Programa SALTRA*, 12. Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/10246/3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, F.; Orozco, M.; Fournier, M.; Berrocal, S.; Echeverría, S.; de la Cruz, E.; Chaverri, F.; Moroga, G.; Solano, K.; Alfaro, A.; Pinnock, M.; Rodríguez, G.; Bravo, V.; Calvo, A., y Ruepert, C. (2017). *Las buenas prácticas agrícolas en el uso y manejo de agroquímicos en la zona hortícola de Zarcero, Alajuela*. Instituto Regional del Estudio en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional.
- Rodríguez, S., Herrero, E., Andrades, M. y Marín, J. (2015). Disipación del fungicida azoxistrobina en un suelo de viñedo de la Rioja enmendado con sustrato postcultivo del champiñón: experimento en campo y laboratorio. *Enoviticultura*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, España.
- Rojas, A. (2016). *Elaboración de un mecanismo de cobertura nacional para el manejo de la contaminación difusa*. Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://da.go.cr/wp-content/uploads/2017/01/Informe-Final-Contaminacion-Difusa-UCR.pdf>
- Sánchez-Brunete, C., Albero, B., & Tadeo, J. L. (2004). Multiresidue determination of pesticides in soil by gas chromatography-mass spectrometry detection. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(6), 1445–1451. <https://doi.org/10.1021/jf0354646>
- Servicio Fitosanitario del Estado. (1997). *Ley de Protección Fitosanitaria*. Art. 2. Costa Rica. Promulgado 1997.
- SEPSA. (2019). *Costa Rica: área y producción de todas las actividades agropecuarias 2015-2019*. Direcciones Regional del MAG. Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense.
- Somoza, A., Vázquez, P. y Zulaica, L. (2018). Implementación de buenas prácticas agrícolas para la gestión ambiental rural. Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3).
- Stamatiu, K. (2013). *Tolerancia y biodegradación de plaguicidas con hongos filamentosos*. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Recuperado de [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2175/1/Stamatiu\\_Sanchez\\_K\\_DC\\_Entomologia\\_Acarologia\\_2013.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2175/1/Stamatiu_Sanchez_K_DC_Entomologia_Acarologia_2013.pdf)

Tovar, M., Losada, G. y García, T. (2015). Impacto en la salud por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos. *USBMed*. 6(1). Universidad Cooperativa de Colombia.

Vargas, E. (2021). *Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Costa Rica. Recuperado de [https://d1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2022/05/USO-APARENTE-DE-PLAGUICIDAS\\_MAY22\\_VF\\_PRINT.pdf](https://d1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2022/05/USO-APARENTE-DE-PLAGUICIDAS_MAY22_VF_PRINT.pdf)

## 9. Anexos

### Anexo 1. Instrumento de recolección de datos

#### ENTREVISTA SOBRE PLAGUICIDAS EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS FINCAS:

#### DIRIGIDA A PRODUCTORES

Fecha: \_\_\_\_\_

#### 1. Datos generales

Finca: \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Tamaño de la finca: \_\_\_\_\_

Cantidad de producción por cosecha: \_\_\_\_\_

#### 2. Uso y manejo de plaguicidas

2.1. Uso de plaguicidas durante la preparación del terreno, mantenimiento y cosecha: fungicidas, insecticidas, nematicidas, abonos, entre otros.

Cultivo y área sembrada	Cuáles plaguicidas utiliza	Cantidad de caldo de dilución por hectárea	Frecuencia

2.2.¿Considera usted una proyección de cultivos nuevos?

( ) Sí. ¿Cuáles? \_\_\_\_\_

( ) No

2.3.¿En qué se basa para realizar las mezclas de plaguicidas?

( ) Experiencia propia

( ) Experiencia técnica

( ) Casa comercial

Otro: \_\_\_\_\_

2.4. Si se basa en la experiencia propia, ¿ha obtenido buenos resultados en sus cosechas?

( ) Sí

( ) No

### **3. Disposición de residuos de plaguicidas**

3.1. ¿Hacia dónde se dirigen los residuos de plaguicidas generados? Incluyen: aguas de lavado de equipo, triple lavado de envases, mezclas de plaguicidas, entre otros.

( ) Cuerpos de agua

( ) Alcantarillado

( ) Sin control

Otros: \_\_\_\_\_

3.2.¿Cómo lava el equipo de aplicación de plaguicidas?

\_\_\_\_\_

3.3.¿Practica alguna técnica que le ayude a disminuir el uso de plaguicidas en la producción agrícola?

( ) Sí. ¿Cuál? \_\_\_\_\_

( ) No

3.4. ¿Con cuántas bombas de aplicación para plaguicidas cuenta para usar en la finca?

1-2

2-3

3 o más

3.5. ¿Tiene bombas de aplicación para cada tipo de plaguicida?

Sí

No

3.6. A la hora de aplicar un plaguicida nuevo ¿lee las indicaciones del envase y hoja de seguridad?

Sí

No

3.7. Si lee las indicaciones de los envases, ¿cuál es el motivo?

---

3.8. ¿Conoce usted algún sistema de tratamiento de residuos de plaguicidas para las fincas?

Sí. ¿Cuál? \_\_\_\_\_

No

## Anexo 2. Imágenes ilustrativas sobre información brindada a productores

Utilice siempre que sea posible métodos alternativos para manejar problemas fitosanitarios que presenten sus cultivos **juse plaguicidas como la última opción!**



Cuando usted deposita en el suelo:

1. Los sobrantes de plaguicidas después de una aplicación
2. Las aguas de lavado de las bombas
3. O cuando derrama accidentalmente plaguicida durante la medición, trasvase o dilución

**¡Puede estar liberando al ambiente una gran cantidad de plaguicida de forma innecesaria!**

**¿Sabía qué...?**

Pequeñas cantidades de plaguicidas pueden contener hasta 1 gramo de ingrediente activo (la sustancia que "mata"), si esto cae al suelo y forma una mancha de 10 centímetros por lado, se tendría 1 gramo de ingrediente activo de plaguicidas por decímetro cuadrado, ¡que equivale a 1 tonelada de plaguicida por hectárea!



**¿Usted puede hacer algo en su finca para disminuir la contaminación ambiental por residuos de plaguicidas?**



Es muy importante evitar liberar sustancias químicas al ambiente de forma innecesaria, en Zarcero se ha detectado la presencia de plaguicidas altamente peligrosos en suelo, nacientes y ríos, donde causan la muerte de organismos y fauna benéfica, además estar expuestos a estos plaguicidas ¡puede tener efectos nocivos en toda nuestra comunidad!!

**¿Le gustaría conocer más sobre la biocama?**

Contacte a Mary Paz Jiménez Domínguez a través del correo [marypazj15@hotmail.com](mailto:marypazj15@hotmail.com) o al teléfono 8320-6848



**¡Sí! por medio del uso de la biocama**

La biocama es una tecnología limpia para fincas pequeñas y medianas que tiene la función de retener y degradar los residuos de plaguicidas, evitando que pasen al suelo y a cuerpos de agua.



¡La eliminación de los plaguicidas en la biocama se realiza gracias a que nosotros los microorganismos los degradamos!!

Para que nosotros podamos realizar lo anterior, usted debe:

1. Depositar en la biocama sobrantes de mezclas de plaguicidas y aguas de lavado de equipos
2. Medir, trasvasar, diluir los plaguicidas encima de la biocama para evitar derrames

La biocama se puede construir en un estañon como se muestra a continuación:



- 15 cm de granza de arroz
- 1 carretillo de mezcla en partes iguales de abono orgánico (compost, lombricompost) y residuos vegetales frescos
- 1 carretillo de suelo
- 5 cm de carbón
- 15 cm de una mezcla en partes iguales de piedra y arena

**¡ÁNIMESE A UTILIZAR LA BIOCAMA!**

Es una tecnología sencilla, de bajo costo, los materiales para su construcción son de fácil acceso, algunos pueden conseguirse en la misma finca, además ha demostrado ser **EFFECTIVA** degradando plaguicidas



Anexo 3. Registro de vertido de plaguicidas en biocama.

Fecha	Cultivo	Plaguicidas utilizados	Dosis aplicada	Residuos			Cantidad depositada
				Mezcla	Lavado de equipos	Triple lavado	



Anexo 5. Cuestionario aplicado a productores participantes en la investigación

1. ¿La biocama instalada en su finca se encuentra bajo techo?  
 Sí  
 No
2. En caso de responder “no” a la pregunta anterior, ¿la biocama se ha inundado?  
 Sí  
 No
3. ¿Considera usted que la biocama es una alternativa para disminuir la contaminación por el uso de plaguicidas?  
 Sí  
 No
4. ¿Considera usted que la biocama es una tecnología fácil de utilizar? ¿Por qué?
5. ¿Cuántos días a la semana utiliza la biocama?  
 1  
 2  
 3 o más
6. ¿Considera usted que la biocama se debe instalar en un espacio cercano de donde se realizan las mezclas de plaguicidas?  
 Sí  
 No
7. ¿Considera usted que se requiere más de una biocama según el tamaño de la finca?  
 Sí  
 No
8. ¿Lleva usted un control de las cantidades y tipos de plaguicidas vertidos en la biocama?  
 Sí  
 No
9. Del 1 al 3, donde 1 es la calificación más baja y 3 la más alta. Califique  
Facilidad de construcción de la biocama:  1  2  3  
Acceso a materiales para la construcción:  1  2  3
10. ¿Recomendaría este tipo de tecnología a otros(as) productores? ¿Por qué?
11. Comentario o recomendaciones sobre la biocama.

Anexo 6. Concentraciones de plaguicidas detectados en laboratorio.

**Resultados análisis de residuos de plaguicidas en muestras de biocamas**

**Servicio** S19-06  
**Nombre** Mary Paz Jimenez, TFG-IGA  
**Informe:** 2/11/2022

N° Lab			20-065	20-066	20-067	20-068	20-078
Código			B1-15	B1-30	C1-15	C1-30	B2-15
Descripcion/sitio			Finca B	Finca B	Finca C	Finca C	Finca B
Fecha ingreso			20/02/20	20/02/20	20/02/20	20/02/20	05/03/20
Sustancia	unidad	limite de reporte					
azoxistrobina	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
carbendazim	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	0,01
clorotalonil	µg/g ph	0,01	nd	9,2	9,2	18,1	nd
clorpirifos	µg/g ph	0,01	nd	3,5	3,5	8,9	nd
cipermetrina	µg/g ph	0,01	nd	3,7	3,7	10,3	nd
dimetoato	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
flutolanil	µg/g ph	0,01	0,70	nd	nd	nd	0,08
imidacloprid	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	0,01
linuron	µg/g ph	0,01	0,43	nd	nd	nd	0,97
malation	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	0,49
metalaxil	µg/g ph	0,01	nd	nd	0,09	0,16	0,03
oxamil	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
tebuconazol	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
tiametoxam	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
trifloxistrobina	µg/g ph	0,01	nd	nd	nd	nd	nd

**Comentario:**

las muestras fueran extraidas en duplicada

fueron analizadas mediante GCMS Y LCMSMS en Laboratorio de Analisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP-IRET-UNA)

la mayoría de los resultados reportados son un promedio de los analisis en duplicado

basado en los analisis de duplicados se estima un incertidumbre en el resultado analitico de 30%

nd = significa no detectado por encima del limite de reporte

N° Lab	20-079	20-080	20-081	20-181	20-182	20-183	20-184 A*	20-185
Código	B2-30	C2-15	C2-30	A1-15	A1-30	C3-15	C3-30	B3-15
Descripcion/sitio	Finca B	Finca C	Finca C	Finca A	Finca A	Finca C	Finca C	Finca B
Fecha ingreso	05/03/20	05/03/20	05/03/20	02/09/20	02/09/20	02/09/20	02/09/20	02/09/20
Sustancia								
azoxistrobina	nd	nd	nd	0,1	0,2	nd	nd	nd
carbendazim	nd	1,0	nd	nd	nd	nd	nd	0,80
clorotalonil	nd	141	256	nd	0,03	45,5	36,3	nd
clorpirifos	nd	318	nd	0,50	0,40	2,9	0,78	0,04
cipermetrina	nd	25,0	7,0	nd	nd	5,1	1,7	nd
dimetoato	nd	1,0	nd	nd	nd	nd	nd	0,78
flutolanil	0,14	nd	nd	nd	0,11	nd	nd	0,43
imidacloprid	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,18
linuron	1,69	nd	nd	2,72	nd	nd	nd	2,72
malation	0,20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,13
metalaxil	nd	27,1	12,1	0,36	1,99	7,33	nd	2,09
oxamil	nd	nd						
tebuconazol	nd	nd	nd	5,40	nd	nd	nd	7,8
tiametoxam	nd	nd						
trifloxistrobina	nd	1,8						

N° Lab	20-186	22-014	22-015	22-077	22-078	22-136	22-137**
Código	B3-30	D1-15	D1-30	D2-15	D2-30	D3-15	D3-30
Descripcion/sitio	Finca B	Finca D					
Fecha ingreso	02/09/20	12/03/22	12/03/22	30/04/22	30/04/22	20/06/22	20/06/22
Sustancia							
azoxistrobina	nd	5,6	3,3	10,7	1,4	3,0	2,9
carbendazim	0,38	nd	nd	nd	nd	nd	nd
clorotalonil	0,02	nd	nd	0,10	nd	3,2	6,9
clorpirifos	0,01	nd	nd	0,10	nd	0,88	7,9
cipermetrina	1,2	nd	nd	0,25	nd	nd	nd
dimetoato	0,34	nd	nd	nd	nd	nd	nd
flutolanil	0,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd
imidacloprid	nd						
linuron	0,68	nd	nd	11,8	1,56	5,5	2,8
malation	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd
metalaxil	0,67	nd	nd	nd	nd	nd	nd
oxamil	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd
tebuconazol	8,2	nd	nd	nd	nd	nd	nd
tiametoxam	nd	0,42	0,24	0,80	0,12	0,61	0,74
trifloxistrobina	1,1	nd	nd	nd	nd	nd	nd