

Construya y opere una biocama para el manejo y tratamiento de las aguas contaminadas con agroquímicos



Nelson Rodríguez V.
Laura Vanessa Quintero Y.
Samuel Antonio Castañeda

Construya y opere una biocama para el manejo y tratamiento de las aguas contaminadas con agroquímicos

Nelson Rodríguez Valencia *
Laura Vanessa Quintero Yepes **
Samuel Antonio Castañeda ***

* Investigador Científico III. <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

** Investigador Científico I. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790>

*** Auxiliar de investigación. <https://orcid.org/0000-0002-2337-9514>

Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
Manizales, Caldas, Colombia.



COMITÉ NACIONAL

MINISTRO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

Ricardo Bonilla González

MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

Jhenifer Mojica Flórez

MINISTRO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO

Germán Umaña Mendoza

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN

Jorge Iván González

REPRESENTANTE DEL GOBIERNO EN ASUNTOS CAFETEROS

Jimena Velasco Chaves

REPRESENTANTES GREMIALES

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Daniilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

GERENTE GENERAL

Germán Alberto Bahamón Jaramillo

GERENTE DE OPERACIONES

Carlos Arturo Azuero Perdomo

GERENTE FINANCIERO Y RECURSOS ORGANIZACIONALES

Reynaldo Díaz Medina

GERENTE COMERCIAL

Esteban Ordoñez Simmonds

GERENTE TÉCNICO

Gerardo Montenegro Paz

DIRECTOR INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Álvaro León Gaitán Bustamante

ISSN - 0120-047X

ISSN (EN LÍNEA) - 2711-4732

DOI - 10.38141/10782/049



Créditos

Edición de textos

Sandra Milena Marín L.

Diseño y diagramación

Luz Adriana Álvarez M.

Fotografías

Archivo Cenicafé

2024

ISSN

0120-047 X

ISSN (En línea)

2711-4732

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

El uso de nombres comerciales en esta publicación tiene como propósito facilitar su identificación y en ningún momento su promoción.

Tel. (6) 8500707
A.A.2427 Manizales
Manizales, Caldas, Colombia

www.cenicafe.org

Comité Editorial Cenicafé

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina V.
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo

Sandra Milena Marín L.
M.Sc., Esp., Ing. Agrónoma. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

Citación APA 7ed:

Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L., & Castañeda, S. A. (2024). Construya y opere una biocama para el manejo y tratamiento de las aguas contaminadas con agroquímicos. *Boletín Técnico Cenicafé*, 49, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10781/049>

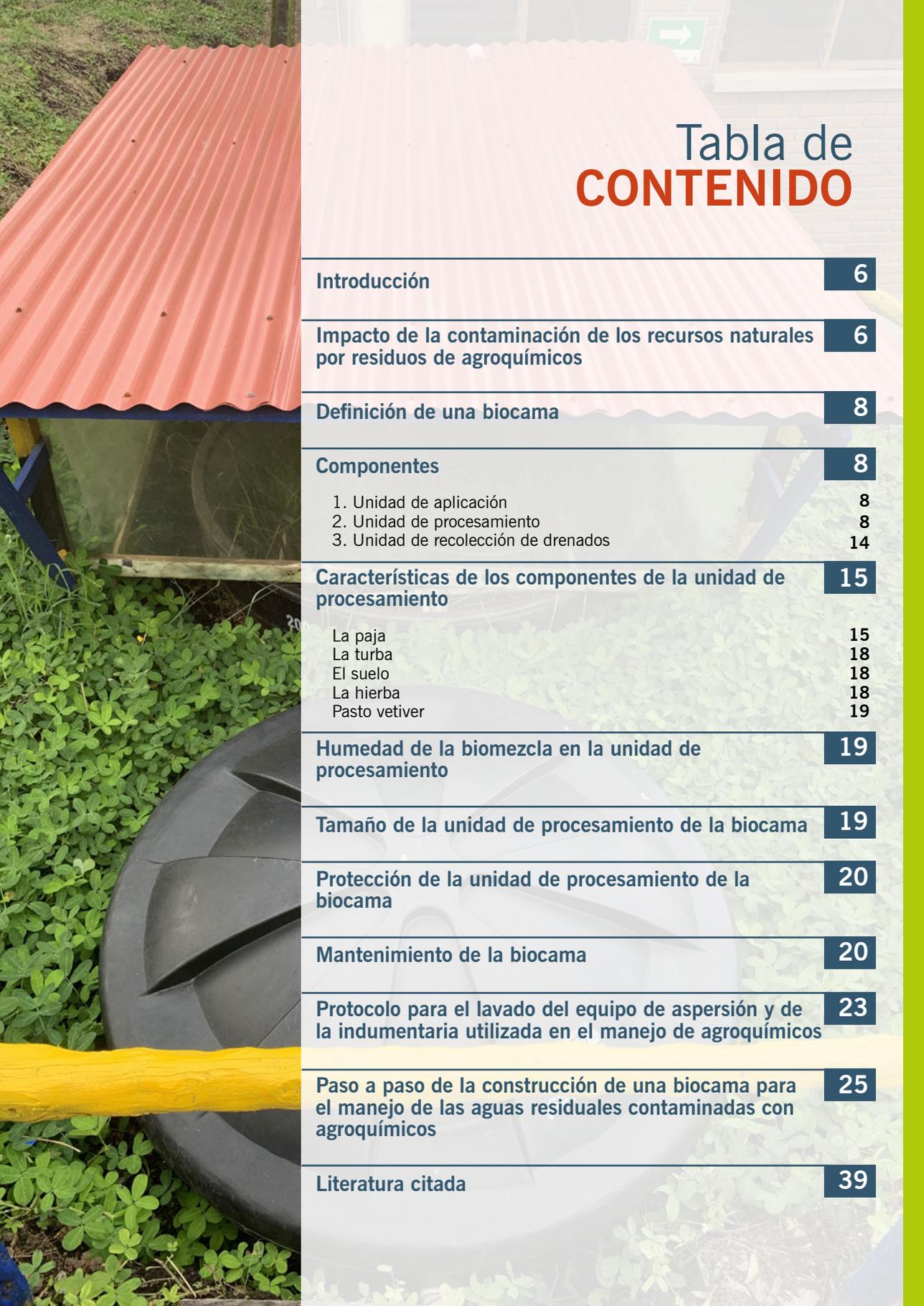


Tabla de **CONTENIDO**

Introducción **6**

Impacto de la contaminación de los recursos naturales por residuos de agroquímicos **6**

Definición de una biocama **8**

Componentes **8**

- 1. Unidad de aplicación **8**
- 2. Unidad de procesamiento **8**
- 3. Unidad de recolección de drenados **14**

Características de los componentes de la unidad de procesamiento **15**

- La paja **15**
- La turba **18**
- El suelo **18**
- La hierba **18**
- Pasto vetiver **19**

Humedad de la biomezcla en la unidad de procesamiento **19**

Tamaño de la unidad de procesamiento de la biocama **19**

Protección de la unidad de procesamiento de la biocama **20**

Mantenimiento de la biocama **20**

Protocolo para el lavado del equipo de aspersión y de la indumentaria utilizada en el manejo de agroquímicos **23**

Paso a paso de la construcción de una biocama para el manejo de las aguas residuales contaminadas con agroquímicos **25**

Literatura citada **39**

Introducción

Las aguas residuales provenientes del lavado de equipos, de la indumentaria y del aseo del personal que han estado en contacto con agroquímicos, requieren de un sistema de tratamiento independiente, pues su disposición en las plantas de tratamiento de las aguas residuales domésticas o de las aguas residuales del café puede ser tóxica para los organismos responsables del proceso de descontaminación, cuando se utilizan sistemas biológicos, como es el caso de los sistemas sépticos (para las aguas residuales domésticas) y de los biodigestores y Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio – SMTA (para las aguas residuales del café).

Las biocamas son sistemas de tratamiento que han mostrado ser eficientes, tanto para el manejo de las aguas residuales contaminadas con agroquímicos, como para el manejo de derrames accidentales o generados durante la preparación de las mezclas a asperjar en los cultivos y para la mezcla remanente, en caso de que sobre y no se pueda almacenar (Figura 1). Consisten en excavaciones impermeabilizadas

o tanques de polietileno empacados con materiales lignocelulósicos que favorecen el crecimiento de microorganismos, principalmente hongos de la pudrición blanca como *Pleurotus* spp y *Phanerochaete* spp, entre otros, que permiten la degradación de los ingredientes activos de los agroquímicos, presentes tanto en el producto derramado como en las mezclas sobrantes y en las aguas residuales provenientes del lavado de equipos, indumentaria y aseo del personal.



Figura 1. Aspecto general de una biocama.

Impacto de la contaminación de los recursos naturales por residuos de agroquímicos

En las fincas cafeteras es común utilizar diferentes agroquímicos para el manejo y control de enfermedades, plagas y arvenses, tanto en el cultivo del café como en los cultivos intercalados o asociados, como maíz, frijol, cítricos, frutales y aguacate, entre otros; así como en el manejo de enfermedades e inductores de crecimiento en la producción animal (gallinas ponedoras, pollos de engorde, porcicultura, etc), productos que si no se gestionan de forma integral pueden generar contaminación del suelo, aire y agua, ocasionar pérdida de la biodiversidad y generar enfermedades en las personas expuestas a los mismos.

Actualmente, es común que las fuentes de agua estén contaminadas con materia orgánica y con contaminantes emergentes, los cuales son sustancias que se encuentran en el agua en muy pequeñas concentraciones, como es el caso de medicamentos, antibióticos, hormonas de crecimiento, productos de cuidado y de higiene personal y trazas de agroquímicos, que llegan al agua por una mala gestión de dichos productos. Para el caso de los agroquímicos utilizados en agricultura, su presencia en las fuentes de agua se debe a la aplicación inapropiada del producto o a los residuos presentes en el agua de lavado de los equipos de aspersión, del envase del producto, de la indumentaria y el aseo personal de los operarios que realizan las labores de aplicación.

Los sistemas de potabilización convencional del agua no logran eliminar muchos de los contaminantes emergentes. La presencia de estos contaminantes en el agua para consumo humano puede ocasionar riesgos en la salud, los cuales se asocian con la alta toxicidad o reactividad bioquímica que pueden generar neurotoxicidad, disrupción

endocrina (alteración de las funciones del sistema endocrino) y carcinogenicidad (Balducci et al., 2012). Las investigaciones han permitido determinar que los disruptores endocrinos, como algunos plaguicidas, biocidas, herbicidas, entre otros, tienen efecto en el aumento de la incidencia de cáncer de mama, testículos y próstata (Ahmed et al., 2017).

De otra parte, la presencia de los contaminantes emergentes en el agua utilizada para el beneficio del café podría generar defectos en la calidad en taza y alterar la composición química del grano.

Recuerde

Antes de manipular un producto químico revise la etiqueta y la hoja de seguridad, donde encontrará información que le ayudará a proteger su salud y mitigar los impactos al medio ambiente.

En estos documentos podrá identificar:

- 1 Los peligros a los que está expuesto.**
- 2 Los elementos de protección personal que debe usar.**
- 3 Información sobre primeros auxilios en caso de intoxicación por ingestión o contacto con la piel.**
- 4 El período de carencia.**
- 5 El período de reingreso al lote.**
- 6 Las incompatibilidades en el almacenamiento del producto.**
- 7 La forma de aplicación.**
- 8 Las medidas para la protección del ambiente.**
- 9 Las medidas para el transporte del producto.**
- 10 Las medidas en caso de un derrame.**

Definición de una biocama

La biocama o cama biológica se define como un sistema constituido por una matriz biológicamente activa (material lignocelulósico + material parcialmente descompuesto + suelo) que colecta, retiene y degrada ingredientes activos de los agroquímicos (Castillo et al., 2008), provenientes ya sea de derrames accidentales o generados en su manejo o contenidos en las aguas residuales generadas en el lavado del equipo de aspersión, aseo de las personas que realizan la aplicación y aseo de la indumentaria en contacto con el producto químico.

Las biocamas han surgido como una solución eficiente, sencilla y de bajo costo para los problemas de contaminación del suelo y del agua generados por la inadecuada gestión en el manejo de agroquímicos.

Componentes

La biocama consta de tres componentes.

1. Unidad de aplicación

Está conformada por un tanque en polietileno de 250 L de capacidad y una altura de 35 cm, al cual llegan las aguas contaminadas con agroquímicos (Figura 2) y las aguas tratadas colectadas en la unidad de drenados. El tanque debe permanecer tapado para evitar el ingreso del agua de lluvia.

Tiene como propósito dosificar el agua contaminada mediante la aplicación de riego por goteo, por lo que consta de una salida inferior en tubería PVC-P de $\frac{1}{2}$ " que llega hasta la unidad de procesamiento y justo antes de su ingreso a esta unidad, está dotada de una válvula de paso de PVC-P de $\frac{1}{2}$ ", que tiene como objetivo regular el caudal de agua residual de ingreso. Después de la válvula se instala el sistema de riego por goteo, el cual se construye en tubería PVC-P de $\frac{1}{2}$ " y se ubica sobre la unidad de procesamiento, buscando distribuir de forma homogénea el agua residual sobre toda el área superficial (Figura 3).

Con el fin de nivelar adecuadamente la tubería de riego se utilizan soportes fabricados en PVC-P de $\frac{1}{2}$ " y 20 cm de longitud, los cuales se entierran 10 cm en la grama (Figura 4). Para la aplicación del agua residual se realizan perforaciones de $\frac{3}{32}$ " en la tubería de descarga, separados cada 5 cm, dos líneas en la parte inferior del tubo, separados en ángulo de 45° (Figura 5).

2. Unidad de procesamiento

Está conformada por una excavación impermeabilizada o por un tanque en polietileno con la capacidad suficiente para procesar las aguas residuales generadas en el año. Tiene como propósito degradar los ingredientes activos de los agroquímicos, por lo que se empaca con una biomezcla. En la Figura 6 se presentan los componentes básicos de la unidad de procesamiento de una cama biológica.



Figura 2. Tanque de la unidad de aplicación de la biocámara.

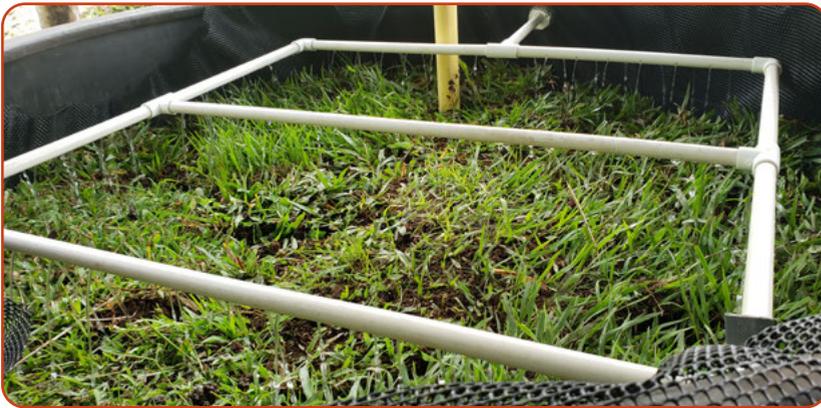


Figura 3. Sistema de riego, por goteo, de la unidad de aplicación de la biocámara.



Figura 4. Soportes de la tubería de riego.



Figura 5. Perforaciones de 3/32" en la tubería de riego.

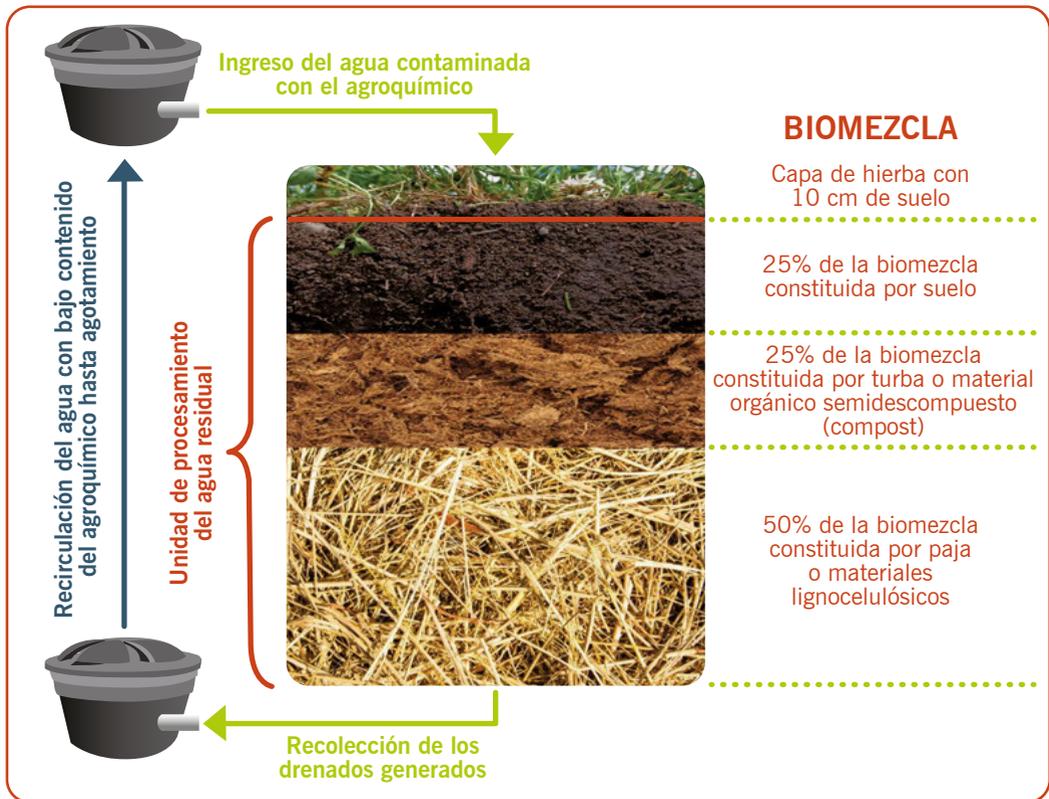


Figura 6. Componentes básicos de la unidad de procesamiento de una cama biológica.

La unidad de procesamiento debe construirse a partir de una excavación realizada en el suelo (Figura 7), impermeabilizada con geomembrana de 20 mils, o de un tanque cilíndrico en polietileno (Figura 8).

La unidad de procesamiento debe tener un dispositivo de aireación y salida para el agua tratada (Figura 9), construida con tubería PVC-S de 1½", perforaciones de

5/16" en toda su superficie (Figura 10) y en el extremo opuesto al de la salida, un codo de PVC-S de 1½" y una tubería PVC-S de 1½" que sobresalga hasta 50 cm por encima de la superficie del área de procesamiento, con el fin de permitir la aireación de la biomasa y facilitar la degradación de los ingredientes activos de los agroquímicos. Esta tubería debe tener perforaciones de 5/16" en toda su área

superficial y debe cubrirse con polisombra antes del llenado de la unidad de procesamiento, para evitar el ingreso de partículas de suelo o de la biomasa (Figura 11). Para la unidad de procesamiento también pueden utilizarse tanques comerciales rectangulares en polietileno (Figura 12) o reutilizar tanques disponibles (Figura 13), que cumplan con las dimensiones de área, altura y volumen requeridos.



Figura 7. Excavación para implementar la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 8. Tanques cilíndricos comerciales en polietileno.



Figura 9. Dispositivo de aireación y drenaje del agua tratada en la unidad de procesamiento.

Figura 10. Tubería de salida de drenados.



Figura 11. Cobertura de la tubería de salida de drenados y de aireación.

Figura 12. Tanques rectangulares comerciales en polietileno.





Figura 13.
Tanques
reutilizables en
polietileno.

A la excavación impermeabilizada o al tanque de polietileno utilizados para la construcción de la unidad de procesamiento de la biocama, debe adicionarse una biomezcla, constituida por materiales orgánicos, la cual permite la retención y degradación de los agroquímicos, con base en una alta capacidad de absorción y una alta actividad microbiana; ambas propiedades se ven afectadas por la composición, homogeneidad, edad, humedad y temperatura de la biomezcla.

Las primeras unidades de procesamiento de las biocamas se desarrollaron en Suecia y utilizaron una biomezcla constituida por paja (ocupando el 50% del volumen de la unidad),

turba (ocupando el 25% del volumen de la unidad) y suelo (ocupando el 25% del volumen de la unidad) (Figura 6). Cada componente de la biomezcla juega un papel importante en la eficiencia de retención y degradación de los agroquímicos. Contenidos de humedad del 60% en la biomezcla y temperaturas de 20°C permiten las mayores tasas de retención y degradación de los compuestos (Castillo et al., 2008).

Con el fin de mantener la humedad en la biomezcla, cuando no se están adicionando aguas residuales, se recomienda mantener humedad al 15% de la capacidad de la unidad de procesamiento, con el fin de que el agua humecte, a través de los procesos de

capilaridad, la biomezcla. Para este fin, en el extremo de descarga de la tubería de aireación y drenaje, en el interior de la unidad, se ubica un adaptador hembra PVC-P de 1½" seguido de una arandela en neolite con perforación interna de 1½" (colocando la parte lisa en contacto con la pared del tanque o de la geomembrana). Por la parte de afuera de la excavación o del tanque en polietileno se coloca una arandela en neolite (de las mismas características de la anterior), seguida de un adaptador macho PVC-P de 1½" al cual se le adapta el dispositivo presentado en la Figura 14, compuesto por tres tees, un codo PVC-S de 1½" y una llave de paso de 1½", para permitir el mantenimiento de la unidad. Al extremo final

del dispositivo se coloca el tramo de tubo necesario para conectar el tanque de drenados. La altura del dispositivo es equivalente al 15% de la altura de la unidad de procesamiento.

3. Unidad de recolección de drenados

A esta unidad llegan las aguas tratadas en la unidad de procesamiento (Figura 15) y tiene como propósito evitar la descarga de las aguas al suelo o a cuerpos de agua superficiales. Está conformada por un tanque en polietileno

de 250 L de capacidad y una altura de 35 cm. El agua contenida en esta unidad debe llevarse a la unidad de aplicación para ser dosificada de nuevo a la unidad de procesamiento, hasta agotamiento. El tanque debe permanecer tapado para evitar el ingreso del agua de lluvia.

Figura 14. Dispositivo de salida de la unidad de procesamiento.



Figura 15. Unidad de recolección de drenados. Se muestra un tanque de plástico gris con un tapón de rosca en el centro de la parte superior. El tanque está colocado sobre el suelo y tiene un tubo de PVC conectado a la parte superior y otro a la parte inferior.



Características de los componentes de la unidad de procesamiento

A continuación, se describen las características de los componentes de la biomezcla (paja, turba, suelo) y de la grama y el pasto vetiver que forman parte de la unidad de procesamiento.

La paja

Es el principal sustrato para la degradación de los agroquímicos dado que estimula la actividad microbiana, especialmente de hongos que degradan la lignina, como los hongos de la pudrición blanca (Figura 16), entre los que se encuentran las especies de *Pleurotus* spp, que se han utilizado para el aprovechamiento de los subproductos del café, en la producción de proteína para consumo humano (Rodríguez & Gómez, 2001; Rodríguez & Jaramillo, 2005; Rodríguez, 2023), cuyo sustrato residual tiene varias alternativas de aprovechamiento, entre ellas, la degradación de ingredientes activos de los agroquímicos. Estos hongos producen enzimas como las peroxidasas y

lacasas, que tienen una amplia especificidad para la degradación de plaguicidas. Por lo tanto, se recomienda una cantidad de paja en la biomezcla del 50%, valores mayores alteran la homogeneidad de la biomezcla, aspecto importante en el proceso de degradación de los agroquímicos (Castillo et al., 2008).

La paja es el tallo seco de las gramíneas, especialmente los cereales. En las fincas que tengan maíz intercalado con café, puede utilizarse el rastrojo del mismo o en su defecto, el pasto vetiver, *Vetiveria zizanioides* (Figura 17), gramínea que se utiliza para el postratamiento de las aguas residuales generadas en las fincas cafeteras

(Rodríguez et al., 2022), en filtros verdes para el manejo y tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café (Rodríguez et al., 2022), y para la prevención y control de la erosión del suelo, como barrera viva o en la protección de taludes (Salazar & Hincapié, 2013).

En caso de no disponer de estos materiales en la finca puede utilizarse pasto elefante morado, *Pennisetum purpureum* (Figura 18), que también se emplea en humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales biodegradables (Rodríguez et al., 2022), así como el material proveniente de las desyerbas que se realizan en la finca en el manejo del cultivo de café (Figura 19) o una mezcla



Figura 16. Establecimiento de los hongos de la pudrición blanca en la paja.

de cascarilla de café con aserrín de tallos de café (Figura 20) o el bagazo de caña. Todos estos materiales tienen como principal característica los altos contenidos de lignocelulosa (celulosa y lignina), cuya presencia en la biomezcla permite el establecimiento

de una población microbiana y, de esta manera, la completa degradación de muchos de los agroquímicos, sobre todo aquellos con anillos aromáticos; en comparación con biomezclas compuestas de otros tipos de materiales orgánicos (Castillo et al., 2008). El tamaño de la partícula de la paja utilizada no debe exceder los 5,0 cm.

En la Tabla 1 se presentan los contenidos de celulosa y lignina de la paja de trigo y de otros materiales que la pueden reemplazar para la conformación de la biomezcla.



Figura 17. Pasto vetiver sembrado y pasto vetiver cosechado.



Figura 18. Pasto elefante morado sembrado y pasto elefante morado cosechado.



Figura 19. Material proveniente de las desyerbas.



Figura 20. Mezcla tallos molidos y cisco de café.

Tabla 1. Contenido de lignina y celulosa en algunos materiales fibrosos.

Tipo de material	Contenido de lignina (%)	Contenido de celulosa (%)	Referencia
Paja de trigo	16,20	36,50	Prinsen (2010)
Rastrojo de maíz	18,59	37,69	Carroll & Somerville (2009)
Bagazo de caña	23,09	39,01	Carroll & Somerville (2009)
Pasto elefante morado	19,30	41,80	Prinsen (2010)
Tallos de café	22,90	34,80	Pinilla (2019)
Cascarilla de café	15,93	36,70	Arias & Meneses (2016)
Pasto vetiver	13,51	44,06	Rangel (2012)

La turba

Es un nombre genérico que se aplica al material orgánico obtenido por la descomposición incompleta de los residuos vegetales. La turba es un material orgánico de color pardo, conformado por una masa esponjosa en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la conformaron. Se utiliza en la biocama porque provee una alta capacidad de retención de los agroquímicos, a la vez que mantiene la humedad del sistema (Castillo et al., 2008). La turba puede adquirirse en el comercio.

En caso de no disponer de este material puede utilizarse el compost fresco proveniente de la descomposición de las plantas acuáticas cosechadas en los humedales artificiales utilizados para el tratamiento de aguas residuales (Figura 21) o el compost fresco de la pulpa de café descompuesta en los procesadores de pulpa (Figura 22).

El suelo

La capa de suelo proporciona capacidad de retención de los agroquímicos, debe ser rico en humus y con algún contenido de arcilla para promover la actividad microbiana. El suelo



Figura 21. Compost fresco de plantas acuáticas.



Figura 22. Compost fresco de pulpa de café.

también es una fuente importante de microorganismos que degradan los ingredientes activos de los agroquímicos, especialmente las bacterias (Castillo et al., 2008).

La hierba

La capa de hierba se ubica en la superficie de la unidad de procesamiento de la biocama. Esta retiene las aguas residuales contaminadas con agroquímicos, la mayor parte de estos son degradados en el lapso de un año;

también ayuda a regular la humedad de la biomezcla al generar un transporte ascendente de agua, y además, puede producir exudados de raíces que contienen peroxidasas para apoyar los procesos de degradación (Castillo et al, 2008).

Pasto vetiver

Su utilización es opcional en la unidad de procesamiento; cumple un papel similar al de la hierba, con la ventaja adicional de presentar un alto régimen de transpiración, que juega un papel clave en la fitorremediación de aguas residuales (Truong & Danh, 2015).

Humedad de la biomezcla en la unidad de procesamiento

El balance de agua en la unidad de procesamiento de una cama biológica tiene un efecto importante en la retención y degradación de los agroquímicos. Es importante que la unidad de procesamiento no presente condiciones de saturación de agua dado que los procesos de degradación de la mayor parte de los agroquímicos en la cama biológica son aeróbicos (Castillo et al., 2008). Por otro lado, aparte de generar velocidades de degradación lentas, las condiciones cercanas a la saturación no son recomendables porque aumentan el riesgo de transporte de los agroquímicos fuera de la biocama.

Tamaño de la unidad de procesamiento de la biocama

El tamaño de la unidad de procesamiento de la biocama depende de la cantidad de agua contaminada con agroquímicos que llegue a la misma y este volumen de agua residual depende a su vez de la frecuencia

de la aplicación de los agroquímicos, del tamaño de los equipos de aspersión y del número de personas involucradas en las labores de manipulación y aplicación de los agroquímicos.

El volumen de la excavación impermeabilizada o del tanque en polietileno debe ser el doble del volumen de agua contaminada por agroquímicos que se genere en el año en la finca, dado que la porosidad promedio de la biomezcla tiene valores mayores al 50%. Se recomienda que la profundidad de la biocama sea de 60 cm; para profundidades mayores se recomienda la incorporación de dos tubos aireadores, similares al presentado en la Figura 11, por cada metro cuadrado de área, que lleguen hasta el fondo de la excavación o del tanque, y que sobresalgan 50 cm de la superficie, para facilitar el ingreso de aire en la biomezcla y de esta manera mantener las condiciones aeróbicas para el asentamiento de los hongos de la pudrición blanca (Figura 23).

Volumen unidad de procesamiento de la biocama = dos veces el volumen anual de agua residual generada contaminada con agroquímicos.

Protección de la unidad de procesamiento de la biocama

Para las biocamas cuya unidad de procesamiento se construya realizando una excavación impermeabilizada con geomembrana o un tanque en polietileno, se recomienda la implementación de un techo para evitar el ingreso del agua de lluvia, el



Figura 23. Aireadores adicionales en la unidad de procesamiento de la biocama.

cual puede ser construido en material plástico (Figura 24), geomembrana (Figura 25), teja de zinc o teja en fibrocemento. Para biocamas construidas con tanques de polietileno, como alternativa puede adaptarse la tapa a manera de “paraguas” para evitar el ingreso del agua de lluvia (Figura 26).

Mantenimiento de la biocama

Las biocamas están diseñadas para ser sistemas de manejo y tratamiento de residuos de agroquímicos, de bajo costo y poco mantenimiento. Con el fin de realizar el mantenimiento apropiado, se recomienda tener un libro de registro en el cual se incluyan detalles de su construcción, así como registros de mantenimiento de rutina, por ejemplo, fecha en que se empacó la unidad de procesamiento con la biomezcla, fechas en las que se limpiaron las unidades de aplicación y recolección de drenados, fechas en las que se reemplazó la biomezcla, entre otros (Fogg, 2007).

El área de manipulación de agroquímicos requiere del mantenimiento frecuente y oportuno de los drenajes, los cuales deben permanecer libres de sedimentos, para lo cual debe incorporarse una trampa de sedimentos, que debe limpiarse cuando sea necesario con el fin de garantizar el flujo de agua residual hacia la biocama.

En la unidad de procesamiento, la altura de la biomezcla disminuye con la degradación de sus componentes, aproximadamente 10 cm al año. Para mantener el buen funcionamiento del sistema de tratamiento debe conservarse la altura de la biomezcla, por lo que anualmente se recomienda remover la capa de hierba-suelo, llenar nuevamente la unidad de procesamiento con biomezcla nueva (sin retirar la que ya se tiene) y volver a colocar la capa de hierba-suelo (Castillo et al., 2008). Debido a la degradación de la paja, en el centro de la unidad de procesamiento, el contenido de carbono disminuye con el tiempo, a niveles similares a los encontrados en muchos suelos agrícolas. Cuando eso ocurre, la biomezcla debe ser totalmente removida y reemplazada por una mezcla nueva. Esta remoción se recomienda cada 6 a 8 años (Castillo et al., 2008).



Figura 24. Techo en plástico para la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 25. Techo en geomembrana para la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 26. Techo utilizando la misma tapa para la unidad de procesamiento de la biocama construida con tanques de polietileno.

Recomendaciones en la aplicación de agroquímicos, para proteger su salud y mitigar el impacto al ambiente

- Aliste y utilice los elementos de protección.
- Aliste los agroquímicos y equipos necesarios.
- Lea atentamente las indicaciones de la etiqueta y la hoja de seguridad del producto.
- Utilice las dosis de agroquímicos recomendadas por el fabricante.
- Conserve los agroquímicos en su envase original y con su etiqueta en buen estado.
- Antes de hidratarse, lávese las manos, cara y cuello, en el lugar apropiado que permita conducir el agua residual hacia la biocama.
- Si tiene contacto accidental con un agroquímico lávese con abundante agua, dejando correr el agua sobre la parte del cuerpo que estuvo en contacto con el producto.
- Al finalizar la aplicación, lave los equipos de aspersión, elementos de protección e indumentaria, en el lugar apropiado, que permita conducir el agua residual hacia la biocama.
- Respete los períodos de carencia y reingreso al lote, establecidos en la etiqueta del producto.
- Deposite los agroquímicos en un lugar ventilado alejado de los alimentos, el beneficio y el almacenamiento de café pergamino seco.

En caso de que la unidad de procesamiento de la biocama sea del tipo de una excavación impermeabilizada, el retiro de la biomezcla debe realizarse teniendo cuidado de no deteriorar el material que la impermeabiliza. Una vez vacía, la excavación debe examinarse cuidadosamente y repararse cualquier defecto que sea encontrado.

La época apropiada para el cambio de la biomezcla es dos meses antes de que se inicien labores de aspersión en la finca.

La biomezcla removida puede contener niveles bajos de agroquímicos debido a productos recientemente aplicados o a los que son degradados lentamente. Por lo tanto, se recomienda que el material removido se someta a un proceso de post-compostaje por un período de un año, realizando volteos mensuales, en un sitio cubierto e impermeabilizado y en el cual puedan recogerse

los drenados para ser reincorporados en la biomezcla, facilitando su proceso de degradación. Luego de ese proceso los niveles de agroquímicos, en la biomezcla, bajan por debajo del límite de detección (Castillo et al., 2008). El compost resultante, después del año de transformación, puede ser adicionado al suelo en un sitio que se encuentre a más de 10 m de un curso de agua y a más de 50 m de un manantial o pozo subterráneo (Fogg, 2007).

Protocolo para el lavado del equipo de aspersión y de la indumentaria utilizada en el manejo de agroquímicos

- 1 Identifique el sitio en el cual se encuentra instalada la biocama.
- 2 Ubique un sitio, cerca de la biocama, para el cambio de la ropa utilizada en el manejo de agroquímicos, que cuente con un grifo de agua y un recipiente para prelavado, cuando se requiera, la indumentaria utilizada.
- 3 Realice un prelavado de la ropa utilizada en el manejo de los agroquímicos antes de retirarla del sitio de trabajo y llevarla al sitio para su lavado definitivo. El objetivo del prelavado es retirar trazas de ingredientes activos y de otros compuestos químicos contenidos en los agroquímicos, que puedan quedar impregnados en la indumentaria utilizada en su manejo.
- 4 Para realizar el prelavado de la ropa realice los siguientes pasos:
 - Aliste un recipiente con la capacidad para contener la indumentaria a prelavado. Se sugiere, que en seco la indumentaria a lavar ocupe alrededor del 50% de la capacidad del contenedor.
 - Con el uso de guantes, despliegue completamente la indumentaria a lavar y ubíquela en el recipiente, desde las paredes hacia el centro, con el fin de que el agua fluya libremente a través de toda la indumentaria y tenga mayor eficiencia en la disolución de los contaminantes y menos barreras que impidan este proceso, como ocurriría si la ropa se introduce doblada o amontonada.
 - Adicione agua caliente a una temperatura aproximada de 60°C, al recipiente con la ropa a prelavado, justamente hasta que el nivel esté ligeramente por encima de la indumentaria.





De esta forma se optimiza la cantidad de agua residual generada, pues entre mayor sea el volumen de agua utilizada en el prelavado, mayor será la cantidad de agua residual generada y mayor el tamaño de la biocama.

- Agite fuertemente, con la ayuda de un cabo de madera, la indumentaria, durante un minuto, y deje en reposo hasta que el agua llegue a temperatura ambiente. Luego, retire el agua residual del contenedor y condúzcala a la biocama.
- Realice un segundo enjuague, adicionando agua caliente al recipiente con la indumentaria, teniendo la precaución de que el nivel de agua esté ligeramente por encima de la ropa. Agite la indumentaria y deje en reposo hasta que el agua adquiera la temperatura ambiente, y luego retire completamente el agua residual del contenedor y condúzcala a la biocama.
- Escurra bien la ropa, con el fin de retirarla lo más seca posible. Conduzca el agua de escurrido hasta la biocama.
- Cuelgue y coloque a secar al sol la ropa prelavada, pues los rayos solares favorecen la descomposición de muchos compuestos químicos. Una vez seca, lleve la ropa al sitio indicado para su lavado final.
- Lave la ropa prelavada, separada de la ropa que no ha estado en contacto con agroquímicos.

- 5** Cuando se disponga a almacenar el equipo de aspersión, para su próximo uso, realice el lavado interno del mismo, adicionando agua hasta ocupar un 25% del volumen de la máquina, tape el equipo y agite fuertemente durante un minuto, luego dirija el agua residual hacia la biocama. Repita el procedimiento dos veces más y deseche al agua hacia la biocama.
- 6** Para la limpieza externa del equipo de aspersión, utilice una toalla húmeda, la cual puede ser prelavada junto a la indumentaria.

Paso a paso de la construcción de una biocama para el manejo de las aguas residuales contaminadas con agroquímicos

1. Determinación del volumen de agua contaminada con agroquímicos

Estime la cantidad de agua contaminada con agroquímicos que se genera anualmente en la finca. Implemente estrategias que permitan disminuir los volúmenes de agua usada, lo cual tendrá como resultados menores volúmenes de agua contaminada a tratar.

2. Determinación del volumen de la unidad de procesamiento de la biocama

Para obtener el volumen necesario de la unidad de procesamiento de la biocama, multiplique por dos el valor estimado del volumen generado al año de agua residual contaminada con agroquímicos.

3. Determinación del tipo de unidad de procesamiento a implementar

Si la unidad de procesamiento de la biocama se implementa en una excavación impermeabilizada

con geomembrana de 20 mils, se recomienda que la profundidad de la excavación sea de 60 cm y con este valor se determina el área necesaria de la biocama.

Por ejemplo:

Si el volumen anual de aguas residuales contaminadas con agroquímicos se estima en 2.500 L, se requiere una excavación con capacidad para 5.000 L, es decir 5 m³.

El área necesaria de la excavación sería = Volumen/profundidad y para el ejemplo presentado, sería 5 m³/0,6 m = 8,4 m².

Si la unidad de procesamiento de la biocama se implementa utilizando un tanque en polietileno, utilice el tanque que tenga el volumen necesario para procesar el agua residual generada en el año. Para alcanzar el nivel de tratamiento requerido, en este tipo de unidad de procesamiento, se requiere que el tanque tenga, por lo menos, 1,0 m de profundidad, con un área superficial de por lo menos 1,0 m² (Fogg, 2007).

En la Tabla 2 se presentan datos de volumen, altura y área superficial de tanques comerciales de polietileno y el volumen de agua residual contaminada con agroquímicos que pueden procesar en el año.

Tabla 2. Algunas características de los tanques comerciales.

Volumen (m ³)	Altura (m)	Área superficial (m ²)	Volumen de agua residual a tratar (L)
0,75	1,02	1,23	375
1,00	1,25	1,47	500
2,00	1,57	1,94	1.000
3,00	1,68	2,57	1.500
5,00	2,10	3,87	2.500
10,00	2,48	5,15	5.000

4. Selección y adecuación de los materiales necesarios para la conformación de la biomezcla

La selección de los materiales para la elaboración de la biomezcla está directamente relacionada con su disponibilidad, facilidad de almacenamiento y composición físico-química. Si el material que se utilizará como paja tiene un tamaño de partícula superior a los 5,0 cm, realice la adecuación del tamaño de partícula de forma manual o utilizando un molino o un desintegrador – picador para residuos agrícolas (Figura 27). Recuerde utilizar todos los elementos de protección necesarios.

Se recomienda preparar un 25% más de la cantidad de biomezcla calculada inicialmente (Fogg, 2007).

Cantidades de biomezcla por cada 1.000 L de unidad de procesamiento de la biocama. Para una unidad de procesamiento de la biocama de 1.000 L, las necesidades de la biomezcla se establecen para un volumen de 1.250 L y las cantidades aproximadas de los componentes de la biomezcla serían:

625 litros de paja o material lignocelulósico con humedad cercana al 65%

Esta humedad se consigue cuando se dispone de paja o de material lignocelulósico fresco (valor encontrado de $66,92\% \pm 2,45\%$), por lo que sólo bastaría con acondicionar el tamaño de partícula, en los casos en que sea necesario, y medir el volumen del material. Puede utilizarse como unidad de medida la carretilla, que llena equivale a un volumen de 100 L (Figura 28).

Si se utiliza el **material proveniente de las desyerbas** que se realizan en la finca en el manejo del cultivo de café, utilizando la guadaña, puede ajustarse la altura del corte para obtener el material con el tamaño de partícula necesario (aproximadamente 5,0 cm) y evitar el acondicionamiento de partícula.

Si se desea realizar la adición del material fresco en peso, es necesario conocer la densidad aparente de la paja o del material lignocelulósico fresco, la cual en promedio está del orden de $0,34 \pm 0,02 \text{ kg L}^{-1}$, por lo que las necesidades en peso, de la paja o del material lignocelulósico serían:

$$\text{Peso} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$$
$$\text{Peso} = 0,34 \text{ kg L}^{-1} \times 625 \text{ L} = 212 \text{ kg}$$

Si se dispone de paja o material lignocelulósico seco (humedad promedio del $25,80\% \pm 2,63\%$ y densidad aparente promedio de $0,16 \pm 0,01 \text{ kg L}^{-1}$), será necesario hidratarla hasta alcanzar una humedad cercana al 65%. Los requerimientos serían:

$$\text{Peso} = 0,16 \text{ kg L}^{-1} \times 625 \text{ L} = 100 \text{ kg}$$

Con el fin de lograr una humectación homogénea se aconseja disponer el material en un tanque, adicionarle 112 L de agua, realizar la mezcla e ir adicionando los drenados hasta que queden completamente incorporados en el material.

Se requieren 312,5 L de compost con humedad cercana al 70%



Figura 27. Molino para la adecuación del tamaño de partículas de los sustratos.



Figura 28. Carretilla utilizada para el transporte y medición de los componentes de la biomezcla.

El compost fresco tiene una humedad muy cercana a este valor (valor promedio encontrado de $69,60\% \pm 4,10\%$) por lo que podría utilizarse directamente, midiendo su volumen. Su densidad aparente promedio es del orden de $0,87 \pm 0,1 \text{ kg L}^{-1}$, siendo necesario pesar aproximadamente 272 kg de compost.

Se requieren 312,5 litros de suelo con humedad cercana al 35%

El suelo suelto fresco tiene una humedad muy cercana a este valor (valor promedio encontrado de $36,56\% \pm 0,89\%$) por lo que podría utilizarse directamente, midiendo su volumen. Su densidad aparente promedio es del orden de $1,05 \pm 0,04 \text{ kg L}^{-1}$, siendo necesario pesar aproximadamente de 328 kg de suelo fresco.

5. Preparación de la biomezcla

Es aconsejable realizar la mezcla sobre un piso en concreto o sobre un plástico, en el caso de disponer de un piso en tierra, en el cual se extiende primero la paja, luego se agrega el compost fresco (desmoronando los terrones que pueda presentar) y por último se adiciona el suelo fresco. La mezcla se realiza con una pala hasta que el material quede homogéneo (Figuras 29 a 33).

6. Acondicionamiento de la tubería de aireación y salida de drenados de la unidad de procesamiento de la biocama

Una vez construida e impermeabilizada la excavación o dispuesto el tanque que servirá de unidad de procesamiento

de la biocama, debe instalarse la tubería de aireación y de salida del agua tratada (Figura 34). Para evitar el ingreso de material sólido, tanto el tubo de aireación como el de salida del agua tratada se forran en polisombra (Figura 35) (sólo la parte de la tubería que está enterrada), y luego, se adiciona una capa de gravilla de aproximadamente 10 cm que sirva de unidad de filtración para el agua ya tratada (Figura 36).



Figura 29. Disposición de la paja fresca o humectada como material base.



Figura 30. Adición del compost fresco sobre la capa de paja húmeda.



Figura 31. Adición del suelo fresco sobre la capa de compost fresco y la capa de paja húmeda.



Figura 32. Mezclado de los componentes de la biomezcla hasta obtener un producto homogéneo.



Figura 33. Aspecto de la biomezcla ya homogeneizada.



Figura 34. Instalación de la tubería de aireación y drenaje en la unidad de procesamiento de la biocama.

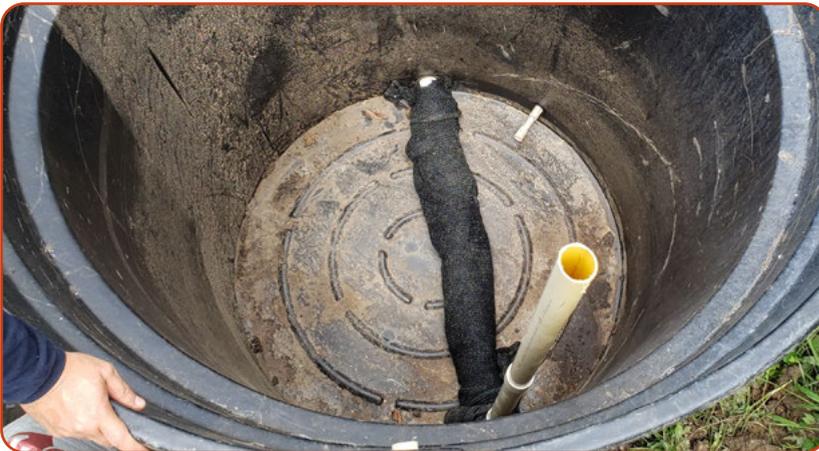


Figura 35. Cubrimiento de las tuberías de aireación y drenaje con polisombra.



Figura 36. Cubrimiento de la tubería de drenaje con una capa de gravilla.

7. Adición de la biomezcla dentro de la unidad de procesamiento de la biocama

Una vez preparada la biomezcla y adecuada la tubería de salida del agua tratada de la unidad de procesamiento de la biocama, se adiciona la biomezcla (Figura 37). Utilice, si es necesario, una carretilla para transportar el material y una pala para adicionar la biomezcla.

Durante el llenado se recomienda distribuir uniformemente la biomezcla y compactarla suavemente, ya sea mediante la presión que realice el operario con el pie o con la ayuda de un pisón (Figura 38). La biocama se llena con la biomezcla hasta 10 cm antes de la altura útil del tanque (Figura 39), con el fin de ubicar en esta altura la capa de suelo y de hierba.



Figura 37. Adición de la biomezcla sobre la capa de gravilla en la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 38. Compactación de la biomezcla en el interior de la unidad de procesamiento.



Figura 39. Llenado de la unidad de procesamiento hasta 10 cm antes de la altura útil del tanque.

8. Maduración de la biomezcla

La biomezcla se deja madurar en la unidad de procesamiento de la biocama durante 2 meses, con el fin de favorecer el establecimiento de los hongos de la pudrición blanca (Figura 40). Semanalmente debe corroborarse que la humedad de la biomezcla esté cercana al 60%, la cual puede evaluarse tomando un puñado de la mezcla en la mano y sentirla húmeda al tacto, pero que al presionarla no escurra. En caso de requerirse debe adicionarse agua.



Figura 40. Establecimiento de los hongos de la pudrición blanca después de 2 meses de incubación de la biomezcla.

9. Adición de la capa de hierba en la unidad de procesamiento

Una vez transcurridos los 2 meses de maduración, sobre los 10 cm restantes de la unidad de procesamiento de la biocama se adiciona una capa de suelo y de hierba (Figura 41). Con el fin de facilitar anualmente la labor de remoción de la capa de hierba, para restituir el volumen original de biomezcla, se recomienda colocar una malla plástica separando las capas de biomezcla y de grama (Figura 42). En las Figuras 43 y 44 se muestra el proceso de incorporación de la capa de grama.

Adicionalmente, para aumentar la eficiencia del tratamiento en la unidad de procesamiento de la biocama, pueden sembrarse esquejes de pasto vetiver de 10 cm de tallo y 5 cm de raíz, tres esquejes por sitio, al cuadro a 30 cm de distancia (Figura 45).



Figura 41. Capa de suelo y de hierba ubicada en la parte superior de la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 42. Malla plástica para separar las capas de biomezcla y de grama.



Figura 43. Inicio del cubrimiento de la superficie de la unidad de procesamiento de la biocama con una capa de grama.



Figura 44. Aspecto final de la capa de grama en la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 45. Siembra de pasto vetiver en la capa de grama de la unidad de procesamiento de la biocama.

10. Instalación de las unidades de aplicación y de recolección de drenados de la biocama

Antes de la unidad de procesamiento (en la que se encuentra la biomezcla), debe ubicarse un tanque en polietileno de 250 L de capacidad y una altura de 35 cm, que reciba las aguas contaminadas y las dosifique a la misma (Figura 46).

La unión entre las unidades de aplicación y procesamiento se realiza mediante tubería PVC-P de $\frac{1}{2}$ " y justo antes del ingreso de la tubería a la unidad de procesamiento se instala una válvula PVC-P de $\frac{1}{2}$ ", para regular el

flujo de agua en el sistema de distribución, el cual se construye con tubería PVC-P de $\frac{1}{2}$ ", procurando descargar de forma homogénea el agua residual mediante riego por goteo, a través de perforaciones de $\frac{3}{32}$ " (Figura 47).

Los posibles drenados que se generen en la unidad de procesamiento deben recolectarse en un tanque



Figura 46. Instalación de la unidad de aplicación antecedendo a la unidad de procesamiento.



Figura 47. Instalación del sistema de distribución del agua residual sobre la capa de grama de la unidad de procesamiento de la biocama.

de drenados (Figura 48), en polietileno, de 250 L de capacidad y 35 cm de altura, el cual se ubica posterior a la unidad de procesamiento y se une a esta mediante tubería PVC-S de 1½”.

El agua recolectada en la unidad de drenados debe ser conducida nuevamente a la unidad de aplicación para

ser incorporada a la biomezcla hasta su agotamiento total. Los tanques de las unidades de aplicación y de recolección de drenados deben permanecer tapados para evitar el ingreso del agua de lluvia.

11. Instalación del techo en la unidad de procesamiento

Con el fin de evitar el ingreso del agua de lluvia a la unidad de procesamiento de la biocama, debe instalarse un techo en plástico, geomembrana, teja plástica, teja de zinc o teja de fibrocemento sobre la misma (Figura 49). De esta forma la biocama está lista para su uso.



Figura 48. Instalación del tanque de recolección de drenados a la salida de la unidad de procesamiento de la biocama.



Figura 49. Instalación del techo en la unidad de procesamiento de la biocama.

12. Actividades de mantenimiento de la biocama

Una vez en uso, es necesario realizar mantenimiento periódico a la unidad de aplicación y al sistema de distribución del agua residual en la unidad de procesamiento, para garantizar su flujo. Este

mantenimiento consiste en retirar material sedimentado, tanto en el tanque como en la tubería de conducción, destaponar los orificios de riego y realizar el lavado con agua limpia.

Después de un año de operación, debe retirarse la capa de grama de la unidad de procesamiento y adicionar la capa de biomezcla hasta recuperar su altura original (Figuras 50 y 51) y nuevamente colocar la capa de grama (Figura 52). La biomezcla debe adicionarse 2 meses antes de la utilización de la biocama, con el fin de asegurar su maduración.



Figura 50. Adición de biomezcla nueva en la unidad de procesamiento.



Figura 51. Recuperación de la altura inicial de la biomezcla.



Figura 52.
Adición, de la nueva capa de grama en la unidad de procesamiento.

Recuerde

Antes de realizar la disposición final de los envases vacíos de agroquímicos realice el triple lavado, siguiendo estos pasos:

- 1 Agregue agua hasta llenar el 25% del envase, agite fuertemente durante 30 segundos, adicione la mezcla a la fumigadora. Repita el procedimiento dos veces más.
- 2 Corte o perforo el envase para que no pueda ser reutilizado.
- 3 Almacénelo en el lugar destinado para este fin y entréguelo a las empresas gestoras en las campañas que estas realizan para la recolección.

Una gestión adecuada de los agroquímicos, contribuye a la protección de la salud en las personas y a mitigar el impacto ambiental generado.

Literatura citada

- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>
- Arias Ortiz, R. A., & Meneses Cruz, J. D. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/>
- Balducci, C., Perilli, M., Romagnoli, P., & Cecinato, A. (2012). New developments on emerging organic pollutants in the atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6), 1875–1884. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0815-2>
- Carroll, A., & Somerville, C. (2009). Cellulosic Biofuels. *Annual Review of Plant Biology*, 60(1), 165–182. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.043008.092125>
- Castillo, M. D. P., Torstensson, L., & Stenström, J. (2008). Biobeds for Environmental Protection from Pesticide Use—A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6206–6219. <https://doi.org/10.1021/jf800844x>
- Diez Jerez, M., Cifuentes, G., Altamirano, C., Briceño, G., Calderón, G., Rubilar, O., & Tortella, G. (2013). *Manual de construcción y operación de lechos biológicos*. Universidad de La Frontera. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/33377>
- Fogg, P. (2007). Guidance on using a lined biobed to dispose of agricultural waste consisting of non-hazardous pesticide solutions or washings. ADAS Project Code: XCH2001. Environment Agency. Ref: 30139296.
- Pinilla Acosta, H. D. (2019). *Producción de furfural y etanol a partir de zoca de café: Evaluación experimental*. [Tesis de pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/7760>
- Prinsen, P. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas* [Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla]. <http://hdl.handle.net/10261/66265>
- Rangel, S. X. (2012). *Estudio del efecto de enzimas ligninolíticas y celulolíticas obtenidas del hongo pleurotus ostreatus sobre una gramínea forrajera tropical* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11428>
- Rodríguez-Valencia, N. (2023). *Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>
- Rodríguez, N., & Gómez, F. A. (2001). Cultivo de hongos comestibles en pulpa de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 285, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0285>
- Rodríguez, N., & Jaramillo, C. (2005). Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafé*, 27, 1–56.
- Rodríguez, N., Quintero-Yepes, L. V., & Castañeda, S. A. (2022). *Construya y opere un humedal artificial para el postratamiento de las aguas residuales de su finca cafetera*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0013>
- Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L., & Castañeda, S. A. (2022). *Tecnología de filtros verdes para el manejo, tratamiento y cero descargas de las aguas residuales de la finca cafetera*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0029>
- Rodríguez, N., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., Quintero-Yepes, L., & Tibaduiza-Vianchá, C. A. (2021). Tipificación del beneficio del café en Colombia, relación con el consumo de agua, generación de vertimientos y huellas hídricas azul y gris. *Boletín Técnico Cenicafé*, 46, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10781/046>
- Salazar-Gutiérrez, L., & Hincapié Gómez, É. (2013). Conservación de suelos y aguas. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 285–320). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_13
- Truong, P., & Danh, L. T. (2015). *El Sistema vetiver para mejorar la calidad del agua. Prevención y tratamiento de aguas y tierras contaminadas* (P. Ruiz & I. Toussieh, Trads.; 2a ed.). Red Internacional del Veltiver.





Cenicafé

Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana