



FONDO PARTICIPATIVO PARA LA ACCIÓN AMBIENTAL - FPAA -

CARTILLA BASE DE CONOCIMIENTO

FITODEPURADORES

HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

Tecnología ecológica para el tratamiento de
aguas grises domésticas en predios rurales

Documento base para gestión del conocimiento,
orientación técnica, evaluación en campo y
fortalecimiento de capacidades en BIOMALAB FPAA



BIOMALAB FPAA



Julio de 2026

DERECHOS DE AUTOR

Cartilla de gestión del conocimiento

“Modelo FPAA de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas grises domésticas”

© **Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) - Fondo Participativo para la Acción Ambiental (FPAA). Todos los derechos reservados.**

Este documento es un material técnico y pedagógico elaborado en el marco de la gestión del conocimiento del Fondo Participativo para la Acción Ambiental (FPAA), asociado a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Su contenido busca apoyar los procesos de formación, divulgación y apropiación de conocimientos sobre fitodepuradores o humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises domésticas.

La reproducción, distribución, comunicación pública o adaptación total o parcial de esta cartilla requiere autorización previa y por escrito de sus titulares, salvo los usos permitidos por la legislación vigente. No se autoriza su comercialización, ni la supresión o modificación de los créditos institucionales, sin el consentimiento correspondiente.

Se permite la consulta y el uso con fines educativos, informativos y no comerciales, siempre que se cite de manera clara la fuente institucional y no se altere el sentido del contenido. Las fotografías, ilustraciones, planos, tablas y demás materiales de terceros que puedan estar incluidos conservan los derechos de sus respectivos titulares y deben utilizarse conforme a sus condiciones de autorización.

Autores:

Gerardo Andrés Naranjo Ríos – Profesional Líder FPAA

David Santiago Burbano Dorado – Profesional Ambiental FPAA

Anamaria Valencia Caicedo – Profesional Social FPAA

María Fernanda Chala Ramos – Profesional Social FPAA

Manuel Alejandro Loaiza González – Profesional Jurídico FPAA

Luis Fernando Torres García – Profesional Administrativo FPAA

Fondo Participativo para la Acción Ambiental (FPAA) – CVC. (s. f.). Cartilla de gestión del conocimiento: Modelo FPAA de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas grises domésticas. Santiago de Cali, Valle del Cauca.

Modelo FPAA de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas grises domésticas

0. FICHA TÉCNICA RÁPIDA

Campo	Descripción
Nombre de la tecnología	Fitodepurador o humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para aguas grises domésticas.
Otros nombres usados en territorio	Humedal construido, biofiltro plantado, jardín filtrante, humedal de grava plantado o sistema de fitodepuración.
Problema principal que aborda	Descarga directa o manejo inadecuado de aguas grises con materia orgánica, grasas, detergentes, fibras, sólidos y microorganismos, con riesgo de afectar suelo, drenajes y fuentes hídricas.
Escala y alcance de aplicación	Aplicación predial y comunitaria de pequeña escala. El modelo FPAA de referencia utiliza un lecho interior de 4,0 m de largo por 0,90 m de ancho; esta medida debe validarse con el caudal, la carga y el destino del efluente.
Ámbitos de uso	Viviendas rurales, fincas, sedes comunitarias, alojamientos de baja escala y otros sitios donde sea posible separar aguas grises de inodoros y aguas lluvias.
Nivel de complejidad técnica	Medio: requiere diagnóstico, separación de redes, pretratamiento, nivelación, impermeabilización, medio granular adecuado, control hidráulico, establecimiento vegetal, bioactivación y mantenimiento.
Principales beneficios esperados	Disminución de descargas directas; reducción de sólidos, materia orgánica, grasas, olores y parte de nutrientes y microorganismos; bajo consumo energético; integración paisajística y fortalecimiento de capacidades.
Observación breve para FPAA	No es una jardinera aislada. Su eficacia depende de la interacción entre pretratamiento, hidráulica, medio granular, plantas y biopelícula microbiana, además de una operación y verificación continuas.

1. ¿QUÉ ES?

1.1. Descripción general

Un fitodepurador es una tecnología de saneamiento que reproduce de manera controlada procesos presentes en los humedales. El agua residual previamente separada y pretratada circula por un lecho impermeabilizado que contiene materiales granulares, raíces, rizomas y comunidades de microorganismos. Durante el recorrido se retienen partículas, se degrada materia orgánica y se transforman o inmovilizan diferentes contaminantes.

El modelo principal de esta cartilla es un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para aguas grises domésticas. Las fuentes consideradas son lavamanos, duchas, lavadoras y lavaderos. Las aguas de cocina pueden incorporarse únicamente cuando el diagnóstico lo permita y exista un pretratamiento eficaz para grasas, aceites y sólidos. Las descargas de inodoros, aguas lluvias y residuos químicos concentrados deben mantenerse por fuera del sistema.

En el modelo estándar FPAA, el agua sale de la trampa de grasas y sólidos y entra directamente al humedal por un tramo de tubería perforada de 0,50 m, instalado horizontalmente en la capa inferior de grava gruesa. La caja de distribución no es obligatoria: puede incorporarse cuando el ancho, el caudal o la configuración del proyecto exijan repartir el flujo mediante varias salidas.

1.2. Contexto de aplicación

La tecnología es pertinente para zonas rurales dispersas, predios sin conexión a alcantarillado y proyectos comunitarios que requieren soluciones descentralizadas de bajo consumo energético. También puede utilizarse como etapa de pulimiento dentro de sistemas de tratamiento más amplios, siempre que el diseño corresponda al tipo de agua y a los objetivos de calidad.

- Es favorable cuando las aguas grises pueden separarse desde la vivienda y existe una persona responsable de la operación.
- Requiere un sitio estable, accesible, no inundable, protegido de escorrentías y con conducción hidráulica definida, preferiblemente por gravedad.
- Antes de construir debe establecerse el destino del agua tratada y verificar los permisos, registros o autorizaciones ambientales aplicables.
- No debe utilizarse como solución automática para aguas negras, aguas industriales, vertimientos con hidrocarburos, solventes, plaguicidas, pinturas, medicamentos o desinfectantes concentrados.
- La dimensión institucional de 4,0 m por 0,90 m es una referencia constructiva y no sustituye el dimensionamiento por caudal, carga contaminante, porosidad y tiempo de retención.

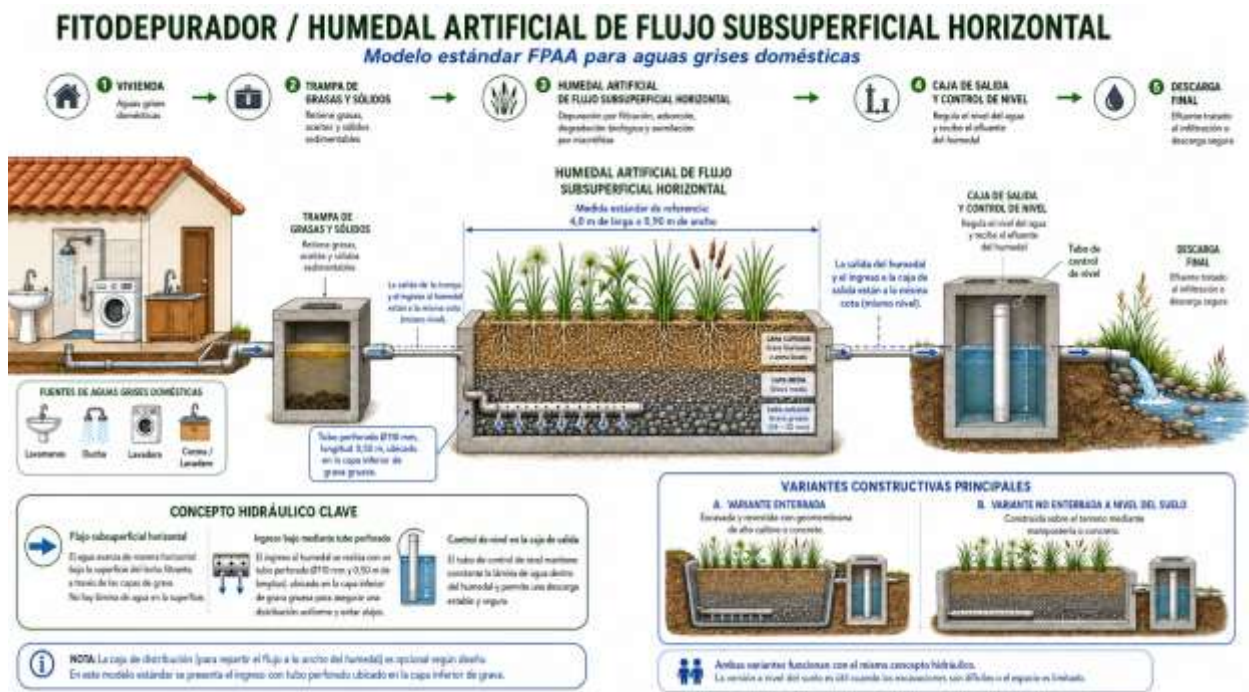


Figura 1. Modelo estándar FPAA del fitodepurador de flujo subsuperficial horizontal para aguas grises domésticas.

2. BASE TEÓRICA

2.1. Conceptos relevantes

Concepto	Definición aplicada
Aguas grises	Aguas residuales domésticas provenientes de higiene, lavado y lavandería, sin descargas de inodoros. Su composición depende de los hábitos, productos usados y aportes de grasas, fibras y sólidos.
Flujo subsuperficial horizontal	Movimiento del agua por debajo de la superficie del lecho, desde la entrada hacia la salida. Reduce el contacto directo, los olores y los criaderos de mosquitos cuando funciona correctamente.
Pretratamiento	Conjunto de elementos que retienen grasas, aceites, cabellos, fibras, arenas y sólidos antes del humedal, protegiéndolo frente a la colmatación.
Medio granular	Grava o material mineral lavado que permite el flujo, soporta las plantas, retiene partículas y ofrece superficie para la biopelícula.
Macrófitas	Plantas adaptadas a condiciones húmedas. Sus raíces y rizomas estabilizan el medio, aportan superficie biológica, transfieren gases y asimilan una fracción de nutrientes.
Biopelícula microbiana	Comunidad de bacterias, hongos, protozoos y otros microorganismos adherida a raíces, grava y tuberías. Es la base de gran parte de la degradación y transformación de contaminantes.
Carga hidráulica	Volumen de agua aplicado por unidad de superficie y tiempo. Un exceso puede generar rebose, cortocircuitos o flujo superficial.
Tiempo de retención hidráulica	Tiempo medio de permanencia del agua en los vacíos del lecho; depende de caudal, dimensiones y porosidad, no solo del volumen geométrico.
Colmatación	Pérdida de porosidad por acumulación de grasas, sólidos, biomasa o raíces. Se evidencia mediante encharcamiento, retorno o disminución del caudal.
Apropiación	Capacidad de la familia u organización para operar, inspeccionar, registrar, mantener y corregir el sistema con autonomía.

2.2. Principios de funcionamiento

El tratamiento se produce por la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos. El medio granular retiene partículas y distribuye el flujo; las superficies minerales adsorben o favorecen la precipitación de algunos compuestos; las raíces estabilizan el lecho; y los microorganismos degradan materia orgánica y transforman nutrientes en zonas aerobias, anóxicas y anaerobias.

- Filtración y sedimentación: retención de sólidos en los poros y en zonas de menor velocidad.
- Adsorción y precipitación: inmovilización parcial de fósforo, metales y otros compuestos sobre el sustrato.
- Degradación microbiana: oxidación y fermentación de materia orgánica por comunidades adheridas.
- Transformación del nitrógeno: amonificación, nitrificación en micrositios con oxígeno y desnitrificación en zonas pobres en oxígeno.
- Acción vegetal: estabilización, aporte de superficie para biopelículas, captura parcial de nutrientes y regulación microclimática.
- Evapotranspiración: salida de una fracción del agua hacia la atmósfera, variable con clima, cobertura y especie.

Los microorganismos constituyen el motor biológico del sistema. Para el modelo FPAA se incorpora un protocolo de bioactivación inicial con cepas o consorcios adecuados, identificados y con trazabilidad. El protocolo puede contemplar refuerzos periódicos, pero su frecuencia debe sustentarse en la ficha técnica del producto, el seguimiento del sistema y eventos como paradas prolongadas, reemplazo de sustrato, choques tóxicos o pérdida comprobada de eficiencia. La inoculación no reemplaza el pretratamiento, la hidráulica ni el mantenimiento.



Figura 2. Papel de la biopelícula microbiana y opciones de plantas para el Valle del Cauca.

2.3. Variables o datos técnicos relevantes

Variable	Referencia orientadora	Observación técnica
Dimensiones del modelo FPAA	4,0 m de largo por 0,90 m de ancho interior útil; área superficial de 3,6 m².	Referencia institucional; debe verificarse frente al caudal y la carga.
Profundidad del lecho	Aproximadamente 0,70 a 0,80 m como rango orientador.	Definir en plano según granulometría, raíces, cotas y estructura.

Variable	Referencia orientadora	Observación técnica
Impermeabilización	Geomembrana de alto calibre protegida con geotextil, o estructura impermeable en concreto/mampostería.	Realizar prueba de estanqueidad antes del llenado.
Ingreso al humedal	Tramo perforado horizontal de 0,50 m instalado en la capa inferior de grava gruesa; la figura de referencia usa Ø110 mm.	Diámetro, perforaciones y orientación se validan en el diseño.
Cotas hidráulicas	La salida de la trampa y la entrada al humedal mantienen la misma cota en el modelo. La salida del humedal coincide con la entrada a la caja de salida.	Evitar contrapendientes, puntos muertos y pérdida de carga no prevista.
Medio inferior	Grava gruesa lavada, aproximadamente 16–32 mm; en fuentes técnicas también se encuentran rangos cercanos a 20–40 mm.	Debe rodear las tuberías y permitir alta conductividad.
Medio intermedio	Grava media lavada, aproximadamente 8–16 o 10–20 mm.	Evitar mezclas con tierra o arcilla.
Medio superior	Grava fina lavada, aproximadamente 4–10 mm; arena solo cuando el diseño controle el riesgo de colmatación.	No utilizar material excesivamente fino.
Caudal de diseño	Aforo por fuente y horario, expresado en L/día o m³/día.	No dimensionar solamente por número de habitantes.
Carga y calidad	pH, DBO5 o DQO, SST, grasas y aceites; complementar con nutrientes y microbiología según el objetivo.	Definir línea base, laboratorio, frecuencia y punto de muestreo.
Plantas	Papiro, papiro paraguas, juncos, eneas/totoras, Schoenoplectus, achiras, heliconias y vetiver, entre otras especies validadas.	Seleccionar por adaptación local, raíces, disponibilidad, manejo e invasividad.
Protocolo microbiano	Inoculación inicial y refuerzos periódicos técnicamente sustentados.	Registrar consorcio, lote, dosis, fecha, responsable y respuesta observada.

2.4. Ventajas y aportes

- ✓ Puede reducir materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas, olores y una fracción de nutrientes y microorganismos cuando el diseño y la operación son adecuados.
- ✓ Funciona con bajo consumo energético cuando el flujo se mantiene por gravedad.
- ✓ Disminuye la descarga directa de aguas grises al suelo, drenajes o fuentes hídricas.

- ✓ Permite utilizar plantas disponibles o adaptables al Valle del Cauca y favorece la integración paisajística.
- ✓ Fortalece la educación ambiental y el aprendizaje sobre agua, microbiología y soluciones basadas en la naturaleza.
- ✓ Puede construirse en versión enterrada o sobre el terreno, facilitando su adaptación a diferentes condiciones prediales.
- ✓ Genera información útil para medir resultados ambientales, apropiación y sostenibilidad de las intervenciones del FPAA.

2.5. Limitaciones o condiciones de uso

- No produce agua potable ni autoriza automáticamente su consumo humano o animal.
- El efluente puede conservar nutrientes y microorganismos; su descarga, infiltración o uso debe cumplir la normativa y las condiciones definidas por la autoridad ambiental.
- La medida estándar no puede extrapolarse a restaurantes, lavanderías comerciales, sistemas pecuarios o procesos industriales sin caracterización y rediseño.
- El exceso de grasas y sólidos puede colmatar el lecho; la trampa de grasas debe ser accesible y mantenerse.
- Detergentes, cloro concentrado, solventes, hidrocarburos, pinturas, plaguicidas y desinfectantes fuertes pueden afectar la biopelícula y las plantas.
- La eficiencia varía con el caudal, la temperatura, la fase de establecimiento, la granulometría y la continuidad del mantenimiento.
- Requiere espacio, acceso para inspección, ruta para los residuos del pretratamiento y responsable capacitado.

3. INDICADORES ASOCIADOS

Los indicadores deben contar en cada proyecto con línea base, meta, método, fuente de verificación, periodicidad y responsable. La existencia física del humedal no demuestra por sí sola su funcionamiento ni su impacto.

3.1. Indicadores de diseño e instalación

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Separación de aguas grises	Sí/no	100 % de fuentes definidas separadas	Inspeccionar redes y realizar prueba hidráulica.
Dimensiones interiores	m	4,0 × 0,90 m como referencia FPAA	Medir largo, ancho y profundidad construidos.

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Impermeabilización	Escala 0–4	Meta ≥ 3	Revisar concreto o geomembrana, uniones y estanqueidad.
Pretratamiento	Sí/no y volumen	100 % funcional y accesible	Verificar retención de grasas/sólidos y facilidad de limpieza.
Tubo perforado de ingreso	cm, Ø y perforaciones	0,50 m en la capa inferior	Comprobar ubicación, unión, perforaciones y protección.
Continuidad de cotas	cm	Conforme a plano, sin contrapendiente	Nivelar trampa, ingreso, salida y caja de control.
Medio granular	m ³ y granulometría	100 % lavado y conforme	Registrar procedencia, tamaños, volumen y ausencia de finos.
Caja de salida y standpipe	Sí/no	100 % funcional	Accesible, ajustable y sin fugas.
Plantas establecidas	No./m ² y % supervivencia	Meta definida por diseño	Registrar especies, procedencia y estado inicial.

3.2. Indicadores de funcionamiento

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Flujo subsuperficial	Escala 0–4	Meta ≥ 3	No debe existir flujo superficial o rebose persistente.
Caudal de entrada y salida	L/día o m ³ /día	Balance consistente	Aforar en condiciones comparables y considerar evapotranspiración.
Nivel interno	cm	Rango definido de operación	Medir en caja de salida y registrar ajustes.
Encharcamiento	% de área	0 % persistente	Diferenciar lluvia de falla hidráulica.
Olor	Escala 0–3	0–1	Olor fuerte indica sobrecarga, estancamiento o tóxicos.
Color/turbidez del efluente	Registro, NTU	Tendencia de mejora	Comparar fotografías y mediciones en puntos fijos.
Supervivencia vegetal	%	≥ 80 % tras establecimiento	Registrar clorosis, mortalidad, plagas y reposición.
Obstrucciones	No. de eventos	Tendencia baja	Revisar tuberías, trampa, entrada y salida.

3.3. Indicadores de operación y mantenimiento

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Inspección de trampa	veces/mes	Según carga; mínimo mensual	Registrar nivel de grasas, sólidos y fecha de limpieza.
Limpieza de tuberías	No. y fecha	Según inspección	Documentar método y residuo retirado.
Revisión del standpipe	veces/mes	Mínimo mensual	Registrar altura, nivel y cambios.
Manejo de plantas	podas/reposiciones	Según especie y cobertura	Registrar biomasa, destino y supervivencia.
Protocolo microbiano	% de aplicaciones	100 % de aplicaciones previstas	Registrar consorcio, lote, dosis, fecha y respuesta.
Muestreo de agua	No. campañas	Según plan y normativa	Laboratorio, puntos, parámetros y resultados.
Tiempo de respuesta a fallas	días	Lo más corto posible	Definir responsable, acción y cierre.
Cumplimiento de registros	%	Meta ≥ 80 %	Formatos completos y evidencia fotográfica.

3.4. Indicadores de uso y apropiación

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Responsables capacitados	No. y %	100 % de operadores directos	Verificar comprensión del flujo, trampa, nivel y alertas.
Autonomía de operación	Escala 0–4	Meta ≥ 3	Valorar diagnóstico y corrección sin dependencia permanente.
Continuidad de uso	meses	Seguimiento mínimo de 12 meses	Registrar interrupciones y causas.
Rutinas cumplidas	%	Meta del proyecto	Aplicar lista de chequeo.
Calidad de registros	% de campos	Meta ≥ 80 %	Incluye caudal, limpieza, plantas, inoculación y fallas.
Uso seguro del efluente	Sí/no	100 % conforme	Verificar destino, restricciones y señalización.
Transferencia de conocimiento	No. actividades/personas	Según alcance	Registrar visitas, demostraciones e intercambios.

3.5. Indicadores de resultados esperables

Indicador	Unidad	Referencia orientadora	Observación técnica
Reducción de DBO5 o DQO	mg/L y %	Comparación entrada-salida	No adoptar una eficiencia fija sin muestreo.
Reducción de SST	mg/L y %	Comparación entrada-salida	Relacionar con pretratamiento y colmatación.
Reducción de grasas y aceites	mg/L y %	Comparación entrada-salida	Evaluar principalmente la trampa y la protección del lecho.
Cambio en nutrientes	mg/L y %	Según objetivo	Medir N y P cuando sean relevantes para descarga o uso.
Cambio microbiológico	NMP/100 mL u otra	Según destino	El humedal no garantiza desinfección completa.
Volumen tratado	m ³ /mes	Aforo documentado	Comparar con descargas directas evitadas.
Costos de operación	COP/mes o año	Comparación con línea base	Incluir limpieza, plantas, análisis y reparaciones.
Satisfacción del usuario	Escala 0–4	Meta ≥ 3	Considerar olor, paisaje, facilidad y confianza.

3.6. Identificación de efectos e impactos ambientales y socioeconómicos

- ✓ Efecto ambiental: disminución sostenida de la descarga directa de aguas grises y de la carga contaminante conducida a suelo, drenajes o fuentes hídricas.
- ✓ Efecto sanitario: menor exposición de familias y comunidades a aguas grises estancadas, olores y vectores, sin asumir que el efluente queda libre de riesgo.
- ✓ Efecto de capacidades: fortalecimiento del conocimiento para operar, mantener y verificar soluciones descentralizadas de saneamiento.
- ✓ Efecto económico: cambio del perfil de costos hacia mantenimiento preventivo, limpieza, plantas, análisis y reparaciones de baja complejidad.
- ✓ Efecto paisajístico: incorporación de vegetación y mejora visual del entorno cuando se seleccionan y manejan adecuadamente las plantas.
- ✓ Impacto potencial: reducción de presiones sobre fuentes hídricas y fortalecimiento de la gestión sostenible del agua en territorios rurales.
- ✓ Precaución metodológica: un impacto solo debe afirmarse con línea base, seguimiento suficiente, calidad de datos y evidencia de atribución a la intervención FPAA.

4. DISEÑO TÉCNICO Y DESARROLLO ESTRUCTURAL / METODOLÓGICO DE IMPLEMENTACIÓN

4.1. ¿Cómo se hace?

- 1. Diagnóstico de fuentes:** identificar lavamanos, duchas, lavadoras, lavaderos y, cuando aplique, cocina; estimar caudales y reconocer productos de limpieza y contaminantes no admisibles.
- 2. Separación hidráulica:** excluir inodoros y aguas lluvias; corregir conexiones cruzadas antes de construir.
- 3. Definición del destino del efluente:** establecer descarga, infiltración o uso permitido y revisar requisitos ambientales y sanitarios.
- 4. Selección del sitio:** escoger un área estable, accesible, no inundable, alejada de riesgos de escorrentía y compatible con el ordenamiento predial.
- 5. Levantamiento y nivelación:** definir cotas de vivienda, trampa, entrada del humedal, salida y caja de control; elaborar croquis o plano.
- 6. Diseño y capacidad:** validar el modelo 4,0 × 0,90 m con caudal, carga, porosidad, tiempo de retención, granulometría y condiciones del sitio.
- 7. Construcción del pretratamiento:** instalar trampa de grasas y sólidos con tapa registrable, deflectores o conexiones sumergidas que retengan flotantes y permitan limpiar.
- 8. Construcción del lecho:** ejecutar la variante enterrada con geomembrana/concreto o la variante sobre el terreno en mampostería/concreto, abierta en la parte superior.
- 9. Instalación del ingreso:** conectar la salida de la trampa a la misma cota de la entrada del humedal y colocar el tubo perforado horizontal de 0,50 m en la grava gruesa inferior.
- 10. Instalación de la salida:** construir la zona de recolección y conectar la boca de salida del humedal con la caja de control a la misma cota.
- 11. Colocación del medio:** lavar, clasificar y ubicar la grava evitando mezclar capas o dañar la impermeabilización.
- 12. Instalación del standpipe:** colocar el tubo vertical ajustable que permita regular nivel y vaciar parcialmente el sistema.
- 13. Siembra:** seleccionar especies adaptadas, distribuirlas sin bloquear inspecciones y registrar densidad y procedencia.
- 14. Bioactivación:** humedecer el lecho, aplicar el consorcio definido, iniciar la carga de forma gradual y programar refuerzos periódicos según protocolo y seguimiento.

15. Pruebas y línea base: revisar estanqueidad, flujo, nivel, ausencia de reboses, caudal, calidad del agua y registro fotográfico.

16. Transferencia y entrega: capacitar al responsable, entregar rutinas, formatos, restricciones y plan de contingencia.

4.2. Materiales requeridos

- Concreto, bloques o mampostería estructural, o geomembrana de alto calibre con geotextil de protección y anclajes.
- Tuberías y accesorios sanitarios, tapas registrables, codos, uniones, elementos sumergidos de la trampa y standpipe.
- Tubo perforado de ingreso de 0,50 m de longitud, con diámetro y perforaciones definidos en el plano.
- Grava lavada y clasificada en fracciones gruesa, media y fina, libre de tierra, arcilla, residuos y exceso de finos.
- Plantas seleccionadas, material de propagación y herramientas de poda y establecimiento.
- Consorcio microbiano con ficha técnica, identificación, lote, instrucciones de uso y condiciones de almacenamiento.
- Herramientas de obra y control: nivel, cinta, manguera de nivel o equipo topográfico, palas, carretillas y recipientes de aforo.
- Elementos de protección personal: botas, guantes, gafas, ropa de trabajo y protección respiratoria cuando exista polvo o aerosoles.
- Formatos de inspección, aforo, limpieza, poda, inoculación, muestreo, fallas y registro fotográfico.

4.3. Componentes o partes principales

Componente	Función
Red de aguas grises	Recoge las fuentes definidas y evita conexiones de inodoros y aguas lluvias.
Trampa de grasas y sólidos	Retiene flotantes y sedimentables; protege el lecho y debe permitir limpieza.
Conducción al humedal	Une el pretratamiento con el ingreso bajo. La caja de distribución es opcional según diseño.
Tubo perforado de entrada	Tramo horizontal de 0,50 m en la capa inferior que distribuye el agua en la grava gruesa.
Estructura impermeable	Contiene el agua y el medio, evitando pérdidas o infiltraciones no controladas.
Medio granular	Permite circulación, filtración y soporte de raíces y biopelícula.

Componente	Función
Macrófitas	Aportan raíces, estabilidad, superficie microbiana y valor paisajístico.
Zona y tubería de salida	Recogen el efluente sin arrastre de grava ni raíces.
Caja de salida y control	Recibe el agua y regula la altura interna mediante el standpipe.
Destino final	Conduce el efluente a la alternativa autorizada, con punto de inspección y muestreo.

4.4. Rangos de costos o criterios para estimarlos

No se fija un precio único porque los valores cambian según acceso, excavación, transporte de grava, tipo de impermeabilización, obra civil, análisis de laboratorio y escala. El presupuesto debe separar inversión inicial, operación anual y contingencias.

- Diagnóstico, aforos, caracterización, diseño, planos y asistencia técnica.
- Separación de redes, trampa de grasas, tuberías, caja de salida y control de nivel.
- Excavación o estructura sobre el terreno, concreto, mampostería, geomembrana, geotextil y drenajes externos.
- Compra, lavado, clasificación, transporte y colocación del medio granular.
- Plantas, transporte, siembra, reposición y manejo de biomasa.
- Consorcios microbianos, almacenamiento, aplicación y seguimiento.
- Capacitación, formatos, aforos, muestreos y análisis de laboratorio.
- Limpieza, poda, reparaciones, reemplazo localizado de medio y atención de fallas.

Los indicadores económicos recomendados son: costo total por sistema, costo por metro cuadrado de lecho, costo anual de operación, costo por metro cúbico tratado y variación frente al manejo anterior. Las referencias externas deben actualizarse con cotizaciones del Valle del Cauca.

4.5. Variaciones o tipos de la tecnología

Las dos variantes constructivas principales del modelo FPAA conservan la misma lógica hidráulica:

- **Variante enterrada:** excavada y revestida con geomembrana de alto calibre o construida en concreto. Se integra mejor al terreno, pero exige excavación, protección de la membrana y control del nivel freático.
- **Variante no enterrada a nivel del suelo:** el lecho se construye sobre el terreno en mampostería o concreto, sin tapa y con las plantas en la parte superior. Es útil donde excavar es difícil, el suelo es rocoso, existe nivel freático alto o el espacio condiciona la obra.

- **Caja de distribución opcional:** se incorpora cuando se requiere repartir el flujo mediante varias salidas o facilitar limpieza e inspección.
- **Flujo subsuperficial vertical:** alimentación superior intermitente y drenaje inferior, con mayor intercambio de oxígeno.
- **Sistema híbrido:** combinación de celdas verticales y horizontales para ampliar objetivos de tratamiento.
- **Flujo superficial e islas flotantes:** alternativas con lámina de agua visible, normalmente para otros contextos o como pulimento.



Figura 3. Referencia territorial de una estructura no enterrada en mampostería/concreto; el lecho final permanece abierto y plantado.

Modelo base FPAA: flujo subsuperficial horizontal; los siguientes son tipos alternativos

Tipos alternativos de fitodepuradores

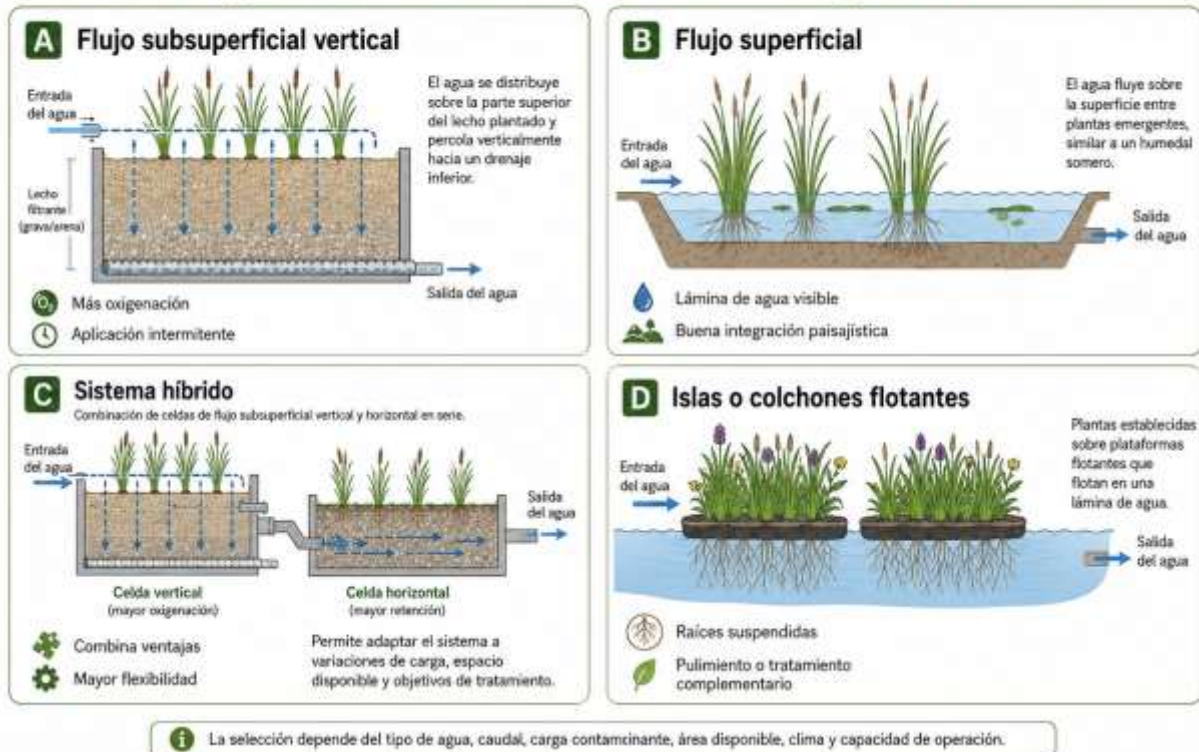


Figura 4. Tipos alternativos de fitodepuradores que pueden considerarse con justificación técnica.

5. FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1. Puesta en marcha

- Confirmar que inodoros y aguas lluvias no descarguen al sistema.
- Retirar residuos de construcción y limpiar tuberías y trampa.
- Comprobar impermeabilidad, continuidad de cotas y ausencia de contrapendientes.
- Verificar que el tubo perforado esté firme, conectado y cubierto por la grava definida.
- Llenar lentamente hasta el nivel inicial y ajustar el standpipe sin generar agua superficial.
- Establecer las plantas y reponer las que no sobrevivan al trasplante.
- Aplicar la bioactivación inicial conforme al protocolo y evitar sustancias incompatibles.
- Iniciar la carga de forma gradual y observar caudal, olor, nivel, plantas y efluente.
- Tomar aforos, muestras y fotografías de línea base; asignar responsable y calendario.

5.2. Rutinas de operación

Frecuencia	Actividad
Diaria o frecuente	Observar reboses, retorno, flujo superficial, olores, fugas, daños y residuos dentro del lecho.
Semanal	Revisar trampa, bocas, tuberías, nivel, standpipe, plantas y destino final.
Mensual	Aforar caudal, limpiar la trampa cuando corresponda y completar registro fotográfico.
Trimestral	Revisar asentamientos, muros, geomembrana visible, raíces invasoras, cobertura y necesidad de poda.
Según protocolo	Aplicar refuerzo microbiano, registrando lote, dosis, motivo y respuesta.
Semestral o según plan	Muestrear agua, revisar resultados, costos, apropiación y ajustes.
Anual	Evaluación integral estructural, hidráulica, ambiental y social.

5.3. Mantenimiento preventivo y correctivo

Mantenimiento preventivo:

- Mantener la trampa por debajo de su capacidad crítica y retirar grasas y sólidos sin empujarlos hacia el humedal.
- Inspeccionar tuberías, tapas, uniones, muros, geomembrana y drenajes externos.
- Conservar el standpipe accesible y registrar cualquier cambio de altura.
- Podar material seco, controlar expansión y reponer plantas sin bloquear las bocas.
- Mantener el cronograma de inoculación y verificar almacenamiento y vigencia del producto.
- Evitar descargas de químicos concentrados y promover detergentes compatibles con sistemas biológicos.

Mantenimiento correctivo:

- Ante obstrucción, reducir temporalmente la carga, limpiar el pretratamiento y destapar desde puntos registrables.
- Ante flujo superficial, revisar nivel de salida, colmatación, caudal y tuberías; no cubrir el problema con más grava.
- Ante fuga, suspender la carga y reparar concreto, uniones o geomembrana antes de reiniciar.
- Ante choque químico o pérdida de actividad, identificar la sustancia, renovar parcialmente el agua y aplicar reinoculación conforme al protocolo.

- Ante mortalidad vegetal, revisar nivel, toxicidad, sombra y adaptación antes de reponer.
- Ante colmatación localizada, retirar y reemplazar únicamente el sector afectado, documentando volumen y causa.

5.4. Señales de buen funcionamiento

- ✓ Flujo acorde con los hábitos de la vivienda, sin retorno ni rebose.
- ✓ Agua circulando bajo la superficie, sin charcos persistentes.
- ✓ Olor bajo, sin putrefacción intensa.
- ✓ Plantas vigorosas, cobertura equilibrada y raíces sin bloquear las salidas.
- ✓ Caja de salida accesible, nivel estable y descarga sin arrastre de grava.
- ✓ Trampa mantenida y sin paso visible de grasas o sólidos flotantes.
- ✓ Registros actualizados y tendencia de mejora en los parámetros de agua.

5.5. Señales de falla o deterioro

- Agua sobre la superficie, rebose, retorno a la vivienda o descarga intermitente sin explicación.
- Olor putrefacto intenso, coloración anormal o presencia persistente de espuma.
- Grasas o sólidos visibles dentro del lecho.
- Plantas amarillas, muertas, excesivamente dominantes o con raíces que bloquean tuberías.
- Grietas, asentamientos, pérdida de agua o humedad externa en muros y taludes.
- Mosquitos asociados a láminas de agua expuestas.
- Falta de limpieza, ausencia de inoculación prevista o registros incompletos.
- Uso del efluente en actividades no autorizadas o sin medidas de seguridad.

6. FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO, RIESGOS Y ERRORES FRECUENTES

6.1. Factores críticos de éxito

- Separación efectiva de aguas grises, aguas negras y aguas lluvias.
- Diseño sustentado en aforos, carga, topografía, suelo, clima y destino final.
- Pretratamiento accesible, suficiente y mantenido.

- Impermeabilización verificada y protegida durante la construcción.
- Medio granular lavado, clasificado y con adecuada conductividad hidráulica.
- Ingreso bajo mediante tubo perforado y salida regulada con standpipe.
- Plantas adaptadas y manejadas, sin depender de una sola especie.
- Protocolo microbiano con cepas o consorcios adecuados, trazabilidad y seguimiento.
- Responsable capacitado, registros completos y respuesta temprana ante alertas.
- Destino del efluente definido y cumplimiento de requisitos ambientales.

6.2. Riesgos y medidas de prevención

Riesgo	Señal o causa	Medida preventiva	Respuesta inmediata
Colmatación	Grasas, sólidos, finos o raíces; flujo superficial	Trampa funcional, grava lavada e inspección	Reducir carga, limpiar, destapar y reemplazar sector afectado.
Rebose o retorno	Exceso de caudal, salida bloqueada o contrapendiente	Aforos, cotas verificadas y caja accesible	Suspender cargas críticas, destapar y ajustar nivel.
Fuga o infiltración	Geomembrana perforada, grietas o uniones defectuosas	Prueba de estanqueidad y protección	Suspender operación, localizar y reparar.
Choque tóxico	Cloro, solventes, plaguicidas, pinturas o aceites	Educación y control de productos	Interrumpir aporte, renovar agua y aplicar protocolo de recuperación.
Pérdida microbiana	Parada prolongada, limpieza intensa o tóxicos	Bioactivación y seguimiento	Reinocular con consorcio trazable y carga gradual.
Vectores	Agua superficial o cajas abiertas	Flujo subsuperficial y tapas seguras	Eliminar encharcamiento y restablecer nivel.
Mortalidad vegetal	Nivel inadecuado, toxicidad o especie no adaptada	Selección local y establecimiento gradual	Corregir causa y reponer especie.
Riesgo sanitario por efluente	Contacto, riego no autorizado o aerosolización	Destino definido, señalización y control	Suspender uso y verificar calidad y autorización.
Daño estructural	Asentamientos, raíces, impactos o mala obra	Diseño, refuerzo e inspección	Aislar, reparar y comprobar estanqueidad.

6.3. Errores frecuentes

- Construir el modelo 4,0 × 0,90 m sin medir caudal ni verificar la población o actividad atendida.
- Conectar inodoros, aguas lluvias o efluentes con químicos y grasas excesivas.
- Omitir la trampa de grasas o construirla sin acceso para limpieza.
- Instalar la salida de la trampa y la entrada al humedal con contrapendientes o a cotas incompatibles.
- Ubicar el ingreso únicamente en la superficie en vez de descargar en la grava gruesa mediante el tramo perforado.
- Usar arena sucia, material con arcilla, grava sin lavar o capas mezcladas.
- Dañar la geomembrana durante el llenado o no efectuar prueba de estanqueidad.
- Dejar el standpipe inaccesible o modificarlo sin registro.
- Limitar la vegetación al vetiver sin evaluar otras especies y condiciones locales.
- Aplicar microorganismos de origen desconocido o repetir dosis sin protocolo ni verificación.
- Interpretar la presencia de plantas como evidencia suficiente de depuración.
- Descargar o reutilizar el efluente sin conocer su calidad y sin revisar la normativa aplicable.

7. FUENTES Y REFERENCIAS

7.1. Fuentes institucionales

- Fondo Participativo para la Acción Ambiental - FPAA-CVC. (2025). Cartilla Gestión del Conocimiento: tecnologías y prácticas ecológicas, 2.^a edición. Sección fitodepuradores-humedales artificiales.
- FPAA-CVC. Humedales Artificiales - Fitodepuradores. Documento técnico y secuencia de implementación de la experiencia territorial.
- CVC, Grupo Gestión Ambiental y Calidad. Fitodepuradores - Gestión del conocimiento. Revisión preliminar, versión 006, 2024.
- Registros fotográficos, planos, fichas técnicas, visitas y aprendizajes de proyectos FPAA en el Valle del Cauca.

7.2. Fuentes técnicas complementarias

- United States Environmental Protection Agency - EPA. (2000). Wastewater Technology Fact Sheet: Wetlands - Subsurface Flow. EPA 832-F-00-023.
- United States Environmental Protection Agency - EPA. Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). RAS, Título E: Tratamiento de Aguas Residuales.
- Konnerup, D.; Koottatep, T.; Brix, H. (2009). Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia. Ecological Engineering, 35(2), 248-257.
- Shao, Y.; Pei, H.; Hu, W.; Chanway, C. P.; Meng, P.; Ji, Y.; Li, Z. (2014). Bioaugmentation in lab scale constructed wetland microcosms for treating polluted river water and domestic wastewater in northern China. International Biodeterioration & Biodegradation.
- Estimación del balance de nitrógeno en un humedal construido subsuperficial plantado con Heliconia psittacorum para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.
- García, J.; Bayona, J. M.; Morató, J. (2004). Depuración con sistemas naturales: humedales construidos.
- Lara, J. A. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales.

7.3. Referencias normativas y criterios de aplicación

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el RAS, modificada por la Resolución 0799 de 2021 y corregida por la Resolución 0908 de 2021.
- Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, y sus modificaciones.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 2015, límites para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y alcantarillado público.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0699 de 2021, parámetros y límites para vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas al suelo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1256 de 2021, por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales.
- Normas urbanísticas y de uso del suelo del POT, PBOT o EOT municipal; requisitos de construcción, servidumbres y protección de fuentes.

- Requisitos, permisos, registros y lineamientos vigentes de la CVC según el tipo de predio, escala, receptor, infiltración o uso del efluente.
- La vigencia y aplicabilidad de cada norma debe verificarse antes de diseñar, construir, descargar o utilizar el agua tratada.

APOYO GRÁFICO SUGERIDO

1. Fotografías clave

- Foto 1: fuentes de aguas grises y separación de redes en la vivienda.
- Foto 2: trampa de grasas abierta, nivel de grasas y condición de entradas y salidas.
- Foto 3: excavación, impermeabilización y prueba de estanqueidad.
- Foto 4: tubo perforado de 0,50 m antes de cubrirlo con grava gruesa.
- Foto 5: capas del medio granular y medición de profundidad.
- Foto 6: siembra y registro de especies y densidad.
- Foto 7: caja de salida, standpipe y medición del nivel.
- Foto 8: descarga final, punto de muestreo y destino autorizado.
- Foto 9: señales de falla y acción correctiva antes/después.

2. Esquemas, croquis o planos

- Plano de planta con vivienda, trampa, humedal, caja de salida, cotas y destino final.
- Corte longitudinal con granulometría, tubería perforada, raíces, nivel y standpipe.
- Corte transversal de las variantes enterrada y no enterrada sobre el terreno.
- Diagrama de operación: separación → pretratamiento → lecho → control de nivel → descarga/uso.
- Diagrama del protocolo microbiano: activación inicial → refuerzo programado → seguimiento → acción correctiva.

3. Tablas o infografías útiles

- Tabla de aforos por fuente y estimación del caudal diario.
- Tabla comparativa de plantas por disponibilidad, raíces, tolerancia, mantenimiento e invasividad.
- Matriz de granulometría, volumen y procedencia de materiales.
- Infografía de señales de buen funcionamiento, alertas y respuesta inmediata.
- Formato de limpieza de trampa, standpipe, poda, inoculación y muestreo.
- Cuadro de resultados de calidad de agua: línea base, entrada, salida, meta y norma aplicable.