

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Propuesta de tratamiento de aguas residuales de lavado de equipo agronómico utilizando biofiltros.

TESIS DE GRADO

ANA CRISTINA LÓPEZ BARILLAS
CARNET 10092-10

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, FEBRERO DE 2016
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Propuesta de tratamiento de aguas residuales de lavado de equipo agronómico utilizando biofiltros.

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR

ANA CRISTINA LÓPEZ BARILLAS

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, FEBRERO DE 2016

CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANO: MGTR. JOSE CARLOS RICARDO VELA SCHIPPERS
VICEDECANO: MGTR. JORGE ANTONIO GUILLEN GALVAN
SECRETARIA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA
DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

ING. ANNA MARGARITA RIOS GONZALEZ
ING. JOSÉ MANUEL CASTAÑEDA ORELLANA
ING. SILVIA ZUCELY CASTILLO MONTERROSO

Guatemala, 27 de Noviembre del 2015

Ing. Karen Morales
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

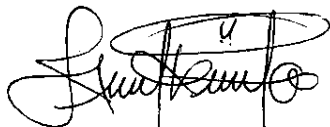
Estimada Ingeniera:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final de tesis titulado: "PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE EQUIPO AGRONÓMICO UTILIZANDO BIOFILTROS" de la estudiante Ana Cristina López Barillas, quien se identifica con el número de carnet 1009210. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo de tesis.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



MA. Ing. Jose Antonio Rosal Chicas
Asesor de Tesis

JOSÉ ANTONIO ROSAL
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE
COLEGIADO No. 1837

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante ANA CRISTINA LÓPEZ BARILLAS, Carnet 10092-10 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 029-2016 de fecha 5 de febrero de 2016, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

Propuesta de tratamiento de aguas residuales de lavado de equipo agronómico utilizando biofiltros.

Previo a conferirsele el título de INGENIERA QUÍMICA en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de febrero del año 2016.



**MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA, SECRETARÍA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar**

Índice

Capítulos y secciones

Índice.....	4
Resumen ejecutivo	10
Descriptores.....	10
I. Introducción	11
1.1. Lo escrito sobre el tema	12
1.2. Marco Teórico.....	13
1.2.1. Plaguicidas.....	13
Ciclo de vida de los Productos para la Protección de Cultivos	13
Clasificación.....	14
Tipos de formulaciones	15
Toxicología.....	15
1.2.2. Riesgos en manejo de plaguicidas	16
1.2.3. Contaminación por plaguicidas.....	16
1.2.4. Contaminación puntual de plaguicidas	18
Triple lavado a envases	19
Lavado de bombas de aplicación	20
1.2.5. Degradación de plaguicidas	20
1.2.6. Clorotalonil	21
Medidas de disposición recomendadas por el productor	21
Bravo® 72 SC	23
Degradación del Clorotalonil	23
1.2.7. Tecnologías de remoción de plaguicidas.....	24
Lechos biológicos.....	25
Mecanismo de acción en lechos biológicos: Oxidación biológica	25
Biodegradación de la lignina	26
Elementos del lecho biológico	27
Factores con efecto sobre el funcionamiento de un lecho biológico	30
Propuesta Agrequisa: BIODÉP	31
Cálculo de volumen máximo de efluentes a ingresar al Biofiltro	33
Lechos biológicos a pequeña escala (sin sistema mecánico de recirculación)	33
Variaciones a propuesta original	35
1.2.8. Importancia y beneficios para los agricultores de utilizar filtros biológicos.....	36
1.2.9. Normativas en Guatemala para aguas residuales y uso de plaguicidas ..	38
Acuerdo Gubernativo 377-90	38
Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	38
1.2.10. Medida de Biodegradabilidad.....	40
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	40
II. Planteamiento del problema.....	42
2.1 Objetivos.....	43
2.1.1. Objetivo general	43
2.1.2. Objetivos específicos.....	43
2.2 Hipótesis.....	43

2.3	Variables	43
2.4	Definición de las variables.....	43
2.5	Alcances y límites	45
2.6	Aporte.....	47
III.	Método.....	48
3.1.	Tipo de estudio.....	48
3.2.	Instrumentos.....	48
3.2.1.	Materiales.....	48
3.2.2.	Costeo promedio de materiales	48
3.3.	Procedimiento experimental.....	49
3.3.1.	Construcción de filtro biológico	50
3.3.2.	Simulación de lavado de tanque	51
3.3.3.	Modificaciones al procedimiento durante etapa experimental	52
3.4.	Diseño y metodología	52
3.4.1.	Diseño unidad experimental	52
3.4.2.	Descripción de la unidad experimental	53
3.4.3.	Variable respuesta y Metodología de análisis	53
IV.	Presentación y análisis de resultados.....	54
V.	Discusión.....	57
VI.	Conclusiones.....	60
VII.	Recomendaciones.....	61
VIII.	Referencias.....	62
IX.	Anexos	65
9.1.	Etiqueta del producto comercial: Bravo 72 SC.....	65
9.2.	Panfleto del producto comercial: Bravo 72 SC.....	66
9.3.	Panfleto AGREQUIMA: BIODÉP	69
9.4.	Documentación del procedimiento realizado en etapa experimental.....	71
9.4.1.	Materia prima biomezcla.....	71
9.4.2.	Ensamblaje del biofiltro.....	72
9.4.3.	Maduración y proceso de simulación de lavado de tanque	73
9.4.4.	Camas biológicas en finca Jardines Mil Flores: Syngenta®.....	74
9.5.	MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN Y USO PARA EL PEQUEÑO AGRICULTOR	75
9.6.	Datos, cálculos, observaciones y resultados de etapa experimental.....	77
9.6.1.	Datos.....	77
9.6.2.	Cálculos.....	78
9.6.3.	Observaciones.....	79
9.6.4.	Resultados.....	80

Gráficas

Gráfico 1. Distribución fuentes de contaminación por plaguicidas.....	18
Gráfico 2. Degradación del Clorotalonil.....	24
Gráfico 3. Influencia de distintos volúmenes de paja añadidos a la biomezcla sobre la vida media de tres herbicidas: Bentazona, Cloridazon y Linuron.....	29
Gráfico 4. Oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica presente en las muestras evaluadas en CONCALIDAD	55
Gráfico 5. Volumen de líquido ingresado y efluentes del sistema de biofiltro compuesto	55
Gráfico 6. %Remoción y %Retención presentado en efluentes de las corridas de recirculación durante la etapa experimental respecto a volumen y oxígeno requerido para degradación de la muestra ingresada	56

Imágenes

Figura 1. Afiche CropLife para el uso correcto de plaguicidas.....	16
Figura 2. Propagación de los plaguicidas en el ambiente.....	17
Figura 3. Afiche triple lavado difundido por Agrequima y CropLife	19
Figura 4. Estructura química del clorotalonil y cinco productos de degradación	23
Figura 5. Estructura de la lignina y Phanerochaete Chrysosporium	26
Figura 6. Esquema de la degradación de la lignina incluyendo reacciones enzimáticas y procesos de oxidación	27
Figura 7. Tipos de BIODÉP	31
Figura 8. Diseño de mesa biológica (BIODÉP)	32
Figura 9. Diseño de cama biológica (BIODÉP)	32
Figura 10. Diseño de cama biológica cerrada	32
Figura 11. Estructura de biofiltros compuestos	36
Figura 12. Modificación realizada al diseño inicial del biofiltro compuesto.....	52
Figura 13. Diseño del filtro biológico realizado para la fase experimental	52
Figura 14. Recomendaciones propuestas para mejorar la eficiencia del biofiltro compuesto diseñado.....	61
Figura 15. Materia prima utilizada para la biomezcla	71
Figura 16. Ensamblaje del biofiltro realizado en proceso experimental	72
Figura 17. Proceso de maduración de biomezcla, establecimiento de filtro biológico y aplicación de producto	73
Figura 18. Cambas biológicas presentes en finca JMF Syngenta®.....	74
Figura 19. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #1.....	80
Figura 20. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #2.....	81
Figura 21. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #3.....	82

Tablas

Tabla 1. Clasificación de plaguicidas por función, modo de acción y familia.....	14
Tabla 2. Clasificación según toxicidad.....	15
Tabla 3. Volúmenes de lavado de bombas de aspersión.....	20
Tabla 4. Vida media de distintos plaguicidas.....	20
Tabla 5. Propiedades del Clorotalonil.....	22
Tabla 6. Tasa de degradación DT_{50} y DT_{90} , coeficiente de degradación K_{deg} y coeficiente de determinación R^2 para la degradación de Clorotalonil en superficie de suelo y biomezcla para I.A. individual y en mezcla.....	24
Tabla 7. Características fisicoquímicas de biomezcla según composición.....	29
Tabla 8. Comparación BIODER Agrequina y propuesta biofiltro compuesto.....	37
Tabla 9. LMP de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores (Acuerdo 236-2006).....	39
Tabla 10. LMP para descarga de aguas residuales en esteros DBO (Acuerdo 236-2006).....	39
Tabla 11. LMP para descarga de aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público (Acuerdo 236-2006).....	40
Tabla 12. Costo promedio de materiales para biofiltro durante experimentación.....	48
Tabla 13. Resultados para volúmenes de efluentes y DQO de las muestras enviadas al laboratorio CONCALIDAD, S.A.....	54
Tabla 14. Datos del producto comercial Bravo® 72SC.....	77
Tabla 15. Dosis recomendadas para control fungicida a los diferentes cultivos registrados para aplicación de Bravo®72SC.....	77
Tabla 16. Concentración de Bravo®72SC y Clorotalonil en 1L de mezcla de producto listo para aplicación.....	77
Tabla 17. Datos de preparación de mezclas para simulación de lavado de bomba de aspersión.....	78
Tabla 18. Datos de pH medidos durante proceso experimental haciendo uso de papel pH.....	78
Tabla 19. Volúmenes y concentración de Clorotalonil en las mezclas para simulación de lavado de bomba de aspersión y el total ingresado al Biofiltro.....	79
Tabla 20. Observaciones durante proceso de experimentación.....	79

Ecuaciones

Ecuación 1. Volumen de agua a ingresar al biofiltro.....	33
Ecuación 2. Volumen máximo de agua a ingresar en el biofiltro.....	33
Ecuación 3. Masa de Clorotalonil en la mezcla.....	78
Ecuación 4. Moles de Clorotalonil en la mezcla.....	78
Ecuación 5. Concentración M de Clorotalonil en la mezcla.....	78

Resumen ejecutivo

El presente documento, denominado “Propuesta de tratamiento de aguas residuales de lavado de equipo agronómico utilizando biofiltros” elaborado por Ana Cristina López Barillas para optar al título de Ingeniera Química en la Universidad Rafael Landívar; se realizó con el objetivo de diseñar, construir y evaluar la eficiencia de un sistema de biofiltro a pequeña escala para desecho de agua de lavado de tanques y retención de derrames accidentales durante procesos de llenado y preparación de mezcla. Durante la etapa de diseño, se tomaron en cuenta las bases del modelo de mesa biológica propuesta por AGREQUIMA y los diversos estudios realizados en Suecia; se determinó que la mejor alternativa para cumplir las necesidades establecidas pero basado en la realidad del pequeño agricultor en Guatemala, consistía en un biofiltro compuesto. Para la etapa de elaboración, se hizo uso de materiales de bajo costo y fácil acceso. Finalmente, en la etapa de experimentación se puso a prueba la efectividad del biofiltro mediante una simulación de un proceso de lavado de bomba de aspersión utilizando una dilución de Bravo® 72SC.

Se realizaron análisis de DQO y medición de volúmenes para los efluentes generados luego de la primera aplicación y de los tres procesos de recirculación manual que fueron realizados. Se comprobó un aumento progresivo del porcentaje de retención y remoción; obteniéndose un 66% de remoción en los efluentes de un primer proceso de recirculación y un 100% de remoción luego de un tercer proceso de recirculación y 45 días transcurridos desde el ingreso de la muestra. De esta manera, fue posible concluir la factibilidad de la aplicación de este biofiltro en campos de pequeños agricultores por su efectividad, bajo costo, facilidad en uso y elaboración. La recomendación realizada, luego de finalizar este estudio, consiste en añadir carbón de coco a la biomezcla para aumentar aún más el factor de retención y disminuir el número de procesos manuales de recirculación.

Descriptorios

- Biofiltro compuesto
- Agroquímicos
- Plaguicidas
- Tratamiento de aguas
- Prevención a contaminación puntual
- Lavado de bombas de aspersión
- Pequeños agricultores
- Oxidación biológica

I. Introducción

Actualmente el mundo enfrenta grandes retos debido al crecimiento del tamaño de la población y la velocidad de la urbanización. La cantidad de recursos cada vez es más limitada y el uso que le damos a los mismos no es sostenible. Por esta razón, varias compañías alrededor del mundo se han dedicado a producir y comercializar productos agroquímicos, con el fin de apoyar a los agricultores a producir más alimento con menos recursos. La necesidad del uso de agroquímicos como aliados para la protección y aumento en la productividad de la tierra cada vez es más frecuente.

Sin embargo, este incremento en el uso de plaguicidas en el sector agrícola, aumenta la posibilidad de contaminación de suelo y aguas superficiales/subterráneas por manejo o eliminación inadecuada. La presencia de plaguicidas en sistemas acuáticos es un riesgo potencial para la población y para la vida animal e inocuidad alimentaria. Ya sea por contaminación difusa (aplicación en campo) o contaminación puntual (área de preparación previo a aplicación), los plaguicidas pueden llegar a cuerpos de aguas superficiales o subterráneos.

Durante los procesos de aplicación de agroquímicos directo en el campo, se utiliza equipo de aplicación y de protección personal. Tanto los tanques de aspersión como los guantes y otro equipo utilizado directamente por el aplicador, queda con residuos de agroquímicos que usualmente son removidos con agua fresca. Las aguas de lavado no deben ser desechadas de forma directa debido a que son una fuente puntual de contaminación al medio ambiente. Se ha evidenciado especialmente en los pequeños agricultores el desecho incorrecto de residuos y la falta de una herramienta que permita prevenir contaminación por derrames durante proceso de llenado.

Guatemala es un país en vías de desarrollo, con varias zonas de escasos recursos en donde no es posible realizar altas inversiones para establecer un sitio apropiado de desecho o retención de derrames accidentales de residuos químicos. Las herramientas actuales (BIODEP tipo mesa biológica de Agrequima) representan un costo elevado y son de difícil implementación, por esta razón se ha optado a no utilizarlas y optar por un desecho directo sin tratamiento previo a los residuos. En algunas zonas, la fuente principal de recursos hídricos son los ríos y el consumo directo del agua puede llegar a ser peligroso por la presencia de estos componentes químicos tóxicos.

Con el fin de prevenir la contaminación a fuentes hídricas, aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Química con mención ambiental, se propone y construye un sistema de filtro biológico que proporcionará un sitio óptimo para depositar residuos de lavado de tanques de aspersión y la retención de residuos de derrames accidentales. El sistema permite la degradación biológica de los componentes orgánicos y la evaporación de residuos para evitar el contacto con el suelo, aguas subterráneas o superficiales. El propósito de este trabajo consiste en evaluar la eficiencia de la propuesta y la viabilidad de su aplicación para los fines mencionados anteriormente.

1.1. Lo escrito sobre el tema

Las publicaciones en Guatemala son limitadas, la Asociación del Gremio Químico Agrícola de Guatemala (AGREQUIMA), posee una propuesta de filtro ecológico para el desecho de agua de lavado de tanques. La información sobre la realización, ventajas y aspectos a tomar en cuenta; se encuentra publicada en bifolios llamados “Un sistema sencillo y accesible para evitar la contaminación del suelo y agua” (Referirse a sección de Anexos: Anexo 9.3) y en el sitio web de la Asociación. No fueron localizados estudios por parte de AGREQUIMA u otra entidad en Guatemala, de la eficiencia y aplicabilidad de los BIODEP implementados en Guatemala.

El sistema de camas biológicas fue originado y desarrollado en Suecia como respuesta a la necesidad de un método simple y efectivo para minimizar la contaminación ambiental por el uso de pesticidas, especialmente al llenar equipo de aplicación. Múltiples estudios realizados por Castillo y Torstensson, del departamento de Microbiología de la Swedish University of Agricultural Science, presentan una amplia variedad de bases y fundamentos para la elaboración, composición de la biomezcla, funcionamiento, proceso de degradación de agroquímicos y efectividad de las camas biológicas. Entre sus múltiples publicaciones es importante mencionar las siguientes por su utilidad en el estudio realizado: Use of Biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment (1997) en donde se concluye que es frecuente la contaminación puntual por llenado de tanques de aspersión y que las camas biológicas son un medio simple y económico que resulta ser efectivo para retener y degradar cualquier posible derrame que pueda representar un riesgo de contaminación para las fuentes hídricas. En el trabajo, Biobeds for Environmental Protection from Pesticide Use – A Review (2008), en donde se exponen los aspectos relacionados a la construcción y funcionamiento de las camas biológicas. En el mismo se concluye recalcando la importancia de cada fase en la efectividad del sistema y su adaptabilidad a las condiciones de los diferentes países, en especial a los países en vías de desarrollo, sin embargo se necesitan más estudios para evaluar la eficiencia de la modificación en la fuente de lignina y cualquier otro material de la biomezcla.

Hay una gran diversidad de estudios realizados en el exterior que demuestran la efectividad de las biomezclas para la degradación de componentes orgánicos, incluyendo los pesticidas. Fogg, Boxall, Walker y Jukes (2003), en su trabajo, Pesticide degradation in a biobed composting substrate, presentan los resultados a un estudio realizado con el fin de determinar la efectividad de las camas biológicas para el desecho de agua con pesticidas individuales y mezclas complejas a concentraciones cuatro veces superior a la recomendada. En este estudio se comprobó que la degradación ocurre más rápido en una biomezcla que en suelo y si la aplicación es del componente individual y no de una mezcla. Los resultados de este y otros estudios consultados, sugieren que una biomezcla es capaz de tratar desechos que contengan mezclas complejas de pesticidas ingresados frecuentemente al sistema a concentraciones elevadas.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Plaguicidas

Los plaguicidas o productos para protección de cultivos, son sustancias químicas producidas por el ser humano que se utilizan como herramienta y apoyo para la prevención, control y destrucción de plagas, malezas o enfermedades en los cultivos. Son sustancias de origen natural o sintético utilizadas para prevenir, destruir, repeler, atraer o combatir cualquier plaga, enfermedad o maleza que pueda afectar los cultivos. Dependiendo de la formulación será su modo de acción y su nivel toxicológico.

Los plaguicidas pueden ser utilizados contra insectos (insecticidas), malezas (herbicidas) u hongos (fungicidas). El uso de estos productos ha permitido un aumento en producción y productividad en el sector agrícola, otorgando grandes beneficios a grandes y pequeños agricultores. Sin embargo, si estos productos no son aplicados y manipulados adecuadamente, son riesgosos y atentan contra la salud, el medio ambiente y la agricultura.

Ciclo de vida de los Productos para la Protección de Cultivos

- **Investigación y desarrollo**

La investigación incluye cuatro áreas: Química (ingrediente activo y formulación), Bioeficacia, Toxicología (animales y medio ambiente), Destino ambiental (metabolismo y residuos) y Eficacia Agronómica (dosis y aplicación). La investigación de un producto es alta y se parten de más de 140,000 sustancias hasta llegar a una exitosa al pasar de los años.

- **Producción**

Se presentan los estudios de seguridad y eficacia que respaldan el producto frente a autoridades ambientales, de salud y de agronomía; con el fin de obtener licencias y autorizaciones de producción y comercialización. La producción se realiza en plantas especializadas de alta tecnología bajo el control y vigilancia de las autoridades.

- **Almacenamiento**

Busca preservar las condiciones de calidad del producto, el mismo debe estar debidamente identificado, la bodega debe tener el tamaño suficiente de acuerdo a la rotación de inventarios, así como mecanismos de seguridad y protección. Algunas características son:

- Lugares alejados de viviendas, hospitales, escuelas, plantas de producción y almacenamiento de alimentos.
- Separación de productos por formulación y presentación en estanterías seguras.

- **Transporte**

En general, los plaguicidas deben transportarse separados de otros insumos agrícolas, sin exposición a la humedad o al sol. Los envases deben manipularse de manera que se evite cualquier derrame, daño o rotura.

- **Distribución y comercialización**

Estas labores permiten la disponibilidad del producto a los usuarios finales por varios o pocos intermediarios comerciales. Se requieren licencias de venta y ambientales reguladas por las autoridades agrícolas y de la salud.

- **Aplicación y uso**

Los Productos para la Protección de Cultivos se utilizan con el fin de mejorar los rendimientos en los cultivos, estos actúan de manera específica de acuerdo a la plaga o cultivo al que esté dirigido. Previo a su utilización deben de revisarse las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Manejo Integrado de Plagas (MIP) para determinar si se justifica la aplicación de un PPC. El uso correcto implica:

- Operario con entrenamiento y entendimiento de las recomendaciones y precauciones detalladas en la etiqueta del producto.
- Equipo de protección personal: El equipo consiste en guantes y botas de hule resistente a la corrosión, gafas, mascarilla, y un traje que cubra brazos y piernas para evitar el contacto directo con la piel. Al finalizar la aplicación y manipulación del producto, el equipo debe ser removido y lavado, cuidando la disposición final de los efluentes.
- Equipo de aplicación en funcionamiento óptimo y calibrado.
- Aplicación en horas y condiciones ambientalmente adecuadas.
- Contar con un abastecimiento de agua.
- Cumplir con las condiciones de la mezcla
- Realizar triple lavado a envases desocupados y contar con un área para recolección de envases vacíos

- **Manejo post consumo**

Al finalizar la vida útil del producto, finalizando procesos de mezcla y aplicación, se generan residuos que deben tratarse debido a que tuvieron contacto directo con el plaguicida. Los envases no deben mezclarse con residuos ordinarios, ni abandonarse en suelos o fuentes acuíferas. (CropLife Latin América, 2015).

Clasificación

En la agricultura, el uso de agroquímicos es frecuente; dependiendo del organismo que desee controlarse para la protección del cultivo de interés, es el tipo de plaguicida a aplicar.

Tabla 1. Clasificación de plaguicidas por función, modo de acción y familia.

Tipo de plaguicida	Organismo que controla	Modo de acción	Familias químicas	Ejemplos de I.A.
Insecticida	Insectos	Contacto directo, actúan sobre sistema respiratorio.	Organoclorados, organofosforados, piretroides	Chlorantraniliprole, Cyatraniliprole, Thiametoxam
Fungicida	Hongos	Inhibe procesos fisiológicos, disolviendo la pared	Benzimidazoles, ditiocarbamatos, triazoles	Azoxystrobin, Chlorotalonil, Cyproconazole,

		celular y protoplasma del hongo		Difenoconazole
Herbicida	Malezas	Inhibe procesos fotosintéticos, síntesis de pigmentos, aminoácidos y hormonas.	Fenoxiacéticos, triazinas, sulfonilureas	Glifosato, 2,4-D, Atrazina, Diquat, Paraquat

Fuente: Diez, et al. (2013)

Tipos de formulaciones

- **Polvo mojable (WP):** mezcla de partículas pulverizadas del ingrediente activo, acarreador sólido o diluyente, surfactante, agente humectante y dispersante.
- **Gránulo dispersable (GR, MG):** gránulos impregnados del ingrediente activo que al mezclarse con agua se rompen y dispersan en la solución.
- **Polvo soluble (SP):** Solución acuosa del ingrediente activo con adición de surfactante para mejorar la absorción.
- **Concentrado emulsionable (EC):** líquido homogéneo que se aplica como emulsión luego de la dilución.
- **Suspensión concentrada (SC):** líquido con el ingrediente activo en suspensión que se aplica luego de diluirse en agua.
- **Concentración soluble (SL):** líquido homogéneo que al diluirse en agua forma una emulsión del activo.

Toxicología

La toxicidad de un agente químico, físico o biológico, hace referencia a su capacidad de interferir con los procesos vitales de los seres vivos. La toxicidad de un plaguicida se determina por su dosis letal media (DL50), esta es la cantidad en mg de plaguicida por kg de peso vivo que es capaz de producir la muerte del 50% de la población en la que haya sido estudiada. Según el nivel de toxicidad es la clasificación del plaguicida, en la siguiente tabla se muestra la clasificación en base al DL50 estudiado en ratas.

Tabla 2. Clasificación según toxicidad

Clasificación	Color de peligro	Palabra de peligro	DL50 (mg/kg)			
			Oral		Dermal	
			Sólidos	Líquidos	Sólidos	Líquidos
Sumamente peligroso		MUY TÓXICO	<5	<20	<10	<40
Muy peligroso		TÓXICO	5-20	20-200	10-100	40-400
Moderadamente peligroso		NOCIVO	5-500	200-2000	100-1000	400-4000
Poco peligroso		CUIDADO	500-2000	2000-3000	>1000	>4000
Normalmente no ofrece peligro		CUIDADO	>2000	>3000		

Fuente: Diez, et al. (2013)

1.2.2. Riesgos en manejo de plaguicidas

El riesgo asociado depende de la toxicidad, del nivel y tipo de exposición. Para evitar cualquier tipo de daño a la salud, el aplicador debe cumplir con las medidas preventivas y equipo de protección personal recomendado en la etiqueta del producto. Las buenas prácticas agrícolas permiten disminuir los riesgos que ocasionan los plaguicidas, sin embargo no evitan los accidentes que puedan ocurrir durante la manipulación (derrames de concentrado o fugas de envases y tanques) que puedan ocasionar contaminación en su mayoría para aguas superficiales y subterráneas.

Figura 1. Afiche CropLife para el uso correcto de plaguicidas



Fuente: CropLife Latin América (2015)

1.2.3. Contaminación por plaguicidas

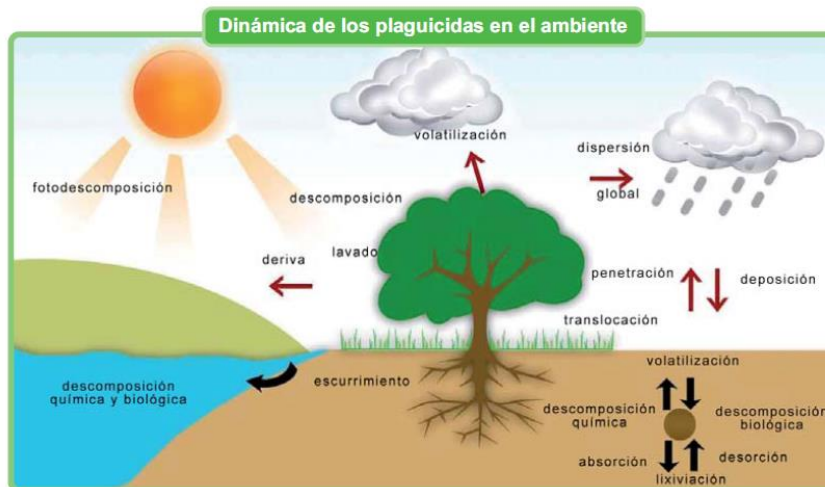
El inadecuado manejo de plaguicidas puede contaminar fuentes de agua superficial, subterránea y el suelo. La contaminación al medio ambiente ocasionada por plaguicidas puede ser originada por fuentes puntuales o

difusas. La contaminación difusa ocurre durante la aplicación de plaguicidas en el campo, proceso en el cuál pueden ocurrir pérdidas por derrames. La contaminación puntual ocurre en sitio de preparación y dilución, previo a la aplicación del producto.

Los residuos de los plaguicidas se dispersan por el ambiente contaminando el suelo, aire y agua, lo que representa un riesgo para la salud de la población. Las formas de propagación son variadas, dependiendo de las características del plaguicida y de la superficie de contacto. En la Figura 2 puede visualizarse el ciclo de propagación de plaguicidas en el medio ambiente por varios métodos que se describen a continuación.

- **Adsorción:** el plaguicida queda unido a las partículas del suelo, afectando la biodisponibilidad del suelo. La capacidad de adsorción depende del pH, contenido de arcilla y materia orgánica del suelo.
- **Lixiviación:** el plaguicida se desplaza a través del suelo por movimiento de agua infiltrada, esto provoca contaminación de aguas subterráneas. Este efecto es inverso a la adsorción, a mayor capacidad del suelo de adsorción menor será la lixiviación; los factores que influyen en la lixiviación es el contenido de materia orgánica, textura y humedad.
- **Escorrimento:** movimiento superficial del plaguicida con el agua arrastrada por la superficie de un terreno inclinado. En este influye la pendiente del terreno, tipo de suelo humedad, cantidad de agua escurriendo y la solubilidad del plaguicida en el agua.
- **Volatilización:** dependiendo de la presión de vapor y la temperatura del ambiente, el plaguicida puede evaporarse al aire.
- **Deriva:** los plaguicidas se mueven a través del aire, el movimiento depende de las condiciones de aplicación y de las condiciones ambientales (condiciones del viento, temperatura y humedad).
- **Absorción:** el plaguicida se mueve al interior del organismo.

Figura 2. Propagación de los plaguicidas en el ambiente



Fuente: Diez, et al. (2013)

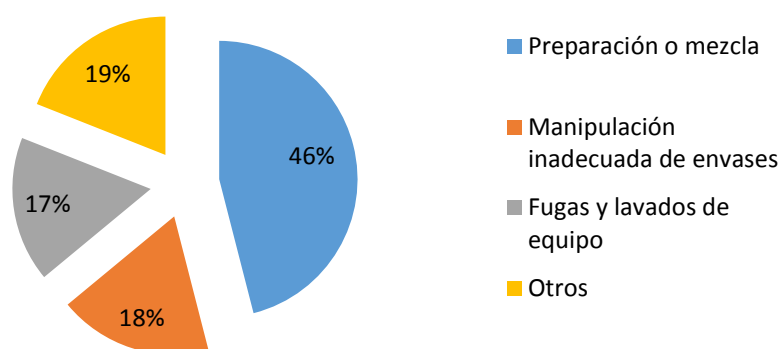
El origen de los plaguicidas en el medio ambiente es consecuencia de la aplicación y manipulación, sin embargo la cantidad remanente en el ambiente depende de la dosis, naturaleza química, formulación, concentración, características de aplicación y condiciones climáticas.

1.2.4. Contaminación puntual de plaguicidas

Entre el 50-90% de los plaguicidas causantes de contaminación en las fuentes hídricas provienen de fuentes puntuales. Es importante identificar las prácticas agrícolas durante la manipulación de pesticidas para identificar los puntos foco que pueden generarse residuos potencialmente peligrosos al medio ambiente. Generalmente son tres puntos críticos durante una aplicación agrícola: (1) Como primer punto es el llenado de tanques de aspersión del pesticida concentrado y su posterior dilución, en este punto pueden ocurrir pequeños derrames pero de pesticidas en altas concentraciones. (2) El segundo punto es la aspersión en campo, sin embargo si las prácticas agrícolas son adecuadas, el riesgo durante la aplicación es mínimo. Y finalmente (3) el manejo de residuos de pesticidas fuera y dentro de la bomba, durante este punto se genera un gran volumen de residuos químicos de baja concentración.

Una distribución aproximada de las fuentes de la generación de contaminación por plaguicidas se presenta en el siguiente diagrama:

Gráfico 1. Distribución fuentes de contaminación por plaguicidas



Fuente: Diez, et al. (2013)

Estudios realizados en campo reflejan que el 80% de las veces que hay manipulación de plaguicidas ocurren derrames accidentales. Implementar mejoras en áreas de manipulación y tratar el agua de desecho y lavado de equipo de protección o aplicación, es una manera simple de prevenir la contaminación por plaguicidas en fuentes hídricas. El área de manipulación de agroquímicos es el sitio que se utiliza generalmente para actividades como lavado de equipo de aplicación, calibración de equipo, pruebas de aspersión del equipo, entre otras.

Triple lavado a envases

Con el fin de desechar adecuadamente los envases vacíos, se aplica la técnica del triple lavado. El triple lavado consiste en realizar tres enjuagues consecutivos a los envases que son colectados en la bomba de fumigar, esto se realiza inmediatamente después de vaciar el envase. Aparte de la ventaja de aprovechamiento total del producto, se garantiza la seguridad al manipular y transportar envases vacíos.

Luego de realizar el triple lavado los envases deben ser perforados para evitar su uso posterior para almacenamiento de agua o alimentos, o incluso evitar posibles falsificaciones de producto. En Guatemala, los envases deben ser depositados en los centros de acopio de Agrequima (hay presencia de más de 350 mini centros en áreas agrícolas del país). El listado de centros de acopio y su ubicación puede encontrarse fácilmente en la página de Agrequima (www.agrequima.com.gt) o puede ser solicitado a la siguiente dirección: info@agrequima.com.gt

Figura 3. Afiche triple lavado difundido por Agrequima y CropLife

CUIDEMOS NUESTRA SALUD, LA DE NUESTRA FAMILIA Y LA DE NUESTRA COMUNIDAD CON LA TÉCNICA DEL TRIPLE LAVADO

Aproveche hasta la última gota de su producto con: **el triple lavado**

El triple lavado es **repetir 3 veces** los siguientes **3 pasos**

1. Agregue agua hasta 1/4 del envase vacío.

2. Agítelo bien por 30 segundos.

3. Vierta la mezcla en su bomba de aspersión.

Corte o perforo el envase, para que nadie lo vuelva a utilizar.

Depositelo en el Mini Centro de Recolección.

Al aplicar la técnica de triple lavado, está colaborando con el programa CampoLimpio, que coopera con el acopio y reciclaje de los envases vacíos de productos para la protección de cultivos (plaguicidas).

CampoLimpio
PROGRAMA DE MANEJO DE ENVASES VACÍOS

Agrequima
Asociación Guatemalteca de Fumigación Agrícola

Miembro de **CropLife**

3ra. Avenida 12-38 Zona 10, Nivel 8, Oficina 804,
Edificio Paseo Plaza Business Center, Guatemala, C.A.
Teléfono y Fax: (502) 2270 7401
www.agrequima.com.gt · info@agrequima.com.gt

COUGUANOR NGO 44 086-98, Norma del Triple Lavado

Fuente: Agrequima (2015)

Durante el proceso del triple lavado es posible que ocurran derrames accidentales, es por esto que este proceso se considera una fuente de contaminación puntual y es un punto clave en el cuál deberían aplicarse tecnologías preventivas como los biofiltros.

Lavado de bombas de aplicación

Luego de la aplicación de plaguicidas, las bombas de aplicación son lavadas por dentro y por fuera para eliminar residuos remanentes. El agua del primer lavado debería ser esparcida sobre el cultivo tratado siempre y cuando no se exceda la dosis máxima. En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos de los volúmenes generados en el lavado de bombas de aplicación:

Tabla 3. Volúmenes de lavado de bombas de aspersión

	Granja vegetal			Granja de cultivo-prados			Pequeños agricultores		
	Equipo sofisticado, se realizan varios lavados incluso si no son necesarios.			Equipos pequeños, la frecuencia de aplicación de agroquímicos es baja			Bombas de aspersión tipo mochila, aplicación para pequeños agricultores		
	Frecuencia/año	Volumen lavado tanque 2000L (L)	Volumen de agua a biofiltro (L)	Frecuencia/año	Volumen lavado tanque 1500L (L)	Volumen de agua a biofiltro (L)	Frecuencia/año	Volumen lavado tanque 16L (L)	Volumen de agua a biofiltro (L)
Completo: Al cambiar de reactivo, 3 enjuagues 10-20% de la capacidad del tanque.	20	2,000	8,000	2	1,500	9,000	3-4	1-4	8-52
Rápido diario: 10% de la capacidad del tanque.	70	200	14,000	4	1,500	6,000			
Exterior	70	100	7,000	6	100	600			
TOTAL			29,000			15,600			52

Fuente: Pesticide Handling Area and Biobed Manual (2015) y Motta (2015)

1.2.5. Degradación de plaguicidas

Al aplicar un plaguicida en el ambiente, este interacciona con componentes biológicos y no biológicos sufriendo transformaciones que modifican su estructura y por consiguiente sus propiedades. La degradación puede ser total o parcial. La permanencia se mide por la vida media del ingrediente activo, este es el tiempo que se requiere para disminuir al 50% la concentración del ingrediente activo del plaguicida. En la siguiente tabla se detallan solubilidades y vidas medias para ciertos plaguicidas.

Tabla 4. Vida media de distintos plaguicidas

Plaguicida	Tipo	Grupo químico	Solubilidad (mg/kg)	Vida media (días)
Atrazina	Herbicida	Triazina	35	75
Azinfos-metil	Insecticida	Organofosforado	28	10
Captan	Fungicida	Ftalamida	5	0.8
Carbendazima	Fungicida	Benzimidazol	8	40
Clorotalonil	Fungicida	Aromático sustituido	0.8	22
Clorpirifos	Insecticida	Organofosforado	1	50
Diazinon	Insecticida	Organofosforado	60	9
Iprodione	Fungicida	Dicaboximida	12	84
Isoproturon	Herbicida	Urea	70	12

Metidation	Insecticida	Organofosforado	240	10
Fosmet	Insecticida	Organofosforado	15	3
Paraquat	Herbicida	Bipiridilo	700	1-4
2,4-D	Herbicida	Fenoxiacético	23.18	4-7

Fuente: Diez, et al. (2013)

Dependiendo de la estabilidad química del producto, actividad metabólica de las plantas, factores climáticos, capacidad de adsorción del suelo y actividad microbiológica, es la persistencia de los plaguicidas. La degradación microbiana se favorece si la temperatura es mayor a 25°C, el pH favorezca la actividad bacteriana y fúngica, la humedad se encuentra entre 50-60% y la relación C:N es aproximadamente 20:40.

1.2.6. Clorotalonil

El clorotalonil o tetraclorosoftalonitrilo, es un compuesto aromático derivado del ácido cloroisoftálico con efectos fungicidas de amplio espectro en aplicación foliar. No es sistémico, su actividad es por contacto y su función puede considerarse preventiva o combativa para las enfermedades de origen fúngico. Su modo de acción es la inhibición de la respiración celular (transformación de carbohidratos en energía) del hongo mediante la unión de las moléculas de clorotalonil en grupo sulfhidrilos de algunos aminoácidos. Las enzimas que afectan el ciclo de Krebs se desactivan, no hay producción de ATP y esto genera la muerte celular. El clorotalonil reacciona con grupos tiol en compuestos con azufre e hidrógeno. La reacción clorotalonil-tiol interrumpe procesos celulares como la producción de enzimas y por consiguiente, la síntesis de aminoácidos, fabricación de proteínas y metabolismo celular. Conjunta y disminuye los tioles, en particular el glutatión procedente de las células fungosas germinativas, interrumpiendo la glicólisis y producción de energía. (Terralia: Agroquímicos de México, 2015)

Medidas de disposición recomendadas por el productor

En el panfleto del producto Bravo 72SC® (Referirse a Anexo 9.2), se especifica que el ingrediente activo Clorotalonil es tóxico para la vida marina. Por tanto cualquier desecho directo de residuos a fuentes hídricas o envases causaría contaminación. Se recomienda recoger derrames y desechos del producto con aserrín o algún material absorbente, recolectarlos en recipientes herméticos y entregarlos al distribuidor o a un relleno sanitario autorizado. Se recomienda también realizar la técnica del triple lavado a los envases y entregar los mismos al centro de recolección más cercano.

Tabla 5. Propiedades del Clorotalonil

<p>Estructura química:</p> 	<p>Fórmula química: C₈Cl₄N₂</p> <p>Peso molecular: 265.89 g/mol</p>
<p>Tipo de plaguicida: Fungicida</p>	<p>Clasificación: Aromático Policlorado</p>
<p>Uso: Agrícola e Industrial</p>	
<p>Presentaciones agrícolas comerciales: En equivalente en gramos de I.A. para aplicación en follaje como floable: 720 I.A/kg o L; como gránulos dispersables: 750,825 y 900 I.A/kg o L; como polvo humectable: 750 I.A/kg o L; como solución acuosa: 500 I.A/kg o L; como suspensión acuosa: 381, 500 y 720 I.A/kg o L; como suspensión concentrada: 500 I.A/kg o L, como polvo técnico: 960,980,990 I.A/kg o L y como sólido técnico: 960 y 980 I.A/kg o L.</p>	
<p>Apariencia: Sólido cristalino blanco, sin olor. Punto de ebullición: 350°C a 760mmHg Punto de fusión: 250°C Densidad relativa: 1.7 g/mL a 25°C Solubilidad en agua: 0.6 mg/kg a 25°C Koc: 1600-14000 ml/g DT₅₀: 6-43 días Presión de vapor: 0.01 mmHg a 40°C</p>	
<p>Peligrosidad</p> 	<p>Salud: Muy peligroso Inflamabilidad: Sobre 93°C Reactividad: Estable</p>
<p>Persistencia: Poco persistente (6-43 días) En el aire se presenta en fase de vapor y particulado, el vapor se degrada por reacciones con radicales hidroxilo (VM=7 días) o por fotólisis directa. En el suelo la movilidad es baja o nula, es biodegradado por reacciones aerobias y anaerobias (VM=10-40 días suelos aireados, 5-15 días suelos inundados). En sistemas acuáticos se elimina por procesos químicos y biológicos (VM=8.1-8.8 días en agua marina, 65 días por fotólisis y 38.1 días en aguas alcalinas).</p>	
<p>Tipo toxicológico: IV Altamente tóxico para anfibios y moderadamente tóxico para insectos. Su toxicidad es alta o extremadamente alta para crustáceos y peces, ligeramente alta para zooplancton y moluscos.</p>	

Fuente: INECC. (s.f.)

Bravo® 72 SC

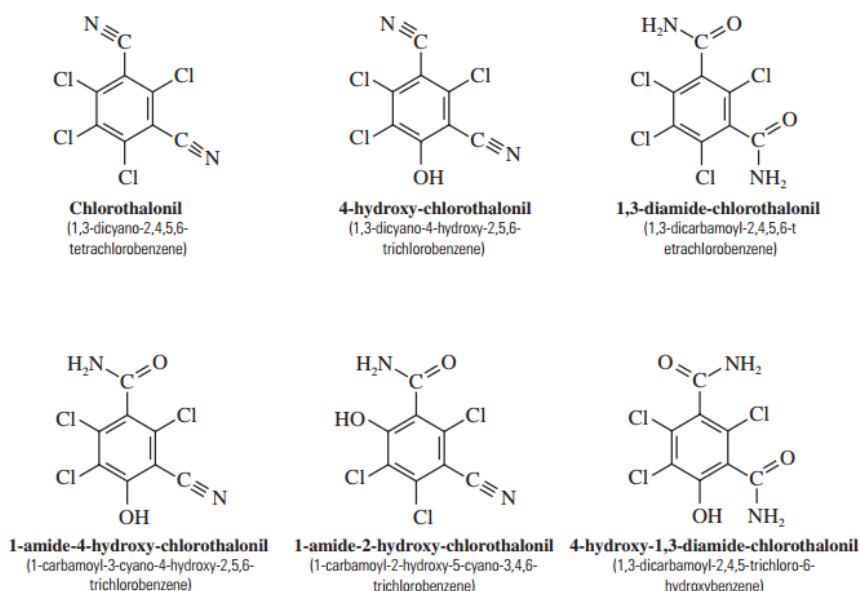
Fungicida de contacto de amplio espectro con acción preventiva y resistencia al lavado. Es particularmente aconsejable al coexistir dos o más enfermedades en el cultivo. Se compone de una mezcla de Clorotalonil al 72% p/v (720g/kg). Bravo® tiene acción multisitio, atacando y destruyendo funciones vitales de células patógenas. Su formulación en suspensión concentrada proporciona estabilidad, solubilidad, mojabilidad, dispersabilidad y adherencia a la superficie de las hojas favoreciendo el contacto con esporas de hongos.

Su aplicación es recomendada para los cultivos de: Banano, plátano, café, ajo, cebolla, apio, melón, pepino, ayote, sandía, brócoli, coliflor, repollo, zanahoria, tomate, frijol, arroz, arveja, ejote francés, entre otros para el tratamiento de una amplia gama de enfermedades fúngicas (referirse a Anexo II). Sus riesgos toxicológicos incluyen toxicidad en inhalación, nocivo en ingestión, irritación ocular, en la piel y vías respiratorias. El mayor y único riesgo medioambiental comprende la alta toxicidad a organismos acuáticos con efectos duraderos, por lo cual se debe evitar su liberación al medio ambiente. (Syngenta, 2015.)

Degradación del Clorotalonil

El Clorotalonil tiene tres principales productos de degradación: 4-hidroxy-clorotalonil, 1,3-diamida-clorotalonil y 1-amida-4-hidroxy-clorotalonil. Dos productos de degradación adicionales han sido tentativamente identificados: 1-amida-2-hidroxy-clorotalonil y 4-hidroxy-1,3-diamida-clorotalonil.

Figura 4. Estructura química del clorotalonil y cinco productos de degradación



Fuente: Scribner, et al. (2006)

La tasa de degradación del Clorotalonil como la de otros compuestos químicos, se ve afectada por diversos factores: componentes del sólido de contacto durante la degradación, mezcla con otro o varios otros ingredientes activos, la

cantidad de aplicaciones sobre una misma superficie, cantidad de microorganismos presentes, entre otros. En la siguiente tabla y gráfico, se presentan los resultados obtenidos en el estudio de Fogg, P., et al. (2003) haciendo referencia a estas variaciones sobre la degradación de la molécula de Clorotalonil.

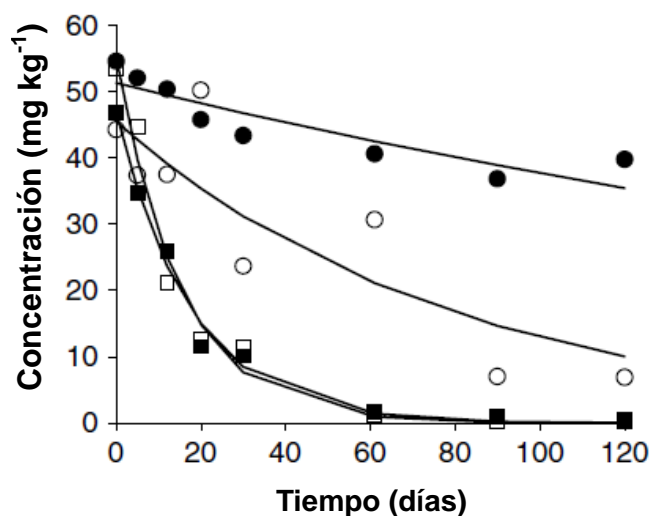
Tabla 6. Tasa de degradación DT_{50} y DT_{90} , coeficiente de degradación K_{deg} y coeficiente de determinación R^2 para la degradación de Clorotalonil en superficie de suelo y biomezcla para I.A. individual y en mezcla.

	Superficie del suelo I.A. individual	Biomezcla I.A. individual	Superficie del suelo en mezcla de I.A.	Biomezcla en mezcla de I.A.
DT_{50} (días)	225	12.2	55.1	10.6
DT_{90} (días)	474.4	40.5	182.9	35.1
K_{deg} (días ⁻¹)	0.00031	0.0568	0.0126	0.0657
R^2	0.8	0.99	0.74	0.98

Fuente: Fogg, et al. (2003)

Gráfico 2. Degradación del Clorotalonil

en (■) biomezcla, (●) superficie de suelo, (□) biomezcla con mezcla de otros pesticidas, (○) superficie de suelo con mezcla de otros pesticidas.



Fuente: Fogg, et al. (2003)

1.2.7. Tecnologías de remoción de plaguicidas

Existen varios tratamientos para el tratamiento de aguas de lavado de tanques de aspersión, estos pueden incinerarse, evaporarse, deshidratarse, coagularse, flocularse, filtrarse por distintos medios, degradarse por agentes químicos, fotocátalisis o degradación por agentes biológicos. Según los estudios realizados estos mecanismos pueden ser altamente efectivos, sin embargo la mayor restricción es que son métodos costosos que no pueden ser aplicados por pequeños agricultores. Para fines agrícolas se necesitan sistemas de tratamiento: de bajo costo, seguros y sencillos. Se han desarrollado métodos biológicos para degradación de pesticidas, comparado con sistemas

industriales estos métodos son una alternativa barata y eficiente para el ambiente agrícola.

Lechos biológicos

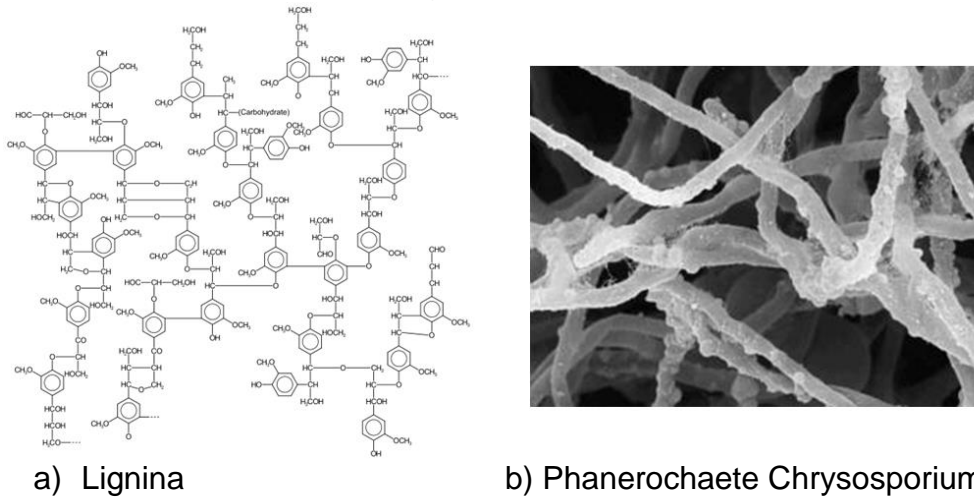
Los lechos biológicos se originaron en Suecia como respuesta a la necesidad de un método simple y efectivo de minimizar la contaminación generada por el uso de pesticidas, especialmente al llenar equipo de aspersión. Los lechos biológicos son sistemas adaptables a las condiciones del sitio de implementación, su efectividad y simplicidad lo hace aplicable también a países en vías de desarrollo. Es un método simple y de construcción económica diseñada para recolectar y degradar derrames de pesticidas en el campo; se construyen ya sea al nivel del suelo o en un sistema aislado (recipientes o toneles plásticos). El lecho está compuesto por una biomezcla constituida por suelo, broza y residuos lignocelulósicos, que actúa mediante procesos de adsorción y degradación biológica. Con el fin de retener y degradar los componentes orgánicos de los plaguicidas, evitando que lleguen directamente al suelo o a fuentes hídricas. El tamaño tiene que estar relacionado con el volumen de los efluentes generalmente generados, la relación ideal Biomasa:Efluente es 2:1.

Los lechos biológicos están diseñados de manera que las operaciones de llenado del equipo de aspersión puedan ser realizadas sobre este sistema, esto para evitar al máximo que cualquier derrame de formulaciones concentradas llegue directamente al suelo. En caso de derrame o vaciado de aguas de lavado, los plaguicidas son retenidos y degradados por la biomezcla del lecho biológico. Debe tomarse en cuenta que el efluente debe distribuirse sobre toda la superficie.

Mecanismo de acción en lechos biológicos: Oxidación biológica

Los hongos de pudrición blanca (*Phanerochaete Chrysosporium*) son importantes degradadores de lignina. Se ha demostrado que las enzimas lignolíticas extracelulares que degradan la lignina (fenoloxidasas) son responsables de la degradación de una amplia gama de contaminantes orgánicos mediante un mecanismo de radicales libres. La habilidad de los hongos de pudrición blanca de degradar la lignina y otros compuestos orgánicos en CO₂ se debe al hecho de la secreción de peroxidasas y peróxido de hidrógeno, estos catalizan por mecanismo de radicales libres la oxidación y despolimerización de la lignina. Las peroxidasas de lignina son como otras peroxidasas, sin embargo tienen potenciales de oxidación altos y por esta razón son capaces de oxidar químicos que no pueden ser oxidados por otras peroxidasas. (Mills, et al., 1989)

Figura 5. Estructura de la lignina y Phanerochaete Chrysosporium



Fuente: Comm Tech Lab (1999)

El H_2O_2 es producido por las oxidasas que se encuentran entre las células de la pared celular y de la membrana, utilizando la glucosa resultante de la degradación de la celulosa asociada a la lignina. Los sistemas se combinan para generar radicales libres que provocan la ruptura del polímero de la lignina y otros compuestos orgánicos. Los productos de bajo peso molecular que son resultantes de este proceso se modifican y oxidan hasta CO_2 por acción de la Lignina Peroxidasa que se forma en este punto a partir de H_2O_2 . La reacción es de primer orden respecto a la concentración del compuesto químico (a menos que la enzima o H_2O_2 se convierta en limitante) degradando hasta que la concentración del compuesto químico sea tan baja como la concentración de la enzima activada, en este punto la posibilidad de contacto con la enzima es insignificante (niveles no detectables) y la tasa de degradación disminuye considerablemente.

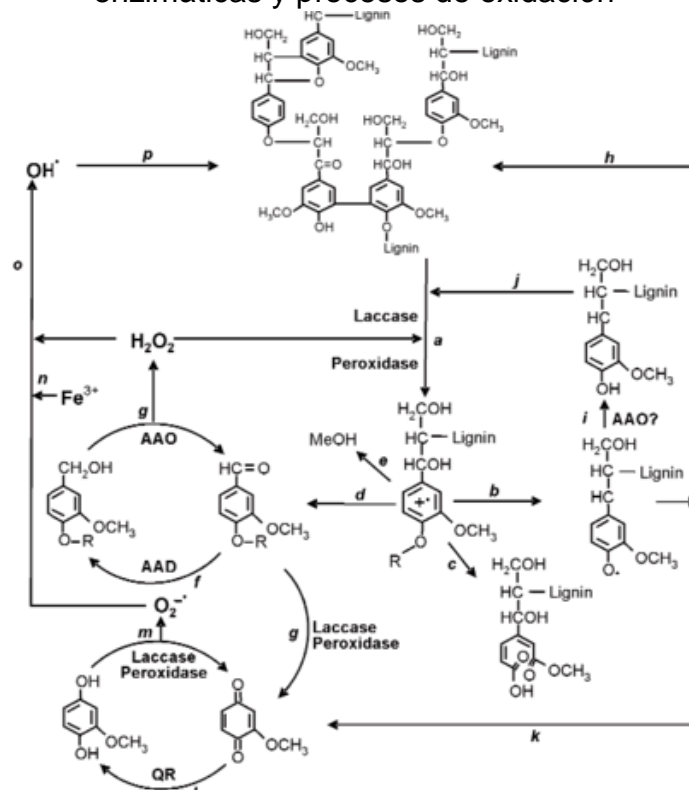
La producción de peroxidasas, que proporcionan la capacidad de mineralizar compuestos químicos, se ha demostrado que es en respuesta del déficit de nutrientes (N, C y S). Las fuentes de lignina por naturaleza son sustratos de bajo contenido de nitrógeno, pero con la cantidad necesaria de nutrientes y carbono para el desarrollo de los hongos. Por otro lado, respecto a la actividad enzimática, estudios han demostrado que es mucho más estable la actividad de degradación a un pH mayor al pH óptimo para la enzima, sin embargo la temperatura óptima se incrementa al incrementar el pH.

Biodegradación de la lignina

Como se muestra en la Figura 6, las Lacasas producidas por los hongos de pudrición blanca oxidan el polímero de la lignina generando radicales aromáticos (a). Estos se ven afectados por diversas reacciones no enzimáticas de desmetoxilación y ruptura de anillos y uniones C-C (b,c,d,e). Los aldehídos aromáticos liberados de la ruptura de la lignina o sintetizados por los hongos (f,g), son el sustrato para la generación de peróxido de hidrógeno por reacciones redox. Los radicales fenoxi generados pueden repolimerizarse y regenerar la lignina (h) si no son reducidos previamente por las oxidasas a compuestos fenolíticos que posteriormente pueden reoxidarse por las Lacasas

o Peroxidasas (j). Una vía alterna para los radicales fenoxi, involucra la ruptura de enlaces C-C (k) produciendo quinonas que contribuyen a la activación del oxígeno en las reacciones redox que involucran Lacasas y Peroxidasas para la oxidación de compuestos orgánicos (pesticidas) (l,m). Finalmente, si hay presencia iones Fe^{3+} estos entran en un procesos de reducción-oxidación que libera iones hidroxilo (o) que atacan la lignina aun cuando el tamaño de los poros de la pared celular impide la penetración de enzimas lignolíticas.

Figura 6. Esquema de la degradación de la lignina incluyendo reacciones enzimáticas y procesos de oxidación



Fuente: Martinez, et al. (2005).

Elementos del lecho biológico

La eficiencia de retención y degradación de los pesticidas en un lecho biológico depende de cada uno de los componentes.

- **Biomezcla**

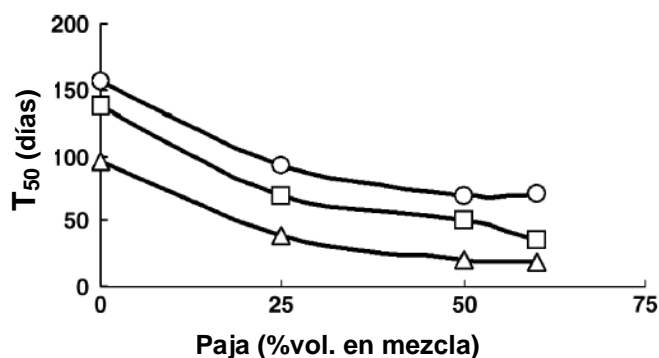
La biomezcla debe tener la capacidad de retener y degradar pesticidas. Con este fin, la biomezcla debe contener fuentes con alta capacidad de absorción y alta carga microbiana. De manera general, se encuentra compuesta por una mezcla homogénea de 25% de broza, 25% de suelo y 50% de paja. Una buena biomezcla promueve la unión de pesticidas y una flora microbiana eficiente, duradera, resistente a altas concentraciones de pesticidas. La degradación puede verse afectada por factores como: composición, homogeneidad, edad, temperatura y humedad de la biomezcla. (Diez, et al., 2013)

- **Suelo:** extraído de los primeros 20 cm de profundidad de un sitio en el cuál se realicen actividades agrícolas, sin incluir la capa vegetal. El suelo provee la capacidad de absorción, debe ser rico en hummus y contener arcilla para potenciar la actividad microbiana. Sin embargo, la cantidad de arcilla presente no debe ser alta debido a que disminuye la disposición de los pesticidas para su degradación y dificulta la homogeneidad de la mezcla. El suelo es una fuente importante de microorganismos esenciales para la degradación, estos procesos están restringidos por la alta relación C/N y el pH bajo, sin embargo su presencia mejora el grado de degradación de plaguicidas

- **Broza:** la broza en la mezcla contribuye a la capacidad de absorción, control de humedad, degradación abiótica de los pesticidas y contribuye a la disminución del pH de la biomezcla. Aunque la disminución del pH favorece a los hongos degradadores de lignina, en volúmenes superiores al 50% disminuye la actividad microbiana. La adición de un 25% de broza hace posible un pH de aproximadamente 5.9 que favorece el crecimiento de los hongos de pudrición blanca o degradadores de lignina. La turba o broza también tiene un efecto sobre la actividad de las fenoloxidasas debido a que favorece a mantenerlas en solución en el suelo con los ácidos húmicos. Se ha demostrado la correlación positiva entre el contenido de broza, la tasa de respiración y la actividad de las fenoloxidasas; la mayoría de pesticidas se disipan en procesos co-metabólicos que se ven favorecidos por la respiración y la actividad de las enzimas. Cierta fracción de la turba puede reemplazarse por carbón vegetal, el cual posee también una elevada capacidad de adsorción de contaminantes orgánicos.

- **Paja:** material orgánico con alto contenido de lignina y celulosa, puede ser paja de trigo, arroz, avena, etc. La paja es la parte más importante para la degradación y actividad microbiana, especialmente por la generación de los hongos que degradan la lignina. Se producen enzimas de actividad amplia tales como Fenoloxidasas (Lignina Peroxidasa, maganeso Peroxidasa y Lacasa), estas enzimas son adecuadas para la degradación de mezclas de pesticidas. Varios estudios han demostrado que a medida que aumenta la fracción de paja en la biomezcla, la respiración y actividad microbiana aumenta; sin embargo no se recomienda más del 50% debido a que la mezcla debe ser homogénea. La presencia de un material lignocelulósico en la biomezcla es indispensable para la degradación completa de plaguicidas, en especial aquellos con anillos aromáticos.

Gráfico 3. Influencia de distintos volúmenes de paja añadidos a la biomezcla sobre la vida media de tres herbicidas: Bentazona (Δ), Cloridazon (o) y Linuron (\square).



Fuente: Wilde, et al. (2007)

Dependiendo de la composición de la biomezcla es la efectividad en degradación de componentes orgánicos, en la siguiente tabla se detalla la composición y características fisicoquímicas de biomezclas compuestas de distintos materiales a diferentes proporciones. Existen estas y otra infinidad de alternativas de acuerdo al acceso de materiales que tenga el agricultor.

Tabla 7. Características fisicoquímicas de biomezcla según composición

Biomezcla	Composición (%)	pH	N total (%)	C orgánico (%)	Relación C/N
Paja:suelo:broza	50:25:25	4.8	0.54	30.8	57
Cebada:suelo:broza	50:25:25	5	0.46	29.7	65
Aserrín:suelo:broza	50:25:25	5.4	0.34	28.1	82.6
Cebada:paja:suelo:broza	25:25:25:25	5.2	0.50	30.2	60.6
Aserrín:paja:suelo:broza	25:25:25:25	5.7	0.44	29.0	65.9
Avena:suelo:broza	50:25:25	5.5	0.64	32.1	50.2
Avena:paja:suelo:broza	25:25:25:25	5.8	0.59	31	52.5

Fuente: Díez, et al. (2013)

- **Cubierta vegetal**

La grama contribuye a incrementar la eficiencia del lecho biológico, especialmente de la parte superior donde la mayoría de los pesticidas son retenidos y degradados. Mantiene el nivel óptimo de temperatura para la actividad microbiana y favorece al control de la humedad creando un transporte para el agua hacia la superficie. Si no hay presencia de grama en la superficie se crea una capa hidrofóbica en la parte superior que reduce la actividad microbiana y promueve el drenado de agua al fondo del lecho. Esta capa también es útil para evidenciar los derrames del ingrediente activo concentrado en el biofiltro.

- **Arcilla**

Por su baja permeabilidad y alta capacidad de absorción se utiliza para disminuir el flujo de salida del agua e incrementar el tiempo de retención en la biomezcla. La arcilla debe de estar húmeda para evitar la formación de grietas.

- **Techo de protección**

Estructura para aislar el lecho biológico de las precipitaciones, evitando la saturación por exceso de agua.

Factores con efecto sobre el funcionamiento de un lecho biológico

Hay distintos factores que pueden afectar el funcionamiento de los lechos biológicos, su eficiencia se mide en base a su capacidad de retener y degradar pesticidas. Un lecho eficiente necesita que todos sus componentes estén funcionando de manera correcta; la biomezcla es responsable de la degradación de los pesticidas, la grama contribuye a la degradación regulando el balance de agua para los procesos biológicos en la biomezcla y la retención se define por los componentes de la biomezcla y por la arcilla/grama.

La homogeneidad de la mezcla es importante para la actividad de degradación de los pesticidas por los microorganismos y para la capacidad de absorción de la mezcla. El tamaño de la paja es importante, el utilizar trozos largos genera una mezcla heterogénea con espacios con distintos microorganismos y distintas capacidades de absorción, también genera un descenso en el área específica de degradación dentro de la biomezcla y potenciales flujos preferenciales de agua. (Castillo, Torstensson y Stenström, 2008)

Incrementar la temperatura incrementa la actividad microbiana y enzimática, sin embargo puede también incrementar la solubilidad de los pesticidas. La temperatura tiene también un efecto sobre la degradación de la materia orgánica, normalmente se recomienda el reemplazo completo de la biomezcla cada 5-8 años, pero en climas más cálidos el tiempo puede reducirse. La temperatura óptima para el filtro biológico es de 20-30°C.

La humedad en el lecho biológico debe ser suficientemente alta para promover los procesos microbianos y la solubilidad de los pesticidas, pero no debe exceder el límite que haga imposible la presencia de oxígeno que permiten los procesos aerobios o que favorezca el transporte de los químicos. Según los estudios, los procesos óptimos de degradación se dan a un 60-90% de humedad. Como el control de la humedad no es sencillo, se ha recurrido a la adición de broza o carbón vegetal dentro de la mezcla para favorecer este aspecto. La grama es el mejor indicador, debe mantenerse verde.

Según múltiples estudios realizados con 21 distintos pesticidas aplicando variaciones en: concentración del activo, construcción y profundidad del biofiltro, aplicación de mezclas, cargas hidráulicas, tiempo de vida de la biomezcla, etc. (Wilde, et al., 2007). Se determinó que cada uno de los factores tiene un efecto sobre la eficiencia del proceso de degradación de pesticidas, en el caso del aumento de la concentración del ingrediente activo, la tasa de degradación disminuye debido a la supresión de la actividad microbiana. El efecto de añadir mezclas de pesticidas es interesante, aunque el sistema es capaz de degradar concentraciones moderadas de mezclas de pesticidas, la eficiencia es mayor si se tratan los activos de manera individual. La carga hidráulica es un tema importante, aunque se requiere cierto grado de humedad

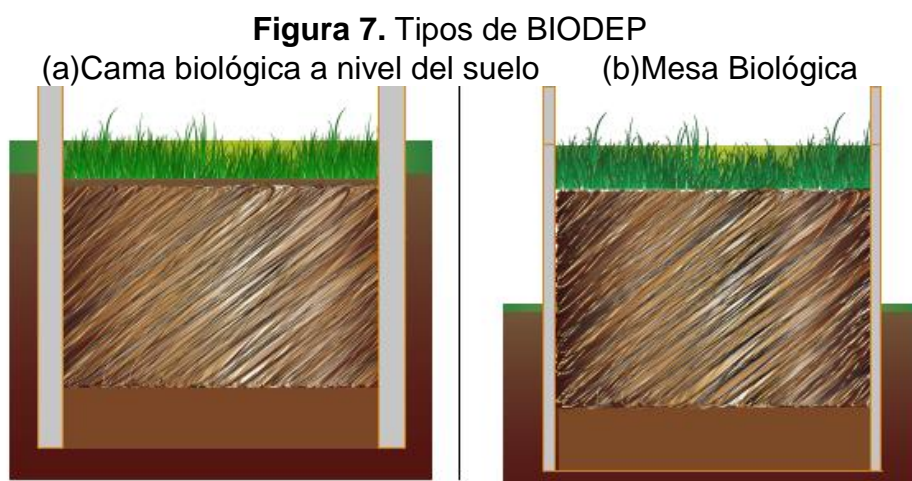
para el funcionamiento microbiano, si se sobrepasa el límite de saturación el agua puede lixiviar restos de pesticida y debilitar el proceso de degradación en el biofiltro. El uso repetido de pesticidas en ciertas temporadas del año aumenta la efectividad del filtro, esto se debe a la adaptación y proliferación de comunidades específicas de microorganismos que se adaptan a utilizar cierto compuesto químico como fuente de energía lo que permite una degradación más efectiva.

Propuesta Agrequima: BIODEP

Biodep (biodegradador de efluentes de plaguicidas) es una iniciativa implementada por AGREQUIMA en Guatemala. Comprende una estructura que acumula, retiene y degrada microbiológicamente los excedentes de productos para la protección del cultivo que pueden caer en áreas de mezcla o que son desechadas luego del lavado de equipos de aspersión.

Tipos de BIODEP

Existen dos tipos de BIODEP, de acuerdo a los volúmenes que son tratados por el agricultor es el tipo que se recomienda. La cama biológica puede ser abierta o cerrada y es recomendable para aquellos agricultores que tratan grandes volúmenes de agua. La mesa biológica es una alternativa diseñada para los pequeños agricultores cuyo principal fin es la retención de derrames accidentales. Desde el punto de vista económico, la cama biológica representa al agricultor un costo elevado de implementación y mantenimiento; la mesa biológica representa un menor costo pero su rango de aplicación es más limitada.



Fuente: CropLife Latin America. (2015).

- **BIODEP tipo mesa Biológica**

Este tipo de biofiltro está dedicado a retención de pequeños derrames durante el llenado de pequeños tanques de aspersión. Debe contemplarse una cubierta de material impermeable para protección a la saturación durante temporadas lluviosas.

Figura 8. Diseño de mesa biológica (BIODEP)

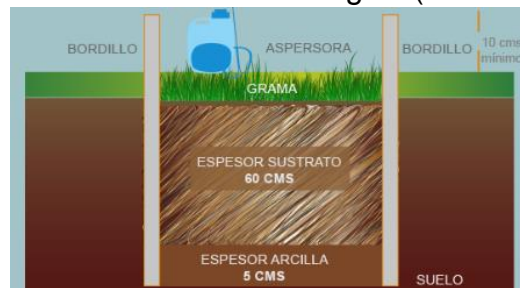


Fuente: CropLife Latin America. (2015).

- **BIODEP tipo cama Biológica**

Al igual que el tipo mesa, este BIODEP debe contemplar un techo impermeable para evitar saturación. Este tipo está especialmente diseñado para equipos de aplicación mecanizada, dado a que los volúmenes de lavado son mayores. En la Figura 9 se presenta un diseño de cama biológica abierta al fondo, la desventaja del mismo es que si el volumen de efluentes es muy grande y pasa por el sistema sin degradarse totalmente, estos residuos igual llegarían al suelo o al manto freático.

Figura 9. Diseño de cama biológica (BIODEP)



Fuente: CropLife Latin America. (2015).

Por esta razón, se recomienda el diseño de una cama cerrada con la adición de un drenaje y depósito de recolección para los efluentes generados (que también funciona como medidor de caudal). Estas camas se sellan con una capa impermeable el fondo según la Figura 10. La limitación identificada es la dificultad de realizar un proceso manual de recirculación de los efluentes a la cama biológica.

Figura 10. Diseño de cama biológica cerrada



Fuente: CropLife Latin America. (2015).

Requerimientos BIODÉP

El BIODÉP se construye en una superficie alta con un bordillo para evitar la penetración de agua de lluvia, el tamaño depende de la cantidad de líquido que se verterá, la frecuencia y el tamaño del aspersor. La cama o mesa biológica debe cubrirse para evitar el ingreso de otros líquidos y para favorecer a las condiciones de humedad requeridas por el hongo.

Se coloca arcilla en el fondo para evitar la penetración del agua, la paja utilizada debe contener buena cantidad de lignina, la tierra debe ser rica en hummus y tener un porcentaje bajo de arcilla para favorecer el crecimiento microbiano y favorecer la retención del producto. Se puede añadir broza con el objetivo de favorecer la retención del producto y regulación de humedad.

Luego de construir el BIODÉP debe dejarse madurar aproximadamente dos meses previo a su uso y tiene una vida útil de 5-8 años, luego de esto debe cambiarse la mezcla paja-tierra-broza. Los materiales de este sistema se hunden 10cm al año aproximadamente, por lo tanto se recomienda añadir continuamente biomezcla al sistema.

Cálculo de volumen máximo de efluentes a ingresar al Biofiltro

Los factores a tomar en cuenta para determinar el volumen de efluentes son: Frecuencia de aplicación, volumen por lavado de equipo de aspersión luego de cada aplicación y temporada de aplicación. A partir de esto se genera la ecuación 1, que indica el volumen de agua a ingresar al biofiltro.

Ecuación 1. Volumen de agua a ingresar al biofiltro

$$V_{t. agua} = (F. apl) * (V. lavado) * (T. apl)$$

Tomando en cuenta que la relación ideal de volumen Biomasa:Efluentes es 2:1, es posible determinar el volumen ideal de la biomasa en el sistema o en su defecto el volumen máximo a añadir de agua en determinado biofiltro.

Ecuación 2. Volumen máximo de agua a ingresar en el biofiltro

$$V_{biomasa} = 2 * (V_{t. agua}) = (ancho) * (largo) * (profundidad)$$

Para el BIODÉP se estableció una profundidad estándar de 0.6m, por consiguiente los únicos datos a variar serían el ancho y el largo dependiendo de los volúmenes a tratar. (CropLife Latin America, 2015).

Lechos biológicos a pequeña escala (sin sistema mecánico de recirculación)

- **Incorporación de componentes**

En el fondo del contenedor puede añadirse una capa de gravilla de 10 cm que funciona como filtro para retención de materiales, sobre la capa de gravilla se agregan aproximadamente 70 cm de la biomezcla suavemente

compactada, finalmente sobre esta capa se añaden aproximadamente 5 cm de césped.

- **Uso del lecho biológico**

Luego de instalar el lecho, este debe permanecer al menos 30 días sin utilización con una humedad del 50-60% para favorecer la maduración de la biomezcla y desarrollo de microorganismos. Al no estar en funcionamiento el lecho debe permanecer semi tapado para evitar el ingreso de agua de lluvia que provoque saturación en el sistema.

- **Operación, mantención y funcionamiento**

- **Zona de llenado**

En la zona de llenado el operario que manipulará los plaguicidas debe de utilizar el equipo de protección adecuado: Traje, guantes, mascarilla, botas. El equipo de aplicación debe estar calibrado y en condiciones óptimas de operación, sin presencia de fugas o filtraciones.

Se debe realizar la mezcla sobre el biofiltro evitando los derrames del producto concentrado y el rebalse de los tanques. No deben dejarse envases vacíos de plaguicidas sobre el lecho biológico.

- **Lavado de equipos**

Al finalizar la aplicación de plaguicidas, el equipo de aplicación se lava interna y externamente para almacenarlo y reutilizarlo posteriormente. Este procedimiento generalmente se realiza con una manguera a presión, evitando el uso excesivo de agua. Los efluentes del lavado se desechan en el biofiltro, siempre y cuando el sistema sea de capacidad suficiente para el volumen a ingresar.

- **Mantención del lecho biológico**

Debido a la descomposición natural de la paja, la altura del lecho disminuye varios centímetros por año. Por esta razón, debe de añadirse biomezcla fresca para reponer el volumen. Un lecho biológico escala campo tiene un funcionamiento óptimo por 4 a 5 años, así que al igual a pequeña escala debe de tomarse en cuenta el tiempo de vida para el reemplazo total de la biomezcla, piedrín, césped, etc. Este procedimiento debe planificarse con anticipación a temporadas de aplicación debido a que se requiere tiempo para la estabilización.

- **Recuperación de agua tratada y procesos manuales de recirculación**

El agua tratada por el filtro biológico puede recircularse múltiples veces hasta evaporación total, o acumularse en tanques de almacenamiento para luego ser reutilizada en diversos fines, entre ellos se encuentran: irrigación en área de cultivo, lavado de equipo de aspersión.

- **Compostaje de biomezcla**

La biomezcla removida del lecho biológico puede contener trazas de residuos de plaguicidas, para evitar la contaminación al medio debe recurrirse al compostaje de la biomezcla. Con este fin, la biomezcla se apila sobre un plástico impermeable y debe ser revuelto por 6 a 12 semanas.

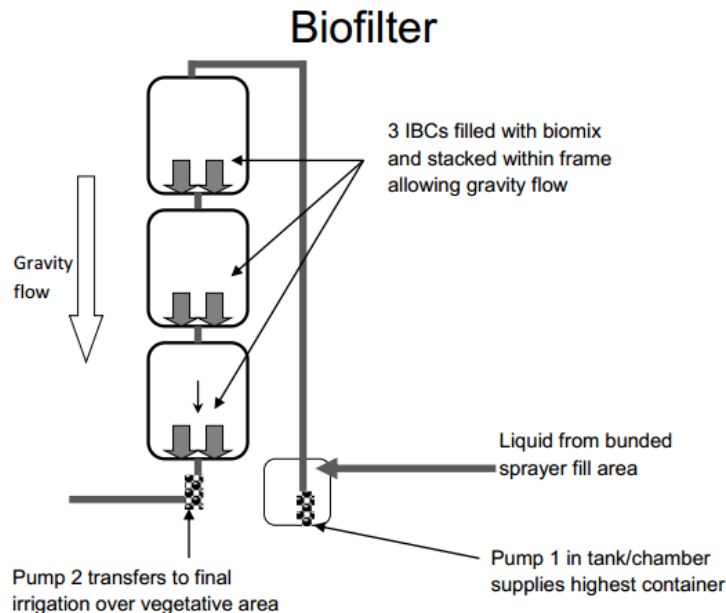
Variaciones a propuesta original

En el modelo original de lechos biológicos se establecen estructuras y materiales para la construcción, sin embargo dependiendo del país o localidad, la disponibilidad de ciertos materiales puede ser amplia o escasa, y las necesidades de volúmenes o mecanismos pueden ser distintas a las estudiadas para los modelos existentes. Para todas estas variaciones a aplicar, en especial para la modificación o adición de componentes, se necesitan estudios para evaluar la eficiencia de la biomezcla. Algunas variaciones comunes que pueden aplicarse son:

- **Fuente de lignina (Bagazo de caña):** dependiendo del país o localidad la disponibilidad puede ser amplia o escasa para los materiales propuestos para preparación de la biomezcla. Por ejemplo, la paja puede sustituirse con otros materiales como piel de cítricos, ramas, quitina, subproductos del coco y abono/estiércol. Sin embargo debe tomarse en cuenta que compuestos orgánicos con un bajo contenido de lignina o un alto contenido de nitrógeno pueden no favorecer a la actividad microbiana para la degradación de los pesticidas y sus metabolitos. Como alternativa a la paja en sí, puede utilizarse cualquier otra fuente rica en lignina disponible en las áreas de implementación, como por ejemplo: rastrojo de maíz, bagazo de caña, espigas de trigo, residuos de plantaciones arroz, etc. Los beneficios de utilizar materiales ricos en lignina son múltiples, primero que todo que generalmente se encuentran disponibles en la mayoría de terrenos agrícolas, luego de esto son de degradación lenta lo que permite tener un suministro continuo de carbono, energía y nutrientes.
- **Adición de Nitrógeno:** el nitrógeno favorece el desarrollo de los microorganismos que generan co-procesos de descomposición. Los bajos niveles de nitrógeno en la biomezcla favorecen la activación de la degradación de la lignina pero pueden limitar los procesos metabólicos, a niveles bajos los hongos activan la producción de Fenoloxidasas y a altos niveles se inhibe la producción de enzimas. Actualmente no hay estudios que indiquen una eficiencia mayor por parte de los microorganismos que por las enzimas generadas por los hongos, por esta razón no se recomienda la adición de nitrógeno, el hummus de la fracción de suelo es suficiente. La relación C/N es importante para la actividad microbiana, el rango óptimo es de 25 a 35, si la relación es mayor a 40 el desarrollo de los microorganismos es limitado y la degradación es más lenta.

- **Colocación de gravilla y/o arena (piedrín):** es posible añadir una capa de piedras pequeñas de 10 cm de espesor al fondo del lecho biológico, esto actuaría como un filtro para evitar el paso de restos orgánicos de la biomezcla. De igual manera puede añadirse una capa de 5 cm de espesor seguido de la gravilla que actúe como filtro para partículas finas.
- **Biofiltros compuestos:** un biofiltro puede estar compuesto por un conjunto de contenedores consecutivos que contengan biomezcla e interconexión entre ellos. Estos contenedores son colocados uno encima de otro con una conexión en el fondo de cada contenedor que permita el drenaje al siguiente. La parte superior del contenedor superior debe estar cubierta para prevenir que el agua de lluvia ingrese al sistema y pueda causar rebalses.

Figura 11. Estructura de biofiltros compuestos



Fuente: Pesticide Handling Area and Biobed Manual (2015)

1.2.8. Importancia y beneficios para los agricultores de utilizar filtros biológicos

La aplicación de filtros biológicos apoya la implementación de una agricultura responsable, al utilizar estos sistemas se toman las medidas necesarias para favorecer la conservación del medio ambiente. Aplicando estas tecnologías preventivas se protegen las fuentes hídricas de potenciales contaminaciones y permite contar con un sitio adecuado para el lavado de equipo de aspersión o retención de derrames en etapa de mezcla/llenado.

El filtro biológico propuesto es de bajo costo, fácil de construir y cómodo de usar. Fue diseñado desde un inicio como una alternativa de bajo costo para tratamiento de aguas con plaguicidas diluidos, biomezcla en los filtros

biológicos se permite que los residuos de plaguicidas sean retenidos o evaporados y degradados por bacterias o enzimas.

La funcionalidad química y biológica del sistema también representa un beneficio para los agricultores. Los hongos de pudrición blanca son organismos vivos que se originan en el ambiente y crecen en sustratos económicos (bosques o residuos agrícolas), no deben ser acondicionados a la sustancia química a degradar ya que se desarrollan con nutrientes de la naturaleza: Mazorcas de maíz, paja, bagazo de caña, rastrojo de maíz, etc. Estos hongos generan enzimas de amplia especificidad y alto potencial oxidante, por tanto el sistema presenta la capacidad de mineralizar una amplia variedad de productos químicos estructuralmente distintos. Los procesos de oxidación son extracelulares, esto permite la degradación de contaminantes insolubles en agua o que se adhieren al suelo. Finalmente, otra ventaja es que a medida que se degrada el componente químico la enzima continúa produciéndose sin verse afectada por la concentración del mismo. (Aust, 19909

Comparando el sistema de biofiltro compuesto propuesto en este trabajo, con la propuesta actual de cama biológica BIODP de Agrequima, los beneficios son evidentes:

Tabla 8. Comparación BIODP Agrequima y propuesta biofiltro compuesto

	Cama biológica Agrequima	Mesa biológica Agrequima	Biofiltro compuesto
Costo de implementación y mantenimiento	Elevado	Bajo	Bajo
Área de implementación	Amplio requerimiento. Se debe cavar un espacio profundo e impermeabilizar el área	Poco requerimiento de espacio	Poco requerimiento de espacio
Capacidad de efluentes a tratar	Alta, recomendada para equipo industrial	Baja, recomendado para derrames accidentales durante mezcla	Media, para derrames durante mezcla y agua de lavado de bombas pequeñas
Construcción	Compleja, se requiere la ayuda de un tercero	Sencilla, puede realizarse por el agricultor	Sencilla, puede realizarse por el agricultor
Operación	Sencilla	Sencilla	Sencilla, debe tomarse en cuenta la altura del sistema
Recirculación	N/A	N/A	Sencilla
Mantenimiento	Costo elevado, grandes volúmenes y proceso complejo, no es sencilla la implementación de múltiples unidades para proveer tiempo en que la unidad permanece inutilizable	Sencillo, pueden implementarse varias unidades por un bajo costo para alternar tiempos de mantenimiento	Sencillo, pueden implementarse varias unidades por un bajo costo para alternar tiempos de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia (2015)

1.2.9. Normativas en Guatemala para aguas residuales y uso de plaguicidas

En Guatemala, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), según el Artículo 14 de la Ley de Sanidad Animal y Vegetal del decreto No. 36-98, es el encargado de “coordinar acciones para el establecimiento, aplicación de normas y procedimientos, control de insumos para uso agrícola, registro, supervisión, y control de los establecimientos que los importen, produzcan, formulen, distribuyan o expendan, de conformidad con lo que establece el Código de Salud y el reglamento de ley”.

Guatemala cuenta actualmente con ciertos acuerdos que dictan lineamientos para regular no solo la calidad de los efluentes sino también la manera de desecharlos. A continuación se presenta, de los acuerdos aplicables a aguas agronómicas, un resumen de los puntos importantes e información que se considera relevante.

Acuerdo Gubernativo 377-90

En este acuerdo se incluyen los reglamentos sobre registro, comercialización, uso y control de plaguicidas agrícolas y sustancias afines. En los capítulos XIV, XV y XVI se especifican los lineamientos y condiciones generales de uso, manejo y eliminación de estos productos. A continuación se mencionarán ciertos artículos que de interés que contiene la normativa, que hacen alusión a problemáticas que pueden resolverse al implementar el uso de filtros biológicos.

- **Artículo 107°:** “Se prohíbe la aspersion o espolvoreo de plaguicidas sobre manantiales, estanques, canales y otras fuentes de aguas.”
- **Artículo 108°:** “Se prohíbe el lavado de cualquier equipo de aplicación en ríos, lagos, corrientes de agua y cualquier otra fuente natural”
- **Artículo 124°:** “El lavado de los equipos de aplicación de plaguicidas y de los equipos de protección personal deben realizarse utilizando equipo de protección adecuado para estas actividades y materiales adecuados para el lavado”.
- **Artículo 137°:** “Las operaciones de descontaminación del equipo de aplicación y de desnaturalización de remanentes de plaguicidas deben ser realizadas por personas debidamente entrenadas para este fin (...) Las aguas utilizadas en el lavado de equipo de aplicación no deben ser vertidas en corrientes de agua o en el sistema de alcantarillado público”.

Acuerdo Gubernativo 236-2006

El objetivo de este acuerdo es establecer criterios y límites máximos que deben ser cumplidos para la descarga y reutilización de lodos y aguas residuales. En este acuerdo se definen límites para aquellos entes generadores de aguas residuales, los límites varían dependiendo cuál sea el caso, si el agua residual será desechada en alcantarillados públicos, municipales o cuerpos receptores.

Para el reuso de agua en riego de cultivos comestibles, deben acatarse también los parámetros de LMP para aguas a cuerpos receptores que se presentan a continuación, a excepción de sólidos suspendidos, N total y P total.

Tabla 9. LMP de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores (Acuerdo 236-2006).

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala (2006)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) corresponde a la medida de contenido de materia orgánica en aguas residuales, se determina por la cantidad de oxígeno que se utilizan en la oxidación bioquímica de la MO biodegradable en 5 días a 20°C. En base a este parámetro se mide la cantidad de efluentes que pueden ser desechados diariamente, de contener una DBO igual o menor a 200mg/L el efluente no puede sobrepasar los 3000kg/día. En caso la DBO sea igual o menor a 100mg/L pueden realizarse descargas mayores.

Tabla 10. LMP para descarga de aguas residuales en esteros DBO (Acuerdo 236-2006)

Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	500	300	250	150	100

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala, (2006)

Tabla 11. LMP para descarga de aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público (Acuerdo 236-2006)

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	40
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

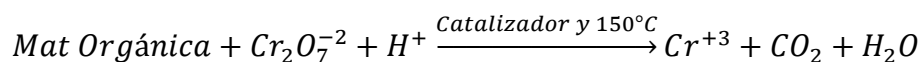
Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala, (2006).

1.2.10. Medida de Biodegradabilidad

La biodegradación es la descomposición causada por actividad biológica, generalmente acción enzimática, que conduce a un cambio significativo en la estructura del compuesto. Un proceso de biodegradación puede ser parcial o total, para compuestos orgánicos existen intermediarios químicos que surgen durante el proceso y finalmente este termina en la mineralización con formación de dióxido de carbono, metano, agua, minerales y biomasa (dependiendo del compuesto inicial y de las condiciones de degradación).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO corresponde a la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos presentes en la mezcla hasta CO₂ y H₂O. La diferencia frente al DBO es que en este se detecta únicamente la materia orgánica biodegradable, en el DQO toda la materia orgánica aunque no sea biodegradable es detectada por oxidación con dicromato de potasio en medio ácido con catalizador. Con este fin se utiliza una mezcla de ácido sulfúrico y dicromato de potasio con iones plata como catalizadores, a una temperatura de 150°C el Cromo se reduce de Cr⁺⁶ a Cr⁺³ y se oxida la materia orgánica. El proceso se encuentra descrito por la siguiente reacción química:



Se puede determinar la cantidad producida de Cr⁺³ y la cantidad de oxígeno del dicromato usado se expresa como DQO en mg/L de oxígeno. El procedimiento

general se basa en añadir la muestra a frascos con reactivos pre medidos, incluyendo catalizadores y compensadores de la interferencia de Cloruros. Los frascos se incuban hasta digestión completa y luego se mide el DQO con un espectrofotómetro. El DQO no incluye el oxígeno utilizado para convertir el nitrógeno reducido a nitrato, ahora bien, el sulfuro reducido es oxidado a sulfuro por los agentes químicos y ese valor si se incluye en el DQO. Este método cuantifica la materia orgánica disuelta y particulada, es una medida ampliamente usada como parámetro cuantitativo. (Torres y Jiménez, 2006).

II. Planteamiento del problema

Guatemala es un país cuya principal actividad económica es la agricultura, cerca del 70% de los alimentos consumidos son producto de agricultura familiar campesina. Se ha observado que los pequeños agricultores no aplican buenas prácticas agrícolas en procesos de almacenamiento, preparación de mezclas, medidas de protección personal al momento de la aplicación, desecho de residuos de aplicación y aguas de lavado. Durante una de las visitas a campo realizadas, se evidenció un caso en el que se preparaba la mezcla y llenaba el tanque de aspersión junto un pozo de agua que posiblemente era la fuente de abastecimiento de agua para otras actividades cotidianas. En la misma visita, se observó el terreno y se verificó que no se contaba con un sitio para desechar remanentes y aguas de lavado. Este escenario es común en la mayoría de los pequeños agricultores en Guatemala, por tanto se identificó la necesidad de un mecanismo sencillo, de bajo costo y eficiente para realizar actividades de preparación de mezcla y desecho de residuos.

En Guatemala AGREQUIMA propone un sistema de camas biológicas, sin embargo, este sistema es de costo elevado, difícil elaboración, requiere un amplio espacio para el establecimiento y su utilidad es mayor si se generan grandes efluentes. También existe una propuesta de mesa biológica, sin embargo por el volumen, este sistema no se aplica para agua de lavado de tanques, únicamente a derrames accidentales durante la preparación de la mezcla. Teniendo esto en cuenta surgió la pregunta, ¿Qué modificaciones podrían realizarse para diseñar un sistema eficiente que cumpla con el fin de retener y degradar agua de lavado de tanques y derrames accidentales durante la preparación de mezclas, de bajo costo, bajo requerimiento de espacio, sencillez en uso y construcción; todo esto aplicado a la realidad del pequeño agricultor en Guatemala con el fin de generar interés en su implementación?

Luego de investigar los fundamentos del sistema, los estudios y propuestas realizadas en otros países del mundo, se diseñó una propuesta alternativa. Esta consiste en un filtro biológico compuesto que puede ser aplicado para retención y degradación de aguas de lavado de tanques de aspersión con presencia de agroquímicos. En el sistema se utilizan materiales de bajo costo que son accesibles para cualquier agricultor; la biomezcla se compone por suelo de su terreno, broza que pueden realizar acumulando hojas de su terreno y finalmente una fuente de lignina que podría variar dependiendo de los cultivos a los que se dedique el agricultor o a alguna otra fuente de acceso para el material (rastreo de maíz, caña, frijol, arroz). El biofiltro propuesto en este informe fue diseñado con el fin de aportar a la construcción de una sociedad ambientalmente sostenible, iniciando por la reducción de las fuentes puntuales de contaminación del sector agrícola que pueden llegar a ser riesgosas para la salud.

2.1 Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del mecanismo de filtros biológicos a pequeña escala para la retención y remoción de componentes orgánicos en el agua contaminada con agroquímicos.

2.1.2. Objetivos específicos

- a. Elaborar un sistema de biofiltro compuesto a pequeña escala utilizando técnicas de tratamiento de aguas residuales.
- b. Determinar la eficiencia de la biomezcla conformada por: suelo, broza, bagazo de caña y rastrojo de maíz, en la degradación y retención de plaguicidas en un sistema de biofiltro.
- c. A partir de análisis químico de DQO, identificar la remanencia de plaguicidas (compuestos orgánicos) en los efluentes finales del sistema de biofiltro compuesto.
- d. Efectuar un diagnóstico de la eficiencia de remoción y retención de plaguicidas del sistema de biofiltro elaborado y la factibilidad de su implementación con pequeños agricultores.

2.2 Hipótesis

Haciendo uso del sistema de biofiltro compuesto elaborado será posible retener y reducir la concentración del Clorotalonil en los efluentes.

2.3 Variables

En este proyecto se buscan evaluar los siguientes elementos con el fin de diseñar y determinar la eficiencia del sistema:

- Diseño del Biofiltro
- Componentes de Biomezcla
- Cantidad de Biomezcla
- DQO
- Volumen de entrada de líquido al sistema
- Volumen de efluentes del sistema
- Tiempo de retención

2.4 Definición de las variables

- **Diseño de Biofiltro (definición teórica):** un biofiltro es un método simple y de construcción económica diseñado para recolectar y degradar derrames de pesticidas en el campo. Se construye ya sea al nivel del suelo o en un sistema aislado, el elemento más importante del sistema es una biomezcla constituida por suelo, broza y residuos lignocelulósicos, que actúa reteniendo y degradando compuestos orgánicos.(Castillo, Torstensson y Stenström, 2008).

En este proyecto se propone y construye un diseño alternativo de biofiltro compuesto, con el fin de evaluar su funcionalidad para pequeños agricultores para retención y degradación no solo de derrames accidentales durante la preparación de mezclas, sino también de agua de lavado de tanques. En sí, del sistema se evaluará el costo, eficiencia de la biomezcla, capacidad de retención, espacio ocupado, facilidad de construcción e implementación.

- **Composición y cantidad de Biomezcla (definición experimental):** la biomezcla debe tener la capacidad de retener y degradar pesticidas. Contiene fuentes con alta capacidad de absorción y alta carga microbiana. Compuesto por una mezcla homogénea de broza, suelo y una fuente de lignina. Una buena biomezcla promueve la unión de pesticidas y una flora microbiana eficiente, duradera, resistente a altas concentraciones de pesticidas. El volumen de biomezcla a añadir al sistema depende de las dimensiones del mismo, sin embargo se recomienda la adición de una capa de 70cm de profundidad. (Diez, et al., 2013).

La biomezcla utilizada en el biofiltro construido, por accesibilidad de materiales y por las recomendaciones estudiadas en las referencias consultadas, se elaboró a partir de: 25% broza de hojas, 20% tierra negra, 5% hummus y 50% de bagazo de caña; a esto se adicionó rastrojo y olotes de maíz. Tal como se indicaba en las referencias consultadas, se adicionó una capa de 70 cm de biomezcla a cada uno de los toneles del sistema. De esta biomezcla se desea evaluar la capacidad de retención de líquido y su efectividad para la degradación de pesticidas. Como se ha mencionado previamente, la biomezcla puede variar en sus componentes dependiendo de las condiciones de la zona y los materiales a los que se tenga acceso. El fin de este proyecto no es evaluar esta composición en específico frente a otras mezclas, sino de manera general evaluar la efectividad que posee el sistema para los fines requeridos. En los siguientes puntos se explicará la medición de la degradación y retención en la biomezcla.

- **DQO (definición experimental):** en la biomezcla gracias a la presencia de lignina, se generan hongos de pudrición blanca (*Phanerochaete chrysosporium*) que por su secreción de peróxido de hidrógeno y enzimas, son responsables de la degradación de una amplia gama de contaminantes orgánicos mediante un mecanismo de radicales libres. De igual manera dentro de la biomezcla hay presencia de microorganismos que facilitan procesos alternos de degradación. (Mills, et al., 1989) La definición teórica del parámetro de DQO, indica que es la medición de la cantidad de oxígeno requerido para la degradación química de la materia orgánica presentes en una muestra por unidad de volumen.

En la práctica, se utilizará el parámetro de DQO para medir la degradación biológica, el análisis será realizado a: una muestra de la mezcla original ingresada al sistema, una muestra del primer efluente del biofiltro y a una muestra del segundo efluente generado en el biofiltro luego de la recirculación del primer efluente. De esta manera será posible determinar si hay alguna mejora significativa en carga orgánica final luego de pasar por el biofiltro.

- **Volumen de entrada de líquido y salida de efluentes generados en el sistema (definición experimental):** la retención de efluentes es proporcionada en su mayoría por la broza y la biomezcla, es posible añadir componentes adicionales que aumenten el factor de retención (tales como el carbón de coco). En el caso de la biomezcla utilizada en este proyecto, la retención debe ser proporcionada por la broza y el bagazo de caña. Según sea el nivel de retención de la biomezcla y la capacidad del sistema de generar absorción y evaporación de líquidos, será el nivel de efluentes que se generen luego del proceso de simulación de lavado de tanques.

Al sistema se ingresará un volumen aproximadamente de 8L de agua, que corresponde al volumen promedio de agua que es utilizado para un proceso de lavado de una mochila de aspersión de 16L. No hay datos teóricos sobre el porcentaje de efluentes que deberían ser generados en un biofiltro, dado a que esto depende del diseño, condiciones climáticas y de los materiales que hayan sido utilizados para la biomezcla. La determinación de la salida de efluentes, será realizada cada 10 días por medición de volúmenes generados y acumulados en el tanque inferior luego del proceso de simulación y de los procesos de recirculación posteriores que serán realizados. Los procesos manuales de recirculación serán aplicados con el fin de aumentar el factor de retención y determinar el tiempo de retención que fue necesario para el volumen inicial ingresado.

- **Tiempo de retención (definición experimental):** el tiempo de retención depende de los mismos factores mencionados anteriormente: diseño, condiciones climáticas y composición de la biomezcla. En este proyecto, la medición comprende a la cantidad de días que serán requeridos durante la etapa experimental para que la generación de efluentes del sistema sea nula. Dado a que la medición de los volúmenes de efluentes será realizada cada 10 días, será posible determinar con claridad la disminución progresiva de volúmenes de efluentes hasta que no haya generación.

2.5 Alcances y límites

Durante la investigación realizada, la primera limitación fue la falta de información de los métodos que ya han sido implementados por AGREQUIMA en Guatemala. No existe documentación acerca de la efectividad del sistema y de las oportunidades de mejora que se han identificado por parte de los usuarios. Debido a esto, se recurrió a visitar la finca Jardines Mil Flores de Syngenta®, ubicada en el Km. 28.5 CA al Pacífico Cantón Ingenio / Amatitlán, Guatemala. En esta finca tienen implementado el sistema de cama biológica en los diferentes espacios destinados para lavado de tanques de aplicación. Fue posible observar el funcionamiento y uno en proceso de construcción, se conversó con el encargado del proyecto para determinar las ventajas y desventajas del sistema que ya tienen aplicado. A partir de esta interacción se determinó que este sistema resulta funcional para grandes volúmenes de agua.

En una de las camas, se identificó a partir del medidor de caudal que se encontraba acumulado un gran volumen de agua que no había podido ser evaporado y retenido por el sistema. Sin embargo, no existía un mecanismo para generar recirculación, evidenciándose la necesidad de algún medio que permita que el líquido que llegue al fondo pueda ser reincorporado para propiciar la evaporación y retención del mismo. Referirse a Anexo 9.4.4.

Otro limitante fue el acceso no solo a nivel nacional sino internacional, de estudios realizados acerca de la efectividad de las diferentes variaciones de fuentes de lignina u otros materiales en la biomezcla. Como se mencionó en un inicio, este sistema está creado con el objetivo que la biomezcla pueda variar en sus componentes dependiendo de la disponibilidad de materiales, sin embargo no se tiene amplia información de estudios que indiquen el nivel de efectividad de acuerdo a la fuente de lignina utilizada. Por esta razón, en este proyecto, se evaluará la funcionalidad de los componentes que fueron utilizados debido a la facilidad de acceso y a las recomendaciones recibidas de compañeros de trabajo. En este sistema se utilizó bagazo de caña como principal fuente de lignina, y se añadió rastrojo de maíz en menor cantidad. Se aplicó broza de hojas y una mezcla de tierra negra con hummus con el fin de propiciar el desarrollo de microorganismos.

Finalmente, dentro de las limitaciones encontradas, es importante mencionar la dificultad de acceso a análisis específicos de cromatografía para componentes específicos y el costo de los mismos en los laboratorios de Guatemala. Muy pocos laboratorios guatemaltecos realizan análisis HPLC para plaguicidas, y en los que los realizan las opciones son limitadas y el costo es elevado. En un inicio, el proyecto se direccionó al uso de Clorotalonil debido a que se identificó una opción para el análisis HPLC requerido para este material en específico, sin embargo esto resultó imposible. Por esta razón se optó a realizar un análisis de DQO a la muestra inicial y a los efluentes para determinar la efectividad de remoción, estos análisis fueron realizados en el laboratorio CONCALIDAD localizado en el campus de la Universidad Rafael Landívar.

De manera general, los alcances de esta investigación, tomando en cuenta las limitaciones mencionadas anteriormente, se resumen en la evaluación de un biofiltro elaborado a pequeña escala haciendo uso de materiales de bajo costo. Haciendo uso de una biomezcla conformada por: tierra, broza, bagazo de caña, hummus y rastrojo de maíz; y aplicando modificaciones a los sistemas tradicionales ya implementados en Guatemala en base a las ideas generadas en otros países del mundo para este sistema. Estas modificaciones incluyen la adición de un filtro del piedrín al fondo de cada tanque y la colocación de los dos tanques (uno sobre otro) con el fin de formar un solo biofiltro compuesto. A este sistema, luego del tiempo de maduración, se añadió una muestra de Clorotalonil y se evaluó el funcionamiento del sistema durante la aplicación de la muestra y la generación de efluentes. Aplicando un proceso de recirculación, los efluentes generados fueron regresados a la parte superior del tanque y se

evaluó la calidad de dos muestras de efluentes y de la muestra original haciendo uso del parámetro de DQO.

2.6 Aporte

Este estudio tiene como fin aportar una alternativa funcional, de bajo costo y atractiva a los pequeños agricultores guatemaltecos, que por falta de conocimiento, espacio o recursos, hasta el momento no cuentan con un sitio óptimo para: preparación de mezclas, llenado de bombas de aspersión y desecho de agua de lavado luego de su uso. Este sistema es una solución a la contaminación puntual a fuentes hídricas generada por este sector y causa particular, que representa un riesgo grave a la salud. Como proyecto, se encuentra proponer la alternativa a agro servicios u otras personas que mantienen contacto y asesoran continuamente a pequeños agricultores, exponiendo los resultados obtenidos en este proyecto, para que pueda ser expuesta a los agricultores que actualmente carecen de este recurso.

III. Método

3.1. Tipo de estudio

El estudio realizado para el presente trabajo fue de tipo experimental debido a que comprende la realización del sistema a evaluar y la intervención directa sobre las variables que pueden influir en los resultados. El objetivo del mismo es alcanzar la mayor efectividad posible en un biofiltro viable para pequeños agricultores, en el que se realizará una simulación de un proceso de lavado de un tanque de aspersión para evaluar la calidad y cantidad de los efluentes finales.

3.2. Instrumentos

El proyecto fue realizado utilizando recursos propios, buscando el menor de los costos y la utilización de materiales de fácil acceso para pequeños agricultores. A continuación se presenta el listado de materiales utilizados, que fueron elegidos intentando asimilar la situación real de pequeños agricultores en Guatemala. Como se menciona anteriormente, existen variaciones para los materiales que pueden utilizarse para la biomezcla de acuerdo a la accesibilidad a los mismos.

3.2.1. Materiales

- 2 toneles plásticos
- Bagazo de caña
- Hummus
- Piedrín
- Suelo o tierra negra
- Tuza y olotes de maíz
- Grama
- Broza
- Barreno
- 4 ladrillos
- Cinta de teflón
- Válvula para dosificar salida de agua
- 2 tablas de madera

3.2.2. Costeo promedio de materiales

En la siguiente tabla se describe el costo de los materiales a los que no se tuvo acceso sin costo, para la construcción del biofiltro. El costo total puede variar de manera positiva para el instalador, debido a que un agricultor promedio tiene acceso a: broza, tierra/suelo, hummus, olotes, tuza de maíz y otros materiales que en esta experimentación si representaron un gasto.

Tabla 12. Costo promedio de materiales para biofiltro durante experimentación

Artículo	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL
Broza	1 bolsa	Q 9.00	Q 9.00
Tierra negra	1 bolsa	Q 9.00	Q 9.00
Piedrín	2 bolsas	Q 9.00	Q 18.00
Hummus	1 bolsa	Q 35.00	Q 35.00
Toneles	2 ud.	Q 100.00	Q 200.00
Olotes de maíz	10 ud.	Q 1.00	Q 10.00
Tuza de maíz	40 ud.	Q 5.00	Q 20.00
Tablas de madera	2 ud.	Q 5.00	Q 10.00
Ladrillos	4 ud.	Q 2.50	Q 10.00
			Q 321.00

Fuente: Elaboración propia (2015)

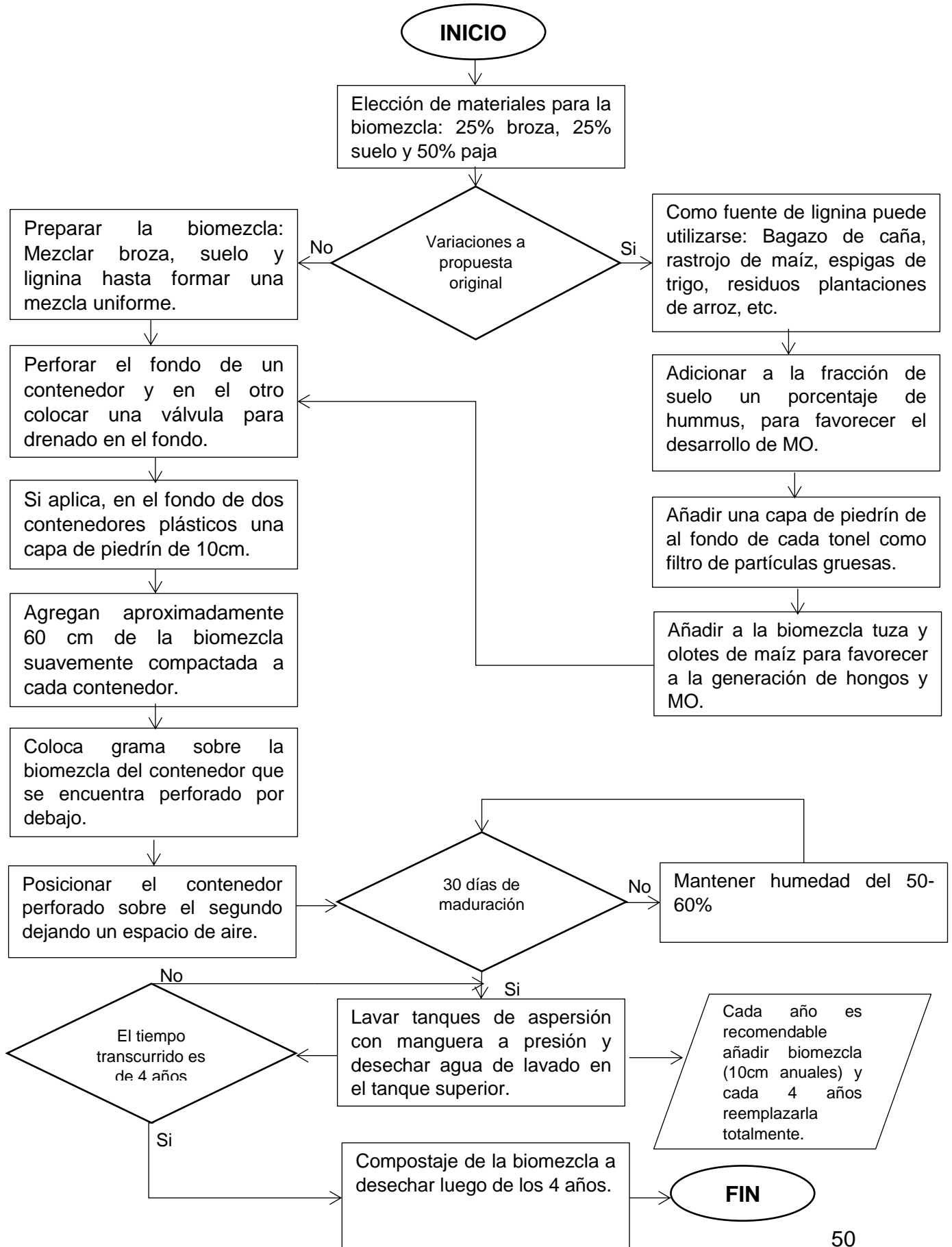
3.3. Procedimiento experimental

Para el diseño del procedimiento experimental, tanto de la construcción del sistema como de la simulación del lavado de una bomba de aspersión, no solo se recurrió a la información disponible en la bibliografía (que se expuso previamente en el marco teórico de este trabajo) sino también se buscaron sugerencias y aportes de los colaboradores de Syngenta®. Para la selección de la fuente de lignina, se consultó a representantes técnicos de venta y expertos en cultivos, todos Ingenieros Agrónomos con varios años de experiencia, y la recomendación común para una buena fuente de lignina para el biofiltro (por disponibilidad, acceso y efectividad) fue el bagazo de caña y el rastrojo de maíz. Para este proyecto, el bagazo de caña fue proporcionado por el representante técnico de ventas para el cultivo de Caña.

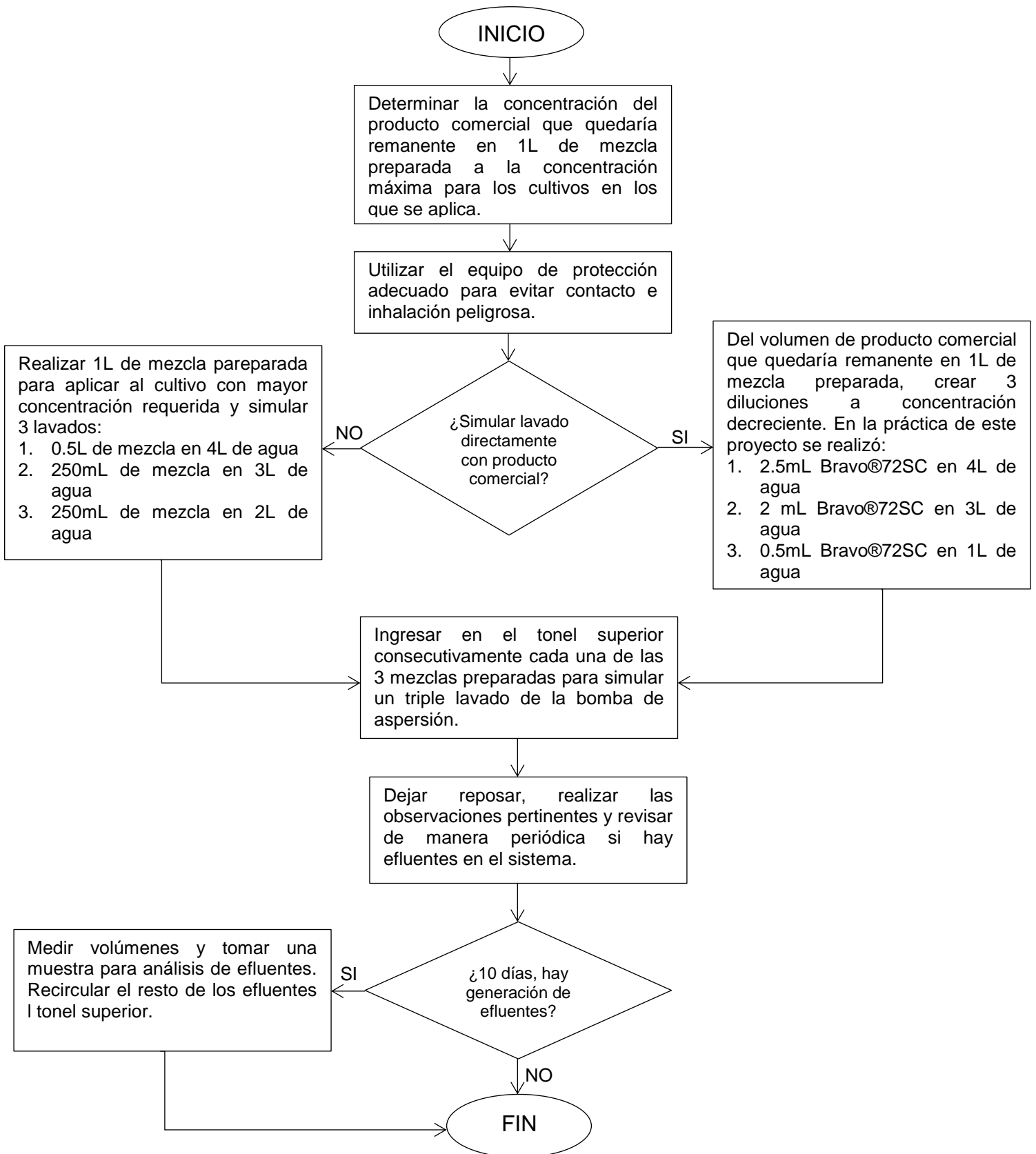
Para la simulación de lavado de tanques, el encargado del departamento de Custodia de productos de Syngenta® proporcionó sus recomendaciones, indicó que en promedio las bombas de aspersión utilizadas por los pequeños agricultores son de 16L. Generalmente, luego de un proceso de aplicación de producto, en las bombas de aspersión queda un remanente de 1L de mezcla preparada. Por esta razón, al realizar la experimentación se utilizó la concentración de producto comercial que quedaría en 1L de mezcla lista para aplicación al cultivo que requería mayor concentración. De igual manera, su recomendación fue simular un triple lavado de la bomba (procedimiento que utilizan los agricultores generalmente), para estos 3 lavados la concentración de producto debía ir disminuyendo gradualmente y el volumen de agua utilizado para cada lavado empezaba alrededor de 4L y disminuía de manera gradual. Por esta razón se optó por realizar 3 diluciones dividiendo el volumen de producto comercial que quedaría en 1L de producto preparado (5mL) en 50% (2.5mL), 40% (2mL) y 10% (0.5mL) en 4L, 3L y 1L de agua respectivamente.

En los siguientes diagramas se expone el proceso utilizado para la construcción del filtro biológico y para el proceso de simulación de lavado de bombas de aspersión.

3.3.1. Construcción de filtro biológico



3.3.2. Simulación de lavado de tanque

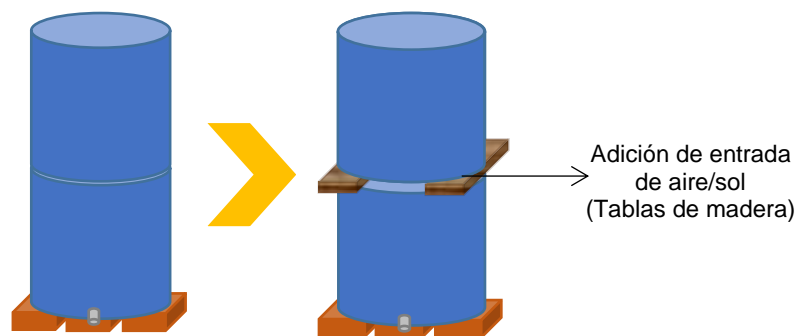


Fuente: Elaboración propia (2015)

3.3.3. Modificaciones al procedimiento durante etapa experimental

Durante el proceso de elaboración y maduración del biofiltro, fue posible identificar la necesidad de un espacio de entrada de aire para el tonel inferior. En un inicio, el posicionamiento fue directo uno sobre otro, sin embargo a medida que transcurrió el tiempo de maduración se observó que los hongos que habían sido generados en la superficie de la biomezcla del tanque inferior habían muerto. Para el sistema se requiere del crecimiento microbiano y de la generación del hongo de pudrición blanca para favorecer la descomposición. De igual manera, se busca que en el sistema filtros biológicos se retengan y evaporen los líquidos ingresados; este objetivo se cumple únicamente si existe una entrada de aire y sol también para este tanque. En base a lo anterior, la solución fue la adición de unas tablas de madera entre ambos toneles para proporcionar el espacio requerido.

Figura 12. Modificación realizada al diseño inicial del biofiltro compuesto

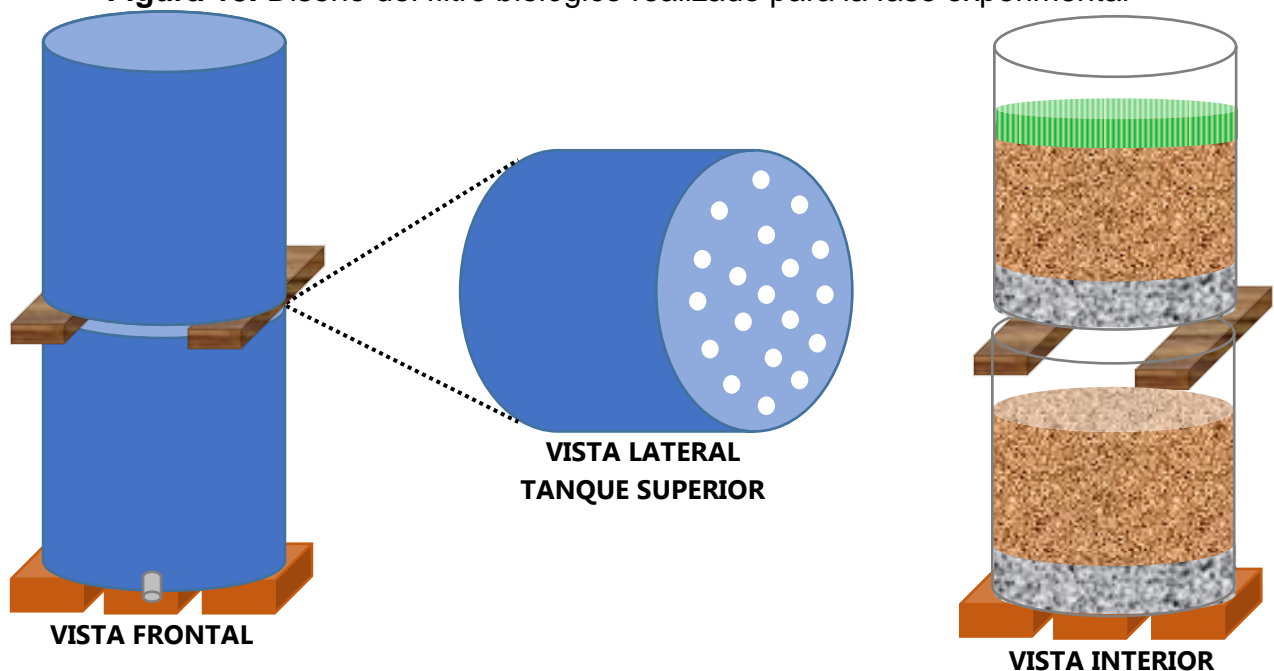


Fuente: Elaboración propia (2015)

3.4. Diseño y metodología

3.4.1. Diseño unidad experimental

Figura 13. Diseño del filtro biológico realizado para la fase experimental



Fuente: Elaboración propia (2015)

3.4.2. Descripción de la unidad experimental

El sistema construido, tal como se observa en el diagrama superior, se encuentra constituido en su mayoría por dos toneles plásticos y la biomezcla. El tonel superior debe estar perforado para permitir la filtración de efluentes al segundo tanque, de igual manera se debe colocar una separación física entre el primer y segundo tonel para permitir la entrada de aire y luz al tonel inferior. El sistema completo se encuentra posicionado en un soporte que permita una separación entre la válvula de drenaje y el suelo, con el fin de recolectar efluentes para muestreo y recirculación. Dentro de cada tonel se encuentra una capa de piedrín cuya función es ser un soporte y filtro para partículas gruesas, con el fin de que los efluentes recolectados y drenados al segundo tanque sean líquidos con el menor arrastre de partículas que sea posible. La biomezcla se encuentra compuesta por 50% de bagazo de caña, 25% broza de hojas, 20% tierra negra, 5% de hummus, a esto se añadieron los olotes y rastrojo de maíz en pequeña cantidad.

3.4.3. Variable respuesta y Metodología de análisis

En este proyecto, como se ha mencionado anteriormente, las variables a evaluar serán:

1. La retención de la biomezcla, evaluada mediante la observación durante el proceso de simulación y medición cada 10 días de volúmenes de los efluentes luego de la corrida inicial, y de procesos manuales de recirculación.
2. La degradación de componentes orgánicos en la biomezcla utilizada, mediante un análisis de DQO a una muestra con la concentración de producto comercial ingresada al sistema, a una muestra de los primeros efluentes y a una muestra de los segundos efluentes provenientes de la primera recirculación. Los análisis de DQO serán realizados en el laboratorio de CONCALIDAD, ubicado en el campus de la Universidad Rafael Landívar.

IV. Presentación y análisis de resultados

Con el fin de evaluar la efectividad del biofiltro, se tomaron en cuenta dos parámetros importantes: remoción y retención. La remoción se evaluó en base a los resultados a los análisis de DQO realizados en el laboratorio de CONCALIDAD, S.A. El DQO indica el oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica presente por unidad de volumen. Tomando en cuenta estos resultados y el volumen total de líquido de los efluentes y de la muestra original; se determinó el total de oxígeno requerido para la oxidación de materia orgánica, parámetro mediante el cual se evaluó la remoción. La retención se evaluó en base al volumen total de la muestra ingresada respecto a los volúmenes de los efluentes generados por el sistema. En la siguiente tabla se evidencian los resultados de DQO y la medición de volúmenes. De igual manera, se presentan los cálculos de oxígeno requerido y porcentajes de retención/remoción obtenidos luego de los procesos de recirculación realizados. Es importante resaltar que luego de la tercera recirculación, ya no existe salida de efluentes en el sistema de biofiltro.

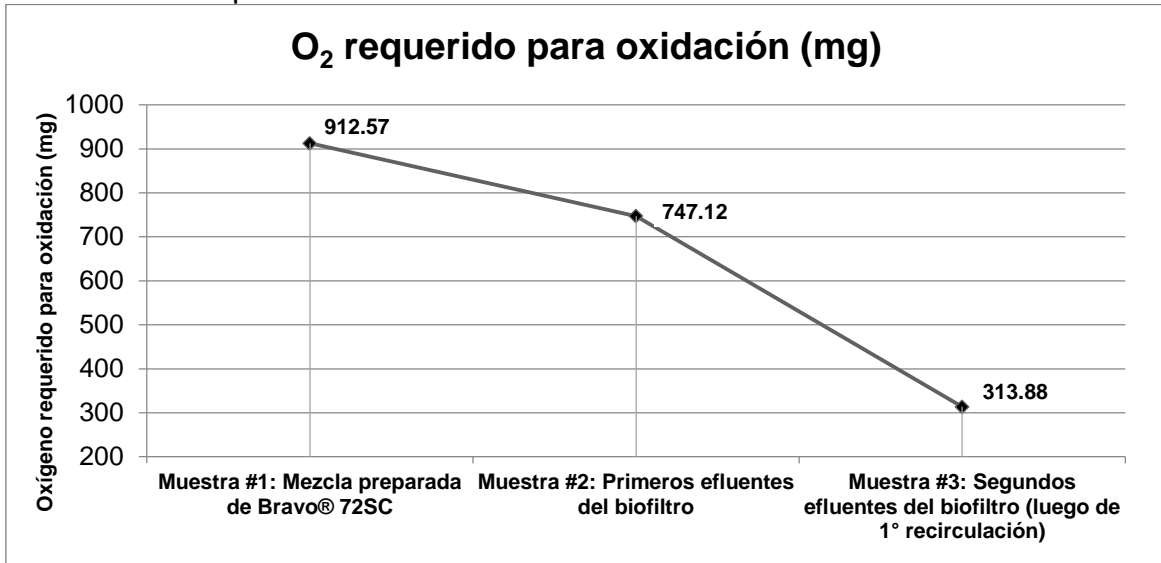
Tabla 13. Resultados para volúmenes de efluentes y DQO de las muestras enviadas al laboratorio CONCALIDAD, S.A.

Muestra	DQO (mg O ₂ /L)	Volumen total de líquido (L)	O ₂ requerido para oxidación (mg)	% Remoción	% Retención
Muestra #1: Mezcla preparada de Bravo® 72SC	114	8.005 ± 0.017	912.57 ± 0.017		
Muestra #2: Primeros efluentes del biofiltro	264	2.83 ± 0.01	747.12 ± 0.01	18%	65%
Muestra #3: Segundos efluentes del biofiltro (luego de 1° recirculación)	236	1.33 ± 0.01	313.88 ± 0.01	66%	83%
Efluentes finales (luego de 2° recirculación)	N/A	0.14 ± 0.01	N/A	N/A	98%
Luego de 3° recirculación	N/A	N/A	N/A	N/A	100%

Fuente: Elaboración propia (2015)

En el Gráfico 4, se presenta el oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica de cada una de las muestras a las cuales se evaluó el parámetro de DQO. En la gráfica se muestra la tendencia decreciente del oxígeno requerido a medida que se incrementan los procesos de recirculación. En base a estos datos se calculó el %Remoción.

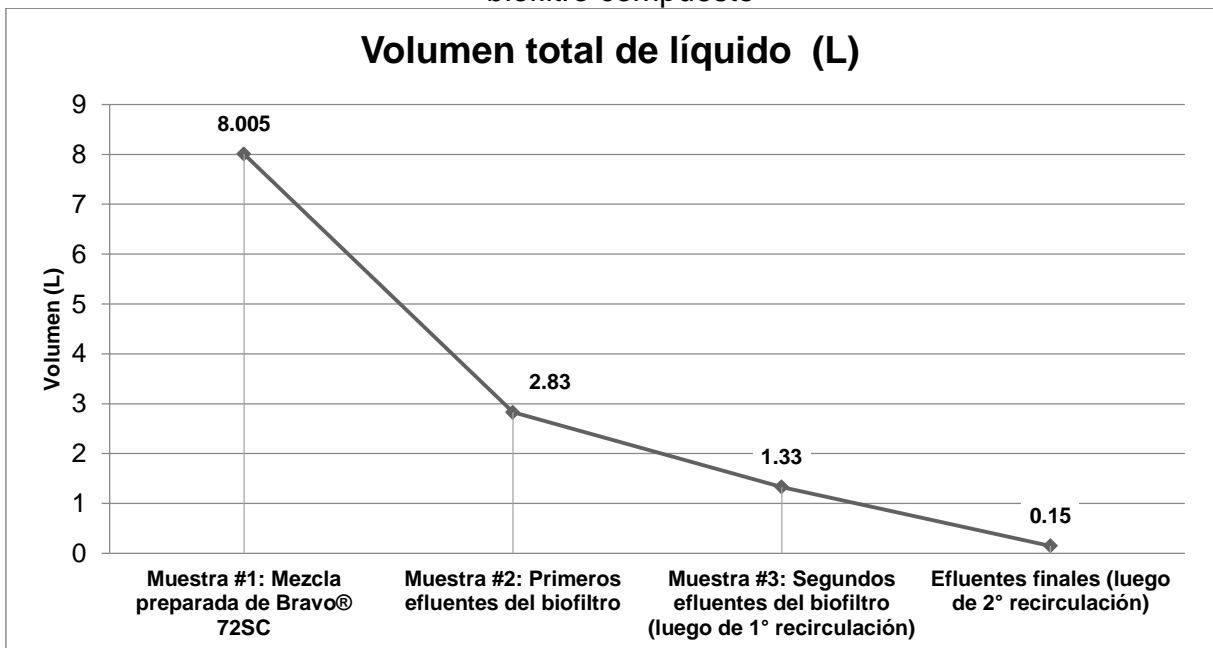
Gráfico 4. Oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica presente en las muestras evaluadas en CONCALIDAD



Fuente: Elaboración propia (2015)

En el Gráfico 5, se muestran los volúmenes de cada uno de los efluentes generados en el sistema respecto al volumen de la mezcla ingresada. Mediante la tendencia negativa es posible observar como a medida que ocurren los procesos de recirculación, los volúmenes de efluentes disminuyen hasta desaparecer por completo. A partir de estos datos se calculó el %Retención, en el cuál se evidencia crecimiento hasta alcanzar el 100% luego de la tercera recirculación manual.

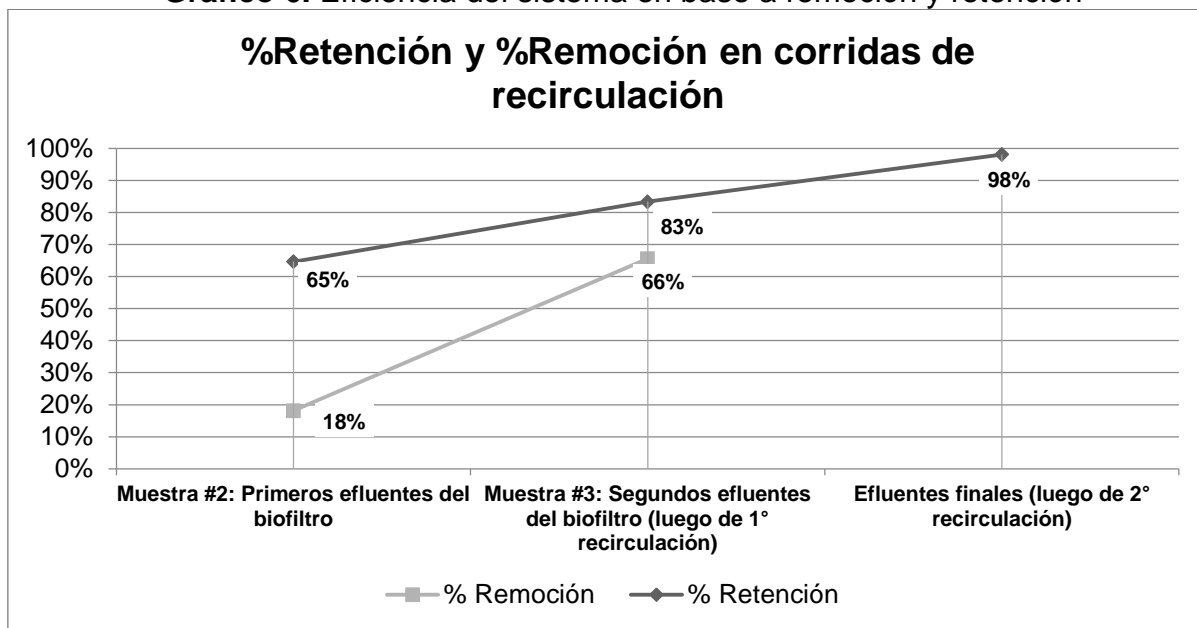
Gráfico 5. Volumen de líquido ingresado y efluentes del sistema de biofiltro compuesto



Fuente: Elaboración propia (2015)

En el Gráfico 6, se representan los porcentajes de retención (respecto a volumen de efluentes) y de remoción (en base a oxígeno requerido para degradación) obtenidos como resultado del tiempo de reposo en el biofiltro y de los continuos procesos de recirculación. Es posible observar la tendencia positiva de los datos de ambos porcentajes a medida que se incrementa el número de recirculaciones en el sistema.

Gráfico 6. Eficiencia del sistema en base a remoción y retención



Fuente: Elaboración propia (2015)

V. Discusión

En este estudio el objetivo era proponer, construir y evaluar la efectividad de un sistema alternativo de biofiltro, para su aplicación destinada al desecho de agua de lavado de tanques y retención de derrames accidentales durante la preparación de la mezcla y llenado de mochilas de aspersión, en terrenos de pequeños agricultores. Con este fin se propone un sistema pequeño, de bajo costo, que consiste en un biofiltro compuesto conformado en esencia por una biomezcla generada a partir de materiales de fácil acceso para los agricultores. La efectividad del biofiltro se midió en base a dos aspectos esenciales: la retención y la degradación biológica. Para este estudio se realizó una biomezcla compuesta por bagazo de caña, suelo, hummus, broza de hojas, olotes y rastrojo de maíz. Y se realizó una simulación de lavado de mochila de aspersión haciendo uso de una dilución del producto comercial Bravo® 72SC cuyo ingrediente activo es el Clorotalonil. Para el diseño del biofiltro, detalle de materiales y procedimiento de elaboración referirse a la sección III. Método, y para el detalle de concentraciones y volúmenes utilizados en el proceso simulación de lavado de tanque referirse a Tablas 16, 17 y 18 de la sección IX. Anexos.

Durante el proceso de diseño y construcción, se tomó en cuenta el propósito requerido y las recomendaciones de los estudios realizados en otros países del mundo para este tipo de sistemas. Luego de evaluar varias propuestas y alternativas, se construyó un diseño que consiste en un biofiltro compuesto aplicando como base los conceptos de la mesa biológica propuesta por AGREQUIMA. A este modelo base se adicionó una válvula al final del sistema para recolección de efluentes, un filtro de piedrín para evitar el paso de partículas y soporte a la biomezcla, una separación física entre ambos tanques para ingreso de sol y aire, y una variación en los componentes de la biomezcla en base a disponibilidad y recomendaciones recibidas. El resultado final del proceso fue un biofiltro, que luego del tiempo de maduración, debía ser capaz no solo de retener y evaporar los líquidos ingresados, sino también de generar degradación de los componentes orgánicos retenidos.

Al sistema de biofiltro se adicionó un volumen total de (8.005 ± 0.017) L de una dilución de Bravo® 72SC a una concentración de (0.00485 ± 0.0017) M del ingrediente activo Clorotalonil. Se realizó un análisis de DQO a una muestra de la mezcla en el laboratorio de CONCALIDAD, S.A., y se obtuvo un resultado de $114\text{mg O}_2/\text{L}$, que corresponde a $(912.57 \pm 0.017)\text{mg}$ de O_2 requeridos para la oxidación de la materia orgánica en el volumen total ingresado al sistema. Durante la adición de la mezcla al tonel superior, se evidenció un goteo inmediato hacia el tonel inferior, lo que indica que la capacidad de retención de la biomezcla es un punto de mejora. Entre las fuentes de información consultada, se menciona que es posible añadir carbón de coco a la fracción de broza, con el fin de aumentar el nivel de retención en la biomezcla, es por esto que esta recomendación se coloca en la sección VII. Recomendaciones.

Luego de 15 días de reposo se revisó la presencia de efluentes acumulados en el tanque inferior, y se recolectaron (2.83 ± 0.01) L de los cuales se extrajo una

muestra a la que se realizó el análisis de DQO, obteniéndose un resultado de 264mg O₂/L que corresponde a (747.12 ± 0.01)mg de O₂ requeridos para la oxidación de la materia orgánica del volumen total del primer efluente. En base a estos datos y a los de la mezcla original ingresada al biofiltro, se determinó que durante este tiempo se presentó un 18% de remoción y 65% de retención en el sistema. Los datos teóricos indican que de manera general el D₆₀ de Clorotalonil en una biomezcla es de 12.2 días, lo cual presenta una variación respecto a los resultados obtenidos pues la degradación fue realizada a una tasa más lenta.

El volumen total de los primeros efluentes fue ingresado nuevamente al sistema y se dejó reposar por 10 días más, ajustando un total de 25 días desde que se ingresó la mezcla original. Luego de este tiempo se recolectaron (1.33 ± 0.01)L de efluentes acumulados en el tonel inferior, se realizó el análisis de DQO a una muestra y se obtuvo un resultado de 236 mg O₂/L que corresponde a (313.88 ± 0.01)mg de O₂ requeridos para la oxidación de la materia orgánica en el volumen total del segundo efluente. Esto corresponde a un 66% de remoción y 83% de retención respecto a la mezcla ingresada originalmente. Nuevamente se evidencia una tasa de degradación menor a la teoría, sin embargo es importante resaltar el alto porcentaje de retención obtenido en este lapso de tiempo.

El siguiente proceso de recirculación, luego de 10 días más de reposo, resultó en un volumen de (140 ± 10)mL que corresponde a un 98% de retención respecto al volumen de la mezcla original. A este efluente ya no se realizó análisis de DQO, sin embargo se realizó un proceso más de recirculación que luego de 5 días de reposo no generó efluentes en el tonel inferior. Es decir, que en el sistema de biofiltro compuesto elaborado para este estudio, se generó una retención del 100% luego de 45 días del ingreso de la mezcla original, aplicando procesos manuales de recirculación. De manera general, es posible notar que la cantidad de oxígeno requerido disminuye a medida que se realizan los procesos de recirculación, esto debido no solo a un proceso de descomposición ocurrido en la biomezcla, sino también a que este parámetro se ve influenciado por la retención de líquidos que se genera dentro del sistema.

En base a estos resultados es posible concluir que la efectividad del biofiltro diseñado es mayor en retención que en remoción de componentes orgánicos. A pesar de esto, debido a que por falta de recursos no fue posible identificar con certeza la concentración de Clorotalonil en los efluentes, el porcentaje de remoción determinado en base al parámetro de DQO no es completamente representativo y comprende un punto de mejora. Sin embargo, si puede afirmarse que el biofiltro que se diseñó orientado a las necesidades de los pequeños agricultores para retención y remoción de componentes orgánicos de agua de lavado de tanques y derrames accidentales; es una alternativa factible que demostró una alta eficiencia en retención y evaporación del líquido ingresado al sistema. Es por esto que se considera un aporte a la prevención de fuentes de contaminación puntual con efecto en el medio ambiente, recursos naturales y la salud.

VI. Conclusiones

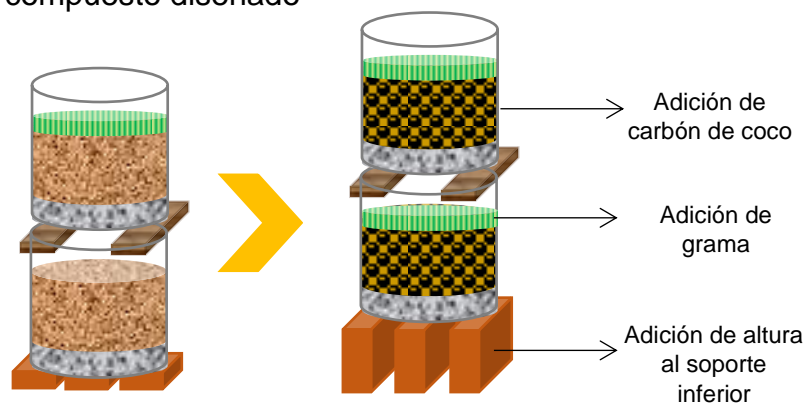
1. Se diseñó y construyó un sistema de biofiltro compuesto haciendo uso de materiales de bajo costo y fácil acceso a pequeños agricultores. El diseño y selección de materiales tomó en cuenta factores que influirían en la eficiencia del sistema, medida en este estudio como capacidad de retención y de remoción. El diseño se encuentra compuesto por dos toneles plásticos uno sobre otro con entrada de aire y sol, un filtro físico de piedrín al fondo de cada tonel, una válvula de salida de efluentes en el tonel inferior y una biomezcla conformada por: 25% broza de hojas, 20% tierra negra, 5% hummus, 50% de bagazo de caña, olotes y rastrojo de maíz.
2. Se establece que ocurre un aumento progresivo del porcentaje de retención y porcentaje de remoción, al recircular los efluentes obtenidos. De esta manera el primer afluente tuvo un 18% de remoción y 65% de retención, los resultados para el segundo afluente fueron de 66% de remoción y un 83% de retención, del tercer afluente de 98% de retención, y finalmente luego de un tercer proceso de recirculación no se observó generación de afluentes.
3. El análisis de DQO realizado a una muestra de la mezcla original ingresada al sistema, al primer efluente generado y a un segundo efluente luego de un proceso de recirculación; dieron como resultado un DQO de 114, 264 y 236 mg O₂/L respectivamente. Demostrando la remanencia de componentes orgánicos degradables químicamente en ambos efluentes.
4. El biofiltro diseñado y elaborado para este proyecto, presentó mayor eficiencia en retención y evaporación de líquidos que en remoción por degradación de plaguicidas. En base a los bajos costos, fácil acceso a materiales, facilidad en construcción, bajo requerimiento de espacio y comprobada efectividad en retención; es posible afirmar la factibilidad de implementación del diseño de biofiltro compuesto en terrenos de pequeños agricultores como punto para el desecho de agua de lavado de mochilas de aspersión y retención de derrames accidentales durante procesos de llenado y mezclado.

VII. Recomendaciones

Luego de la etapa de experimentación, se identificaron una serie de modificaciones que no fueron aplicadas por la finalización del proyecto; sin embargo son un valioso aporte para aplicar en las futuras construcciones.

- Se evidenció la necesidad de la adición de carbón de coco u otro material que aporte mayor retención a la biomezcla. Luego de añadir la muestra al sistema durante la simulación de lavado de tanques, fue evidente goteo inmediato del tanque superior al inferior. Adicionar un material que proporcione mayor retención aumentaría la eficiencia del sistema incrementando: retención, evaporación y degradación. Se debe tomar en cuenta que esta adición aumenta el costo de la materia prima, el costo de una bolsa de carbón de coco es de aproximadamente Q30.00-40.00, pero puede utilizarse trazas de coco natural si se tiene acceso a ellas sin costo.
- Con el fin de incrementar la evaporación del sistema, se recomienda sembrar grama en el tanque inferior; considerando que ya se añadió una entrada de luz y aire, sería factible la colocación de grama.
- Se identificó la necesidad de un soporte de mayor altura para la parte inferior del sistema, esto debido a que al momento de recolectar muestras y de realizar un proceso manual de recirculación, coleccionar los efluentes por la poca distancia de la válvula con el suelo se convierte en una tarea difícil.

Figura 14. Recomendaciones propuestas para mejorar la eficiencia del biofiltro compuesto diseñado



Fuente: Elaboración propia (2015)

Respecto a la parte analítica del proyecto, las recomendaciones son:

- Realizar un análisis cromatográfico que determine con exactitud la concentración en los efluentes del ingrediente activo evaluado en el sistema con el fin de obtener un porcentaje más exacto de efectividad en remoción.
- Realizar estudios de efectividad en remoción a otras biomezclas variando la fuente de lignina utilizada.
- Múltiples estudios realizados en el exterior demuestran que un biofiltro convencional es efectivo ante una amplia variedad de pesticidas individuales y mezclas, sin embargo se recomienda realizar estudios de efectividad para este sistema.

- Utilizar bambú como fuente de lignina alternativa, para evitar interferencias por solubilidad de glucosa presente en el bagazo de caña en los análisis de DQO.

VIII. Referencias

1. AGREQUIMA. Triple Lavado ¿Qué hacer con los envases vacíos?. (2015). Consultado en internet el 15 de Octubre de 2015, 18:30 horas en http://www.agrequima.com.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=114&Itemid=271
2. Aust, S. (1990). Degradation of Environmental Pollutants by Phanerochaete chrysosporium. Microbial Ecology: Editorial Springer –Verlag. New York.
3. Castillo, M., Torstensson, L. y Stenström, J. (s.f.). Biobeds – A Swedish Contribution to environmental protection from pesticide pollution. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56 (pp. 6206-6219). Suecia.
4. Castillo, M. y Torstensson, L. (1997). Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment. Pesticide Outlook 8. (pp. 24-27). Suecia.
5. Castillo, M., Torstensson, L. y Stenström, J. (2008). Biobeds for Environmental Protection from Pesticide Use – A Review. Journal of agricultural and food Chemistry. (pp. 6206-6219). Vol. 56. Ed. 15.
6. Comm Tech Lab, Michigan State University. Wood Degradation. (1999). Consultado en internet el 2 de Julio de 2015, 18:00 horas en: http://commtechlab.msu.edu/sites/dlc-me/zoo/microbes/p_chryso.html
7. CropLife Latin América. El Ciclo de vida de los Productos para Protección del Cultivo. (2015). Consultado en internet el 19 de Agosto de 2015, 18:00 horas en: <http://www.croplifela.org/cursosnew/index.php/cursos-estudiantes>
8. CropLife Latin America. (2015). Curso BIODER. [En Red]. Disponible en: <http://www.croplifela.org/cursosnew/index.php/cursos-estudiantes>
9. Diez, M. et al. (2013). Manual de construcción y operación de Lechos biológicos: Proyecto D09R1006. Chile: Ediciones Universidad de La Frontera.

10. Diez, M. (2012). Lechos biológicos: tratamiento de plaguicidas utilizando residuos lignocelulosicos en la biomezcla.(11 Ed.) Brasil. Informativo XI: Sociedad Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial.
11. Fogg, P., et al. (2003). Pesticide degradation in a 'biobed' composting substrate. Reino Unido: Pest Management Science.
12. Instituto nacional de ecología y cambio climático de México. (s.f.) Consultado en internet el 25 de Julio de 2015, 19:00 horas en el portal de INECC en: <http://www.inecc.gob.mx/> y luego en: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/clorotalonil.pdf>
13. Martínez, A., et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. (2005). Consultado en internet el 15 de Julio de 2015, 19:00 horas en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-67092005000300007
14. Millis, C. et al. (1989). Oxidation-reduction potentials and ionization states of extracellular peroxidases from the lignin-degrading fungus Phanerochaete chrysosporium. Biochemistry: Including biophysical chemistry & molecular biology. Estados Unidos: ACS Publications.
15. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Acuerdo Gubernativo No. 377-90. Reglamento sobre registro, comercialización, uso y control de plaguicidas agrícolas y sustancias afines. (1990). Consultado en internet el 16 de Junio de 2015, 19:00 horas en: http://portal2.maga.gob.gt/unr_normativas/pdfs/377-90.pdf
16. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. (2006). Consultado en internet el 16 de Junio de 2015, 19:00 horas en: <http://centrarse.org/wp-content/uploads/2012/11/Regla-236-2006-AGUASRESIDUAESYLODOS.pdf>
17. Motta, E. Encargado del departamento de Custodia de Productos de Syngenta®. Guatemala. Entrevista personal sobre el lavado de mochilas de aspersión por pequeños agricultores, realizada el 12 de Agosto de 2015.
18. Pesticide Handling Area and Biobed Manual: Guidance on the design and use of Pesticide Handling Areas, Lined Biobeds and Biofilters. (2015).

19. Scribner, E., et al. Result of Analyses of the Fungicide Chlorothalonil, Its Degradation Products and Other Selected Pesticides at 22 Surface-Water Sites in Five Southern States, 2003-04. (2006). Estados Unidos: U.S. Geological Survey Toxic Substances Hydrology Program.
20. Syngenta®. Ficha técnica: Bravo® 72 SC. Consultado en internet el 3 de Septiembre de 2015, 14:00 horas en: <http://www3.syngenta.com/country/es/sp/productos/Documents/ft/ft-bravo-720.pdf>
21. Terralia: Agroquímicos de México. Clorotalonil. (2015). Consultado en internet el 4 de Septiembre de 2015, 15:00 horas en: http://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/index.php?proceso=registro&numero=5071
22. Torres, C., y Jiménez, J. Procedimiento para la Prueba de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). (2006) Consultado en internet el 29 de Octubre de 2015, 16:30 horas en sitio web de Universidad Tecnológica de Panamá, centro de investigaciones hidráulica e hidrotécnicas en: <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-201-2006.pdf>
23. Wilde, T., et al. (2007). Review: Overview of on-farm bioremediation systems to reduce the occurrence of point source contamination. Bélgica. Pest Manag Sci.(pp. 111-128)

IX. Anexos

9.1. Etiqueta del producto comercial: Bravo 72 SC

¡ALTO! LEA EL PANFLETO ANTES DE USAR EL PRODUCTO.

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS DE USO:

NO ALMACENAR ESTE PRODUCTO EN CASAS DE HABITACIÓN, MANTENGASE BAJO LLAVE FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS.



UTILICE EL SIGUIENTE EQUIPO DE PROTECCIÓN AL MANIPULAR EL PRODUCTO, DURANTE LA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA, CARGA Y APLICACIÓN: BOTAS, MASCARILLA, ANTEOJOS, GUANTES, DOSIFICADOR Y APLICADOR.



NO COMER, FUMAR O BEBER DURANTE EL MANEJO Y APLICACIÓN DE ESTE PRODUCTO, BANESE DESPUÉS DE TRABAJAR Y PONGASE ROPA LIMPIA.



EN CASO DE INTOXICACIÓN LLEVE EL PACIENTE AL MÉDICO Y DELE ESTA ETIQUETA O EL PANFLETO

SÍNTOMAS DE INTOXICACIÓN:

Bravo® 72 SC puede causar irritación de los ojos y en la piel si cae diluido o puro. Puede causar reacciones alérgicas temporales, caracterizadas por el enrojecimiento de los ojos, irritación bronquial moderada y enrojecimiento de la piel expuesta. Si es ingerido en grandes cantidades, produce irritación del tracto gastrointestinal. No se conocen síntomas de intoxicación sistémica.

PRIMEROS AUXILIOS:

POR INGESTIÓN: No inducir el vómito. Si la persona está consciente, dar a beber cuatro (4) cucharadas de carbón activado en medio (1/2) vaso de agua. Buscar ayuda médica.
POR CONTACTO CON LA PIEL: Quitar la ropa contaminada y lavarse la piel con abundante agua y jabón por 15 minutos.
POR INHALACIÓN: Retire al paciente a un lugar fresco seco y aireado; manténgalo en reposo y vigile la respiración.
POR CONTACTO CON LOS OJOS: Abra los párpados y lave los ojos con un flujo continuo de agua limpia por 15 minutos. Consulte al médico.

NUNCA DÉ A BEBER NI INDUZCA EL VÓMITO A PERSONAS EN ESTADO DE INCONSCIENCIA.

TRATAMIENTO MÉDICO:

Hacer tratamiento sintomático. Las reacciones alérgicas temporales que produce se pueden tratar con cremas antihistamínicas o esteroides y/o esteroides sintéticos.

syngenta®

BRAVO® 72 SC

FUNGICIDA – CLORONITRILLO
CHLOROTHALONIL

Composición química:

Tetrachloroisophthalonitrile	72.0%
Ingredientes inertes	28.0%
Total	100.0%

Contiene: 720 gramos de ingrediente activo por litro de producto comercial.

Contenido neto: 1 Litro

PRECAUCIÓN

ANTÍDOTO: NO TIENE

FORMULADOR:

Syngenta, S.A.
Carretera a Mamonal, km 6, Cartagena, Colombia

CONSULTE AL PROFESIONAL EN CIENCIAS AGRÍCOLAS ANTES DE COMPRAR Y USAR ESTE PRODUCTO.

PROTEJA EL AMBIENTE CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. CUMPLA CON LAS RECOMENDACIONES DADAS EN EL PANFLETO.

TÓXICO PARA PECES Y CRUSTÁCEOS.
NO CONTAMINE RÍOS, LAGOS Y ESTANQUES CON ESTE PRODUCTO O CON ENVASES O EMPAQUES VACÍOS.



AVISO DE GARANTÍA:

El formulador garantiza el contenido de este envase, siendo apto el producto para los fines recomendados de acuerdo a las instrucciones de uso. El buen uso del producto será responsabilidad exclusiva del comprador.

PAÍS	NÚMERO DE REGISTRO	FECHA DE REGISTRO
------	--------------------	-------------------

GUATEMALA	302-126A	23-07-12
BELICE	0021-5	24-11-10
EL SALVADOR	AG-96-10-391	07-04-10
HONDURAS	82-47-II	23-08-12
PANAMÁ	1304	21-03-10
REPÚBLICA DOMINICANA	1934	28-12-13

NÚMERO DE LOTE:
FECHA DE FORMULACIÓN:
FECHA DE VENCIMIENTO:

9.2. Panfleto del producto comercial: Bravo 72 SC

¡ALTO! LEA EL PANFLETO ANTES DE USAR EL PRODUCTO Y CONSULTE AL PROFESIONAL EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

BRAVO® 72 SC

FUNGICIDA – CLORONITRIL O
CHLOROTHALONIL

PRECAUCIÓN

ANTÍDOTO: NO TIENE

DENSIDAD: 1,36 g/mL a 20°C

ESTE PRODUCTO PUEDE SER MORTAL SI SE INGIERE Y/O SE INHALA. PUEDE CAUSAR DAÑOS A LOS OJOS Y A LA PIEL POR EXPOSICIÓN

"NO ALMACENAR EN CASAS DE HABITACIÓN"
"MANTÉNGASE ALEJADO DE LOS NIÑOS, PERSONAS MENTALMENTE INCAPACES, ANIMALES DOMÉSTICOS, ALIMENTOS Y MEDICAMENTOS"



USO AGRONÓMICO

MODO DE ACCIÓN:

Bravo® 72 SC es un fungicida protectante, que inhibe el proceso de germinación y desarrollo de los hongos.

EQUIPO DE APLICACIÓN:

Aspersora de mochila o equipo terrestre mecánico o avión.

Antes de utilizar el equipo de aspersión, revise cuidadosamente que esté en buen estado de funcionamiento. Antes de aplicar Bravo® 72 SC, calibre con agua el equipo de aspersión para verificar que está aplicando la dosis correcta. Se recomienda usar boquillas de cono hueco. Para dosificar la cantidad correcta de acuerdo al tanque de la aspersora, debe utilizar un tazón medidor.

Después de la aplicación, lave el equipo de aspersión con agua y jabón, deje secarlo y guárdelo. Utilice el equipo de protección personal antes de usar y manipular Bravo® 72 SC.



FORMA DE PREPARACIÓN DE LA MEZCLA:

Póngase el equipo de protección personal antes de usar y manipular Bravo® 72 SC. Como con todos los productos químicos, evite en lo posible el contacto con la solución. No comer, beber o fumar durante el manejo y aplicación de este producto.

De acuerdo con la dosis de Bravo® 72 SC, mézclelo en el tanque con agua limpia hasta la mitad; seguidamente complete el volumen de agua requerido. Agite para obtener una mezcla homogénea antes de comenzar la aspersión. Se recomienda una presión de 20 a 40 libras por pulgada cuadrada y un volumen de 20-50 litros de agua por hectárea (14-35 litros de agua por manzana) para aplicaciones aéreas y 300 a 1000 litros de agua por hectárea para aplicaciones terrestres (210-700 litros de agua por manzana), dependiendo de la edad del cultivo (masa foliar).



RECOMENDACIONES DE USO:

USOS AUTORIZADOS EN EL SALVADOR:

CULTIVO	ENFERMEDAD		
Banano y Plátano	<i>Musa sp</i>	Sigatoka negra	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>
Frijol, ejote	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Roya	<i>Uromyces phaseoli</i>
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Mildiu vellosos	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>		
Ayote	<i>Cucurbita pepo</i>		
Zapallo,			
Zucchini	<i>Cucurbita maxima</i>		
Sandía	<i>Citrullus vulgaris</i>		
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var <i>italica</i>	Mancha de la hoja	<i>Alternaria brassicae</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var <i>botrytis</i>		
Repollo	<i>Brassica oleracea</i> var <i>capitata</i>		
Col de Bruselas	<i>Brassica oleracea</i> var <i>gemmifera</i>		
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Mancha púrpura	<i>Alternaria porri</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Mildiu Stemphylium	<i>Peronospora destructor</i> <i>Stemphylium vesicarium</i>

Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	Tizón temprano Tizón tardío	<i>Alternaria solani</i> <i>Phytophthora infestans</i>
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>		
Chile	<i>Capsicum spp</i>		
Ornamentales			
Rosa	<i>Rosa spp</i>	Mildiu vellosos	<i>Peronospora sparsa</i>

DOSIS RECOMENDADAS:

Banano y plátano: 1,5 L/ha (1,0 L/mz). No combine Bravo® 72 SC con aceite agrícola.

Frijol, ejote: 2,0 L/ha (1,4 L/mz) en 600 litros de agua para una hectárea (2 copas de Bravo® 72 SC por bomba de 16 litros).

Melón, pepino, ayote, zucchini, sandía: 1,0 a 1,5 L/ha (0,7 a 1,0 L/mz) en 400 L/agua por hectárea.

Brócoli, coliflor, repollo, col de Bruselas: 1,0 L/ha (0,7 L/mz)

Cebolla, ajo: 1,0 a 1,75 L/ha (0,7 a 1,2 L/mz) en 500 L/agua por hectárea.

Papa, tomate, chile pimiento: 1,0 – 2,0 L/ha (0,7 – 1,4 L/mz)

Rosas: 1,5 – 2,0 L/ha (1,0 a 1,4 L/mz) en volumen de 1,000 a 1,500 L de agua por hectárea.

USOS AUTORIZADOS EN GUATEMALA, BELICE, HONDURAS, PANAMÁ Y REPÚBLICA DOMINICANA:

CULTIVO	ENFERMEDAD		
Banano y Plátano	<i>Musa sp</i>	Sigatoka negra Sigatoka amarilla	<i>Mycosphaerella fijiensis</i> <i>Mycosphaerella musicola</i>
Café	<i>Coffea arabica</i>	Mal del talluelo Mancha de hierro Ojo de gallo Mal de hilachas Phoma	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Cercospora coffeicola</i> <i>Mycena citricolor</i> <i>Corticium koleroga</i> <i>Phoma costarricensis</i>
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Antracnosis	<i>Colletotrichum lagenarium</i>
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	Mildiu vellosos	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>
Ayote	<i>Cucurbita pepo</i>	Tizón de la hoja	<i>Alternaria cucumerina</i>
Zapallo,		Mildiu polvoriento	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>
Zucchini	<i>Cucurbita maxima</i>	Tizón Gomoso	<i>Mycosphaerella ditymella</i>
Sandía	<i>Citrullus vulgaris</i>	Podredumbre del fruto	<i>Rhizoctonia solani</i>
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var <i>italica</i>	Mancha de la hoja	<i>Alternaria brassicae</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var <i>botrytis</i>	Mildiu vellosos Mancha angular	<i>Peronospora parasitica</i> <i>Mycosphaerella brassicicola</i>
Repollo	<i>Brassica oleracea</i> var <i>capitata</i>		
Col de Bruselas	<i>Brassica oleracea</i> var <i>gemmifera</i>		
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Mancha púrpura	<i>Alternaria porri</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Moho gris	<i>Botrytis spp</i>
Apio	<i>Apium graveolens</i>	Tizón temprano Tizón tardío Podrición del tallo Podrición rosada	<i>Cercospora apii</i> <i>Septoria apii</i> <i>Rhizoctonia spp</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Frijol, Habichuela	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Antracnosis Moho gris Roya	<i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Uromyces phaseoli</i>
Maní	<i>Arachis hypogaea</i>	Mancha temprana de la hoja Mancha tardía de la hoja Roya	<i>Cercospora arachidicola</i> <i>Cercosporidium personatum</i> <i>Puccinia arachidis</i>
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	Tizón temprano Tizón tardío	<i>Alternaria solani</i> <i>Phytophthora infestans</i>
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tizón temprano Tizón tardío Antracnosis Moho gris	<i>Alternaria solani</i> <i>Phytophthora infestans</i> <i>Colletotrichum phomoides</i> <i>Botrytis cinerea</i>
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	Tizón temprano Tizón tardío	<i>Cercospora carotae</i> <i>Alternaria dauci</i>
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Tizón de la hoja	<i>Helminthosporium oryzae</i>
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	Mancha negra	<i>Ascochyta spp</i>
Ejote			
Francés	<i>Phaseolus spp</i>	Roya	<i>Uromyces phaseoli</i>

Ornamentales

Rosa	<i>Rosa spp</i>	Mancha negra	<i>Diplocarpon rosae</i>
Crisantemo	<i>Chrysanthemum sp</i>	Mildiu polvoriento	<i>Sphaerotheca pannosa</i>
Geranio	<i>Pelargonium spp</i>	Moho gris	<i>Botrytis cinerea</i>
Zinia	<i>Zinnia elegans</i>	Mildiu polvoriento	<i>Erysiphe cichoracearum</i>

DOSIS RECOMENDADAS:

Banano y plátano: 0,75 a 1,75 L/ha (0,52 a 1,23 L/mz). No combine Bravo® 72 SC con aceite agrícola.

Café, ajo, cebolla, apio: 1,0 a 2,5 L/ha (0,7 a 1,75 L/mz) ó 0,5 a 1,0 L/200 litros de agua.

Melón, pepino, ayote, zapallo, zucchini, sandía, brócoli, coliflor, repollo, col de Bruselas, zanahoria: 1,75 a 2,25 L/ha (1,23 a 1,58 L/mz) ó 0,75 a 1,0 L/200 litros de agua.

Maní, papa: 1,25 a 1,75 L/ha (0,88 a 1,23 L/mz) ó 0,5 a 0,75 L/200 litros de agua.

Tomate, frijol, habichuela: 1,5 a 2,25 L/ha (1,05 a 1,58 L/mz) ó 0,5 a 0,75 L/200 litros de agua.

Arroz, ornamentales: 1,5 a 2,0 L/ha (1,05 a 1,4 L/mz) ó 0,75 a 1,0 L/200 litros de agua.

Arveja y Ejote Francés: 2 litros de Bravo® 72 SC en 600 litros de agua para una hectárea (2 copas de Bravo® 72 SC por bomba de 16 litros).

INTERVALO DE APLICACIÓN:

Banano y plátano: a) Sigatoka negra: 4-15 días dependiendo de las condiciones climáticas y presión del inóculo; b) Sigatoka amarilla: 10-35 días.

Café: En semilleros aplicar al pie de las plantas 3 veces después del trasplante cada 15 días. Para enfermedades foliares, aplicar cada 28 días, empezando al inicio de las lluvias.

Melón, pepino, ayote, zapallo, zucchini, sandía: Aplicaciones al primer síntoma de la enfermedad y continuar cada 7 días por la temporada completa.

Brócoli, coliflor, repollo, col de Bruselas: Iniciar las aplicaciones después del trasplante o una vez germinadas las plantas en siembra directa. Repetir las aplicaciones cada 7-10 días por la temporada completa.

Ajo, cebolla, zanahoria: Inicie las aplicaciones con los primeros síntomas de la enfermedad, aplicar cada 7-10 días.

Maní: Iniciar las aplicaciones cuando se presente el primer síntoma de la enfermedad y continúe cada 14 días.

Tomate, frijol, habichuela: Iniciar las aplicaciones con los primeros síntomas de la enfermedad y aplicar cada 7 días.

Arroz: Hacer la primera aplicación al inicio de la panícula y la segunda 10-14 días después.

Papa: Iniciar las aplicaciones al brotamiento de las plantas y continuar cada 7 días.

Apio: Aplicar cada 7 días después del trasplante.

Ornamentales: Iniciar las aplicaciones cuando las condiciones son favorables para el desarrollo de la enfermedad y continuar cada 7 días.

Arveja y Ejote Francés: Hacer como máximo 4 aplicaciones con intervalos de 7 días desde la germinación, hasta 7 días antes de la cosecha. No hacer aplicaciones de Bravo® 72 SC durante la cosecha. Durante la cosecha, efectuar aspersiones de Amistar® 50 WG alternadas con dos ciclos sucesivos de fungicidas a base de cobre. No hacer más de 5 aplicaciones de Amistar® 50 WG durante todo el ciclo de cultivo.

INTERVALO ENTRE LA ÚLTIMA APLICACIÓN Y LA COSECHA:

Cero días: Banano, plátano, zanahoria, pepino, melón, sandía, ayote, zapallo, papa, tomate, café y arroz.

Siete días: Brócoli, coliflor, repollo, col de Bruselas, ajo, cebolla, apio, arveja y ejote francés.

Catorce días: Frijol, habichuelas y maní.

INTERVALO DE REINGRESO AL ÁREA TRATADA:

Después que la mezcla de producto se haya secado en el follaje del cultivo tratado.

FITOTOXICIDAD:

Síntomas de fitotoxicidad pueden presentarse en hojas de algunas plantas de banano o plátano que hayan acumulado una cantidad razonable de aceite aplicado con fungicidas sistémicos. Sin embargo, ese daño es cosmético y superficial, sin afectar la producción. Para el resto de cultivos no es fitotóxico a las dosis recomendadas en este panfleto. Debido al gran número de variedades e híbridos existentes, se recomienda hacer ensayos en pequeña escala para observar la fitocompatibilidad.

COMPATIBILIDAD:

Bravo® 72 SC es compatible con plaguicidas cuya formulación es polvo mojable (WP); sin embargo con los concentrados emulsionables y fertilizantes puede ser diferente, por lo tanto no es posible predecir el grado de compatibilidad. Ante la imposibilidad de conocer todos los productos del mercado no asumimos ninguna responsabilidad por mezclas hechos con estos. Siempre se recomienda realizar una prueba de compatibilidad a pequeña escala con los productos a utilizar.

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS DE USO

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE:

No es inflamable ni corrosivo. No almacene ni transporte Bravo® 72 SC junto con alimentos de consumo humano, animal, fertilizantes y herbicidas. Almacéne y transportese en su envase original, en un lugar seco y bien

ventilado, lejos del alcance de los niños o personas mentalmente incapacitadas.

NO ALMACENAR ESTE PRODUCTO EN CASAS DE HABITACIÓN. MANTÉNGASE FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS



NO COMER, FUMAR O BEBER DURANTE EL MANEJO Y APLICACIÓN DE ESTE PRODUCTO. BÁÑESE DESPUÉS DE TRABAJAR Y PÓNGASE ROPA LIMPIA



SÍNTOMAS DE INTOXICACIÓN: Bravo® 72 SC puede causar irritación de los ojos y en la piel si cae diluido o puro. Puede causar reacciones alérgicas temporales, caracterizadas por el enrojecimiento de los ojos, irritación bronquial moderada y enrojecimiento de la piel expuesta. Si es ingerido en grandes cantidades, produce irritación del tracto gastrointestinal. No se conocen síntomas de intoxicación sistémica.

PRIMEROS AUXILIOS:

POR INGESTIÓN: No inducir el vómito. Si la persona está consciente, dar a beber cuatro (4) cucharadas de carbón activado en medio (1/2) vaso de agua. Buscar ayuda médica.

POR INHALACIÓN: Retire al paciente a un lugar fresco seco y aireado; manténgalo en reposo y vigile la respiración.

POR CONTACTO CON LOS OJOS: Abra los párpados y lave los ojos con un flujo continuo de agua limpia por 15 minutos. Consulte al médico.

POR CONTACTO CON LA PIEL: Quítese la ropa contaminada y lávese la piel con abundante agua y jabón por 15 minutos.

NUNCA DÉ A BEBER NI INDUZCA EL VÓMITO A PERSONAS EN ESTADO DE INCONSCIENCIA.

ANTÍDOTO Y TRATAMIENTO MÉDICO: Hacer tratamiento sintomático. Las reacciones alérgicas temporales que produce se pueden tratar con cremas antihistamínicas, o esteroides y/o esteroides sintéticos.

CENTROS NACIONALES DE INTOXICACIÓN:

PAÍS	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	TELÉFONO
GUATEMALA	Centro de Información y Asesoría Toxicológica	1-801-00-20832 2251-3500 y 2232-0735
BELICE	Karl Heusner Memorial Hospital Dr. Humisa Hallu	231-548 y 231-539 622-400
EL SALVADOR	Hospital Nacional Rosales	2231-9202
HONDURAS	Hospital Escuela	232-2322 y 232-2415
NICARAGUA	Centro Nacional de Toxicología	2289-4700, ext. 1204, 87550083
COSTA RICA	Centro Nacional para el Control de las Intoxicaciones	2223-1028
PANAMÁ	Centro de Información e Investigación de Medicamentos y Tóxicos	523-4048, 523-4068
REPÚBLICA DOMINICANA	Hospital Dr. Luis Aybar Hospital Dr. Francisco Moscoso Puello	084-3478 y 084-3072 081-2913 y 081-0922

MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE:

TÓXICO PARA PECES Y CRUSTÁCEOS. NO CONTAMINE RÍOS, LAGOS Y ESTANQUES CON ESTE PRODUCTO O CON ENVASES O EMPAQUES VACÍOS.



No contamine fuentes de agua con los desechos o envases vacíos.

MANEJO DE ENVASES, EMPAQUES, DESECHOS Y REMANENTES:

En el caso de derrames o desechos del producto, recojélos con aserrín o con material absorbente, recolectarlos en un recipiente hermético y entregarlo al distribuidor o eliminarlo en un relleno sanitario autorizado por el Ministerio de Salud.

Aproveche el contenido completo del envase, cuando lo vacíe, lave y enjuague tres veces con agua limpia y agregue el resultado del enjuague a la mezcla ya preparada, inutilice los envases vacíos, perforélos. A fin de evitar remanentes, se sugiere preparar la mezcla a utilizar en el día.

Si el país cuenta con un programa oficial de recolección y disposición de envases, entregue éste al centro de recolección más cercano o deséchelo de acuerdo con las instrucciones del distribuidor del producto.



EL USO DE LOS ENVASES O EMPAQUES EN FORMA DIFERENTE PARA LO QUE FUERON DISEÑADOS, PONE EN PELIGRO LA SALUD HUMANA Y EL AMBIENTE.

AVISO DE GARANTÍA:

El formulador garantiza el contenido de este envase, siendo apto el producto para los fines recomendados de acuerdo con las instrucciones de uso. El buen uso será responsabilidad exclusiva del comprador.

FORMULADOR:

Syngenta, S.A.
Carretera a Mamonal, Km 6, Cartagena, Colombia
Tel.: 95-668-5475. Fax: 95-668-5458

IMPORTADO POR:**Guatemala:**

Agro Insumos, S.A.
5ª Avenida 5-55 zona 14, Edificio Europlaza, Torre 3, 8º Nivel
Tel.: 2312-7000. Fax: 2312-7005

Belice:

James Brodie & Cia. Ltda.
16 Regent Street, Ciudad de Belice.
Tel.: 277-070. Fax: 275-593

El Salvador:

Tecunsa, S.A. de C.V.
Km 9.5 Carretera Puerto La Libertad, Antiguo Cuscatlán
La Libertad, El Salvador. Tel. 503 2121-2000

Honduras:**Panamá:**

Syngenta, S.A.
R.U.C. 5306-2-329422 D.V.80, Clave 3987
Business Park, Costa del Este
Ave. La Rotonda, Edificio Torre V, Piso 12 Ciudad de Panamá
República de Panamá. Tel.: 270-8200 / Fax: 270-8288

República Dominicana:

Syngenta Crop Protection, S.A. – Sucursal República Dominicana
Porfirio Herrera No. 29, Torre Empresarial INICA, Local 4W
Ensanche Evaristo Morales, Santo Domingo
Tel.: 1-809 227-0414. Fax 1-809 540-9340

PAÍS	NÚMERO DE REGISTRO	FECHA DE REGISTRO
GUATEMALA	302-126A	23-07-12
BELICE	0021-5	24-11-10
EL SALVADOR	AG-96-10-391	07-04-10
HONDURAS	82-41-II	23-08-12
PANAMÁ	1304	21-03-10
REPÚBLICA DOMINICANA	1934	28-12-13

Aspectos importantes a tomar en cuenta:

- * Al finalizar la construcción de la biodep, el sustrato debe dejarse madurar por 1 mes antes de comenzar a utilizarla.
- * Al finalizar la construcción y durante su uso, se debe mantener la humedad adecuada del sustrato (gramas siempre verde), para garantizar una adecuada actividad microbiana dentro de la biodep.
- * Los materiales de la biodep se hunden aproximadamente 10 cm al año, por lo que se recomienda remover la grama, llenar nuevamente con la mezcla de paja-brozo-suelo (sin sacar la que ya se tiene) y luego volver a sembrar la grama.
- * La biodep, tiene una vida útil entre 5 y 8 años, luego de este tiempo la mezcla paja-brozo-suelo, debe cambiarse. La mejor época para hacerlo es 2 meses antes de que empiece la temporada de aspersión.
- * Cuando el nivel del agua subterránea esté muy cerca a la superficie del suelo, se debe utilizar el modelo de mesa biológica o de cama cerrada (se agrega material impermeable).
- * El material que se saca de la cama biológica debe colocarse encima de un plástico grande. Con el mismo plástico debe cubrirse el material en caso de lluvia. Luego de 8 meses el material podrá utilizarse incorporándolo al suelo.
- * En caso de equipos de aplicación utilizados en grandes extensiones es necesario colocar rampas encima de la biodep, para impedir que el equipo se pose encima de ella.

Ventajas de implementar una biodep:

- Fácil y cómoda de usar.
- Factible y económica.
- Forma parte de las BPA.
- Compromiso con la agricultura sostenible.
- Respeto de nuestro medio ambiente.

Este sistema creado en Suecia como camas biológicas (Torstensson, L and M. d. P. Castillo (1997). "Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spritzes from agricultural spraying equipment." Pesticide Outlook 8: 24-27), fue adaptado por Agrequima a las condiciones climáticas y recursos del país.



3ra. Avenida 12-28 Zona 10, Nivel 8,
Oficina 804, Edificio Paseo Plaza
Business Center, Guatemala, C.A.
Teléfono y Fax: (502) 2375 7401
www.ogrequima.com.gt
info@ogrequima.com.gt

IMPRESO CON
TINTAS BIODEGRADABLES
EN PARTE DE
BOSQUES RENOVABLES

**Un sistema sencillo y accesible
para evitar la contaminación
del suelo y agua.**



¿Qué es una biodep?

Es una estructura efectiva, sencilla y económica para: acumular, retener y degradar microbiológicamente los excedentes de productos para la protección de cultivos (plaguicidas).

¿Cuál es su utilidad?

- Es una solución práctica para:
- El manejo de excedentes de mezcla.
 - Enjuagar y lavar los equipos de aspersión.
 - Evitar la contaminación del suelo y agua.

9.3. Panfleto AGREQUIMA: BIODEP

¿Cómo construir una biodep?

1

Excavar un hoyo de 60 cm de profundidad. En el fondo colocar una capa de 5 cm de arcilla.



2

Debe tener un bordillo de 10 cm de altura para evitar la penetración de agua durante la lluvia.



3

Picar el rastrojo de maíz al tamaño que se muestra (1 pulgada).



4

Hacer la mezcla del sustrato con el rastrojo de maíz, broza y suelo. Mantener las condiciones de humedad.



5

Colocar la mezcla en el hoyo.



6

Cubrir con grama. Debe tener una cubierta protectora para el agua de lluvia.



Ya está lista la como biológica para ser utilizada.

La biodep puede ser de tipo como cuando está a nivel del suelo o tipo mesa cuando se hace dentro de un tonel plástico de 54 galones.

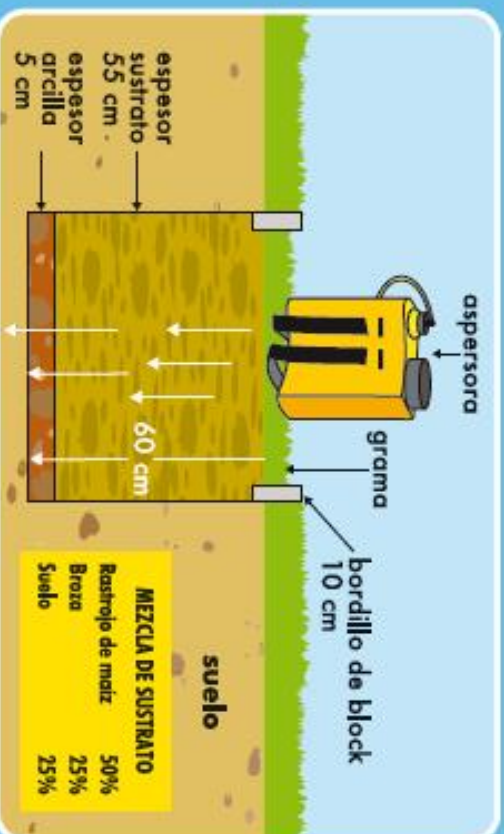
tipo mesa biológica



tipo mesa biológica



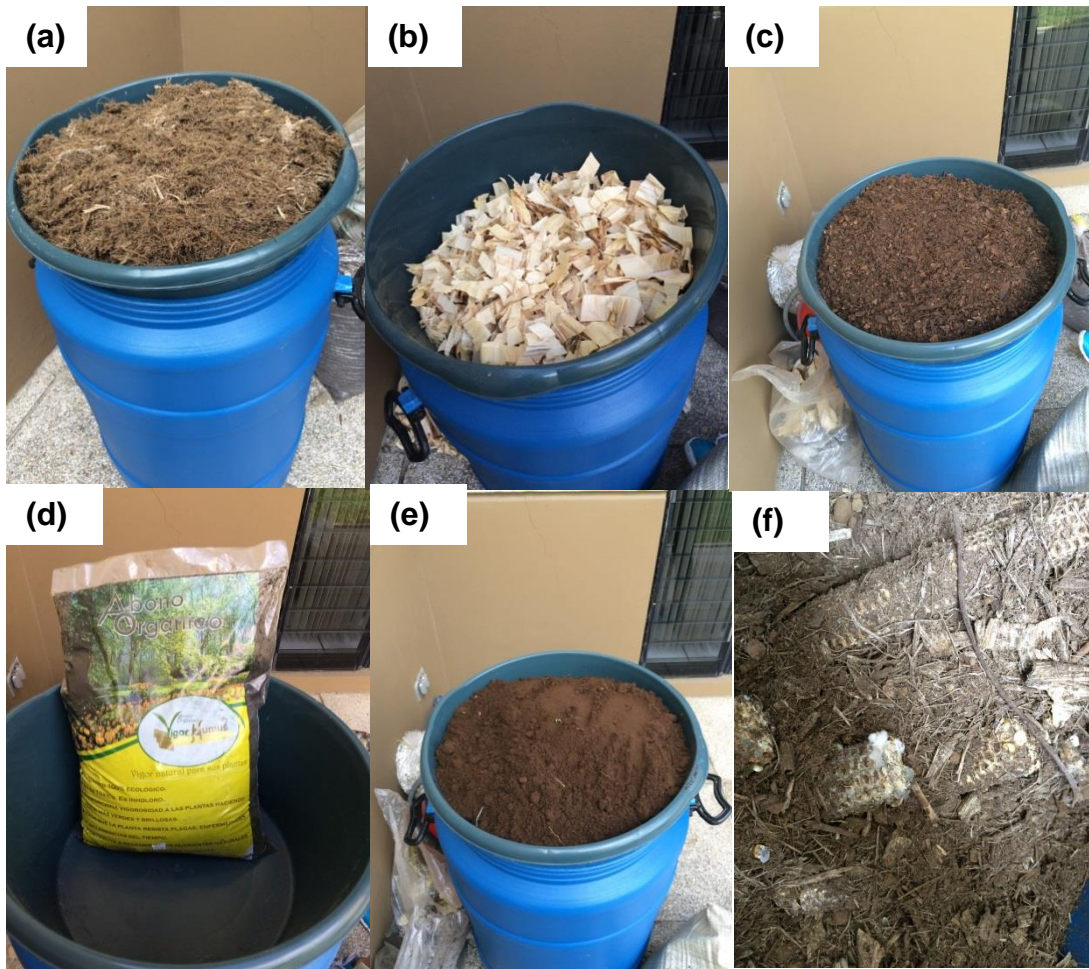
La dimensión deberá ser 1.5 a 2 veces el volumen del efluente vertido en una temporada de aplicación.



9.4. Documentación del procedimiento realizado en etapa experimental

9.4.1. Materia prima biomezcla

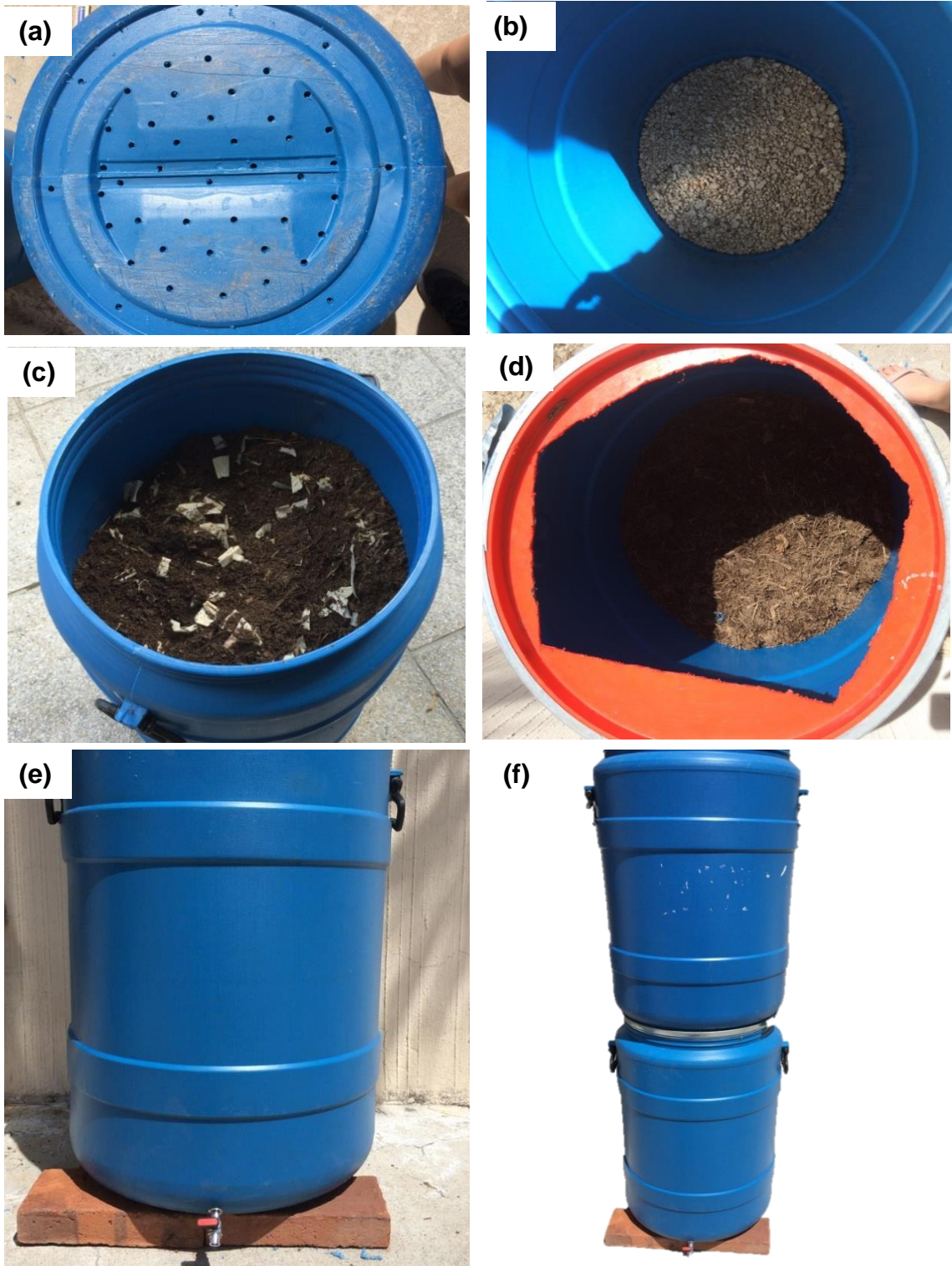
Figura 15. Materia prima utilizada para la biomezcla
(a) Bagazo de caña (b) Rastrojo de maíz (c) Broza (d) Hummus © Tierra negra.
(f) Olotes de maíz



Fuente: Elaboración propia (2015)

9.4.2. Ensamblaje del biofiltro

Figura 16. Ensamblaje del biofiltro realizado en proceso experimental
(a) Perforación de tanque superior (b) Colocación de piedrín para filtro a ambos tanques (c) Adición de biomezcla (d) Soporte en tanque inferior © Posicionamiento de tonel inferior con válvula de drenado (f) Ensamblaje final del tonel superior

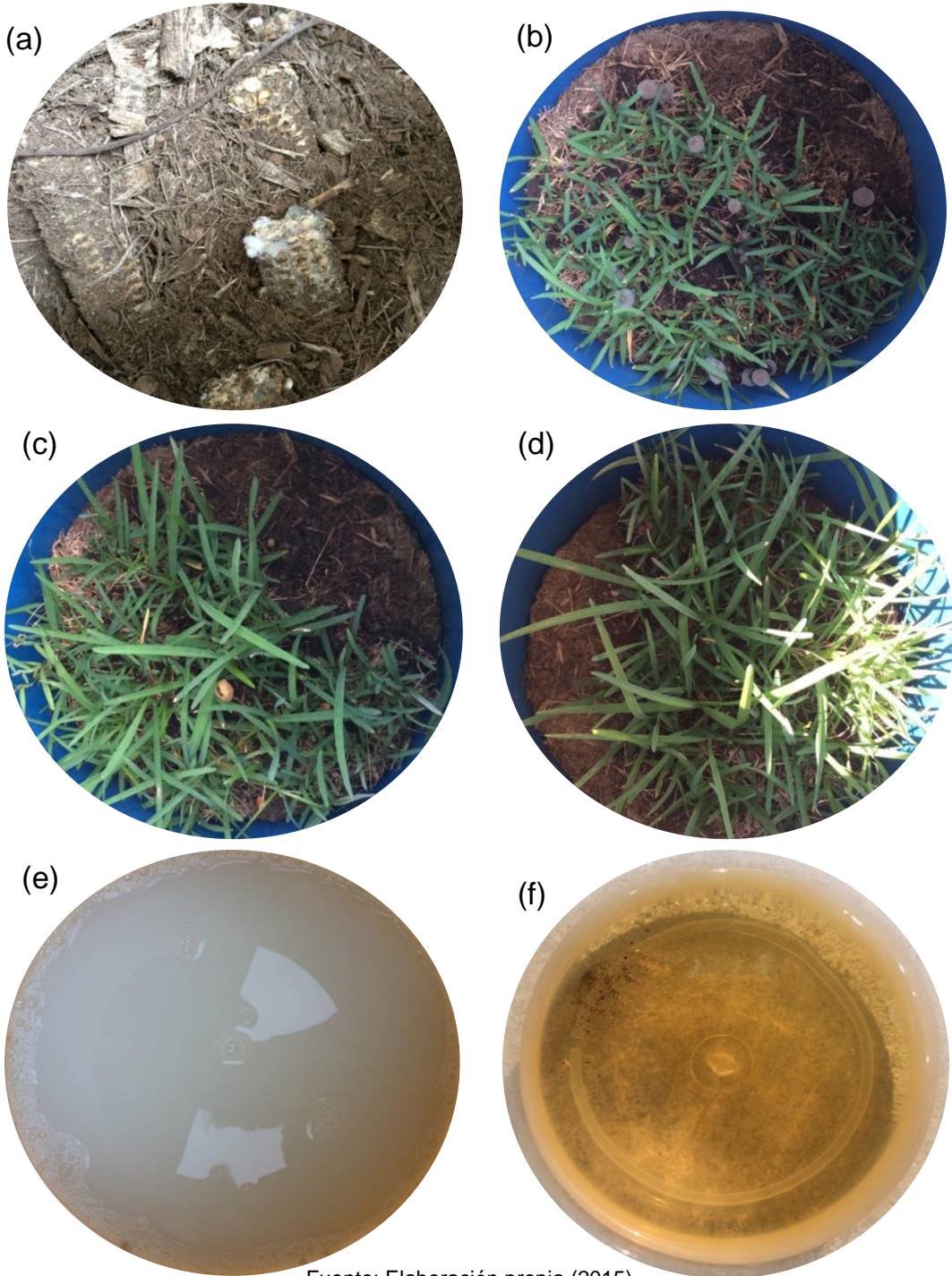


Fuente: Elaboración propia (2015)

9.4.3. Maduración y proceso de simulación de lavado de tanque

Figura 17. Proceso de maduración de biomezcla, establecimiento de filtro biológico y aplicación de producto

(a) Maduración de biomezcla y hongos en olotes de maíz. **(b)** Establecimiento y maduración de biofiltro, hongos en la superficie. **(c)** Superficie del biofiltro previo a la aplicación de Clorotalonil. **(d)** Superficie de biofiltro 10 días luego de la aplicación de Clorotalonil. **(e)** Mezcla de Clorotalonil aplicada a biofiltro. **(f)** Salida de efluentes del biofiltro.



Fuente: Elaboración propia (2015)

9.4.4. Camas biológicas en finca Jardines Mil Flores: Syngenta®

Figura 18. Camas biológicas presentes en finca JMF Syngenta®
(a) Cama biológica área de lavado de equipo de protección (b) Cama biológica en área de lavado de bombas de aspersión (c) Construcción de cama biológica, etapa de impermeabilización (d) Medidor de caudal de cama biológica



Fuente: Elaboración propia (2015)

9.5. MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN Y USO PARA EL PEQUEÑO AGRICULTOR

Fuente: Estas imágenes fueron capturadas durante el proceso de elaboración real de este sistema.



IMÁGENES

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LAVADO DE EQUIPO
AGRONÓMICO UTILIZANDO BIOFILTROS

Extrado del informe de Tesis
en Proyecto de Ingeniería de la
Universidad Rafael Landívar
realizado por:
Ana Cristina López Barillas

BIOFILTRO
COMPUESTO



Manual de construcción y uso
para el pequeño agricultor



Fuente: Elaboración propia (2015)

CONSTRUCCIÓN

1

Elegir la fuente de lignina

- Bagazo de caña
- Rastrojo de maíz
- Trigo
- Residuos de plantaciones de arroz
- Otros

2

Realizar la biommezcla

- Mezclar:
- 25% broza de hojas (se remienda añadir carbón de coco)
 - 25% suelo (si lo sea, añadir hummus)
 - 50% lignina

3

Construir el soporte

1. Perorar el fondo de un primer contenedor plástico
2. Añadir una válvula a la parte inferior del segundo contenedor

4

Ensamblaje

1. Añadir una capa de 10 cm de piedrín
2. Agregar 60 cm de biommezcla compactada a cada contenedor
3. Sembrar grama en la superficie de la biommezcla
4. Posicionar el contenedor con la válvula sobre una base que proporcione altura y encima el contenedor perforado, dejando entrada de aire.

5

Maduración

El sistema debe estar en reposo 30 días, cuidando la humedad y la vida de la grama. El sistema debe posicionarse bajo un techo de protección que evite la saturación de agua.

OPERACIÓN

Llenado de tanques y preparación de mezcla

Se debe realizar la mezcla sobre el biofiltro evitando los derrames de producto concentrado y el rebalse de los tanques.

Lavado de equipos

El equipo se lava interna y externamente, los efluentes se desechan en el biofiltro

MANTENIMIENTO

Añadir biommezcla

Debe añadirse biommezcla fresca una vez al año para compensar la disminución de altura.

Recirculación

El agua tratada por el biofiltro puede recircularse múltiples veces hasta evaporación total

Compostaje

La vida útil de la biommezcla es de 4-5 años, luego se debe apilar sobre un plástico impermeable y debe ser revuelto por 6 a 12 semanas.

9.6. Datos, cálculos, observaciones y resultados de etapa experimental

9.6.1. Datos

Tabla 14. Datos del producto comercial Bravo® 72SC

	Bravo® 72SC
Concentración (g I.A./L producto)	720
Densidad a 20°C (g/ml)	1.36
Peso molecular i.a. Clorotalonil (g/mol)	265.9

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 15. Dosis recomendadas para control fungicida a los diferentes cultivos registrados para aplicación de Bravo®72SC

Cultivo	Dosis min (L/ha)	Dosis max (L/ha)	Dosis (L/200L agua)
Banano y plátano	0.75	1.75	
Café, ajo, cebolla y apio	1	2.5	1
Melón, pepino, ayote, zucchini, sandía, brócoli, coliflor, repollo, col	1.75	2.25	1
Maní	1.25	1.75	0.75
Tomate, frijol habichuela	1.5	2.25	0.75
Arroz, ornamentales	1.5	2	1
Arveja y ejote francés		2	0.67

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 16. Concentración de Bravo®72SC y Clorotalonil en 1L de mezcla de producto listo para aplicación

Cultivo	Dosis (L/L agua)	L solución	Dosis I.A. (g/L agua)	Dosis I.A. (g/L solución)	Dosis I.A. (M)
Para la concentración máxima recomendada para los distintos cultivos a aplicar este producto	0.005	1.00500	3.6	3.58	0.0135

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 17. Datos de preparación de mezclas para simulación de lavado de bomba de aspersión

	Volumen de agua (L)	Volumen Bravo® 72SC (mL)
1° Lavado (L)	4.00 ± 0.01	2.5 ± 0.05
2° Lavado (L)	3.00 ± 0.01	2.0 ± 0.05
3° Lavado (L)	1.00 ± 0.01	0.5 ± 0.05
TOTAL	8.00 ± 0.02	5.0 ± 0.09

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 18. Datos de pH medidos durante proceso experimental haciendo uso de papel pH

Sustancia	pH
Agua utilizada para mezcla	7
Dilución de Bravo® 72SC	8
Efluentes de filtro biológico	7

Fuente: Elaboración propia (2015)

9.6.2. Cálculos

- Masa de Clorotalonil en la mezcla

Ecuación 3. Masa de Clorotalonil en la mezcla

$$Masa\ clorotalonil = Volumen\ Bravo\ 72SC\ (L) \cdot \frac{720\ g\ Clorotalonil}{1\ L\ Bravo\ 72SC}$$

- Moles de Clorotalonil

Ecuación 4. Moles de Clorotalonil en la mezcla

$$Moles\ Clorotalonil = \frac{Masa\ Clorotalonil}{265.9\ \frac{g}{mol}\ Clorotalonil}$$

- Concentración molar de Clorotalonil

Ecuación 5. Concentración M de Clorotalonil en la mezcla

$$M = \frac{moles\ Clorotalonil}{Volumen\ total\ de\ la\ mezcla\ (L)}$$

Tabla 19. Volúmenes y concentración de Clorotalonil en las mezclas para simulación de lavado de bomba de aspersión y el total ingresado al Biofiltro

	Volumen total (L)	Conc. Clorotalonil (g)	Concentración Clorotalonil (mol)	Concentración mezcla (M)
1° Lavado (L)	4.0025 ± 0.01	1.80 ± 0.00005	0.00677 ± 0.00005	0.00169 ± 0.001
2° Lavado (L)	3.0020 ± 0.01	1.44 ± 0.00005	0.00542 ± 0.00005	0.00180 ± 0.001
3° Lavado (L)	1.0005 ± 0.01	0.36 ± 0.00005	0.00135 ± 0.00005	0.00135 ± 0.001
Total ingresado a Biofiltro	8.005 ± 0.017	3.60 ± 0.000087	0.0135 ± 0.000087	0.00485 ± 0.0017

Fuente: Elaboración propia (2015)

9.6.3. Observaciones

Tabla 20. Observaciones durante proceso de experimentación

Sustancia o proceso	Observaciones
Bravo® 72SC	Líquido viscoso color blanco
Diluciones de Bravo® 72SC para simulación de lavado	Líquido blanquecino
Agua	Líquido incoloro
Efluentes de biofiltro	Líquido amarillento algunas partículas de tierra
Maduración de biomezcla	En los olotes de maíz crece moho blanco, la mezcla es heterogénea
Maduración de biofiltro (15 días)	En la superficie de la tierra crecen hongos color gris en forma de setas
Maduración de biofiltro (30 días)	En la superficie de la tierra del tanque superior crecen hongos naranja en forma de setas y se conservan algunos grises, los hongos del tanque inferior mueren.
Simulación de lavado de bomba de aspersión, ingreso de diluciones de Bravo® 72SC a biofiltro	A medida que se ingresa el líquido al biofiltro, se observa goteo del tanque superior al inferior de manera inmediata. Al finalizar el ingreso de líquido se revisa si hay efluentes del sistema y no hay salida de líquido.
Reposo del sistema de biofiltro compuesto luego de simulación de lavado de bomba de aspersión (15 días)	Salida de aproximadamente 3.0L de efluentes del sistema, es un líquido amarillento y no hay presencia evidente de partículas sólidas. Se recaba la muestra #1 de efluentes a analizar.
Reposo del sistema de biofiltro luego de simulación de lavado y 1° recirculación (25 días)	Salida de aproximadamente 1.5L de efluentes del sistema, el líquido es amarillento del mismo color que los primeros efluentes generados por el sistema. Se recaba la muestra #2 de efluentes a analizar.
Reposo del sistema de biofiltro luego de simulación de lavado y 2° recirculación (35 días)	Salida aproximadamente de 150mL de efluentes del sistema, el líquido continúa siendo amarillento al igual que los primeros efluentes generados. Na grama de la superficie se encuentra con vida.
Reposo de sistema de biofiltro luego de 3° recirculación (40 días)	No hay generación de efluentes en el sistema. La grama del tonel superior permanece con vida, no hay hongos visibles en la superficie.

Fuente: Elaboración propia (2015)

9.6.4. Resultados

Figura19. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #1



Fecha de Emisión 03/03/2014 del Documento R-PLAB010-001 Rev.01

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, VISTA HERMOSA III, CAMPUS CENTRAL, EDIFICIO TEC,
PRIMER NIVEL, OFICINA 110, ZONA 16, GUATEMALA, TEL.: 2426-2594

INFORME DE ANÁLISIS No. 1498-15

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1589-15	Empresa	Ana Cristina López
Nombre la muestra:	Agua residual de filtro biológico#1	Dirección	Ciudad de Guatemala
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	DQO
Fecha de Producción:	No presenta	Con atención a:	Ana Cristina López
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción:	11/11/2015
Código de Análisis:	AG-1/205	Fecha de Informe:	20/11/2015

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Se recibe muestra en frascos de vidrio con tapadera a temperatura ambiente.
Fecha de inicio de análisis:	13/11/2015
Fecha de Finalización:	20/11/2015


Resultados de Análisis Físicoquímicos

<i>Parámetros (Dimensional)</i>	<i>Resultados</i>
DQO (mg/L)	114

Abreviaturas: mg/ L: miligramos por un litro
Metodología: DQO <Método DR/2400 Hach, Sens Ion 156

Analista: LA
Vo.Bo.GZ,LA

Supervisado por:


Inga Isis López
Colegiado No.1222
Gerente de Laboratorio

Laboratorios de Control y Calidad
"CONCALIDAD"
Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa
Tres (III), Campus Central, Edificio TEC,
Primer Nivel, Oficina 110, zona 16,
Guatemala, Guatemala
Tel: (502) 2426-2594

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Figura 20. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #2

Fecha de Emisión 03/03/2014 del Documento R-PLAB010-001 Rev.01



UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, VISTA HERMOSA III, CAMPUS CENTRAL, EDIFICIO TEC,
PRIMER NIVEL, OFICINA 110, ZONA 16, GUATEMALA, TEL.: 2426-2594

INFORME DE ANÁLISIS No. 1499-15

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1590-15	Empresa	Ana Cristina López
Nombre la muestra:	Agua residual de filtro biológico#2	Dirección	Ciudad de Guatemala
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	DQO
Fecha de Producción:	No presenta	Con atención a:	Ana Cristina López
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción:	11/11/2015
Código de Análisis:	AG-1/205	Fecha de Informe:	20/11/2015

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Se recibe muestra en frascos de vidrio con tapadera a temperatura ambiente.
Fecha de inicio de análisis:	13/11/2015
Fecha de Finalización:	20/11/2015

Resultados de Análisis Físicoquímicos

Parámetros (Dimensional)	Resultados
DQO (mg/L)	264

Abreviaturas: mg/ L: miligramos por un litro
Metodología: DQO <Método DR/2400 Hach, Sens Ion 156

Analista: LA
Vo.Bo.GZ,LA

Supervisado por:


Inga. Isis López
Colegiada No.1222
Gerente de Laboratorio

Laboratorios de Control y Calidad "CONCALIDAD"
Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa
Tres (III), Campus Central, Edificio TEC,
Primer Nivel, Oficina 110, zona 16,
Guatemala, Guatemala
Tel: (502) 2426-2594

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Figura 21. Resultados de laboratorio CONCALIDAD para Muestra #3



UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, VISTA HERMOSA III, CAMPUS CENTRAL, EDIFICIO TEC,
PRIMER NIVEL, OFICINA 110, ZONA 16, GUATEMALA, TEL.: 2426-2594

INFORME DE ANÁLISIS No. 1500-15

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1591-15	Empresa	Ana Cristina López
Nombre la muestra:	Agua residual de filtro biológico#3	Dirección	Ciudad de Guatemala
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	DQO
Fecha de Producción:	No presenta	Con atención a:	Ana Cristina López
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción:	11/11/2015
Código de Análisis:	AG-1/205	Fecha de Informe:	20/11/2015

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Se recibe muestra en frascos de vidrio con tapadera a temperatura ambiente.
Fecha de inicio de análisis:	13/11/2015
Fecha de Finalización:	20/11/2015

Resultados de Análisis Físicoquímicos

Parámetros (Dimensional)	Resultados
DQO (mg/L)	236

Abreviaturas: mg/ L: miligramos por un litro
Metodología: DQO <Método DR/2400 Hach, Sens Ion 156

Analista: LA
Vo.Bo.GZ,LA

Supervisado por:


Inga. Isis López
Colegiado No.1222
Gerente de Laboratorio

Laboratorios de Control y Calidad
"CONCALIDAD"
Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa
Tres (III), Campus Central, Edificio TEC,
Primer Nivel, Oficina 110, zona 16,
Guatemala, Guatemala
Tel: (502) 2426-2594

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.