



Metodología participativa para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos que promueva alianzas entre comunidades e instituciones



Metodología participativa para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos que promueva alianzas entre comunidades e instituciones

Desarrollo de Estrategias para el Manejo de Aguas Residuales en Asentamientos Periurbanos, con Enfoques de Sostenibilidad y Economía Circular, en la Cuenca del Río Alto Lebrija.

Metodología participativa para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos que promueva alianzas entre comunidades e instituciones

Desarrollo de Estrategias para el Manejo de Aguas Residuales en Asentamientos Periurbanos, con Enfoques de Sostenibilidad y Economía Circular, en la Cuenca del Río Alto Lebrija.

Edgar R. Oviedo, Isabel C. Domínguez, Jonathan Soto, Juan C. Aceros, Jesús A. Trujillo, Laura Peña

Convocatoria de la Asignación para la Ciencia, Tecnología e Innovación-Ambiental del Sistema General de Regalías para la Conformación de un Listado de Propuestas de Proyecto Elegibles de Investigación, Desarrollo e Innovación para el Ambiente y el Desarrollo Sostenible del País

Universidad Industrial de Santander

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP (amb)

Bucaramanga, Santander

2026

Información de publicación

Este manual fue preparado en el marco del proyecto *Desarrollo de Estrategias para el Manejo de Aguas Residuales en Asentamientos Periurbanos, con Enfoques de Sostenibilidad y Economía Circular, en la Cuenca del Río Alto Lebrija*, como parte del cumplimiento del Objetivo 2: Desarrollar herramientas validadas para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos.

Grupos de Investigación involucrados

Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH)

Observatorio de Desarrollo Humano Sostenible (ORDHS)

Financiación:

Sistema General de Regalías

Convocatoria de la Asignación para la Ciencia Tecnología e Innovación-Ambiental del Sistema General de Regalías para la Conformación de un Listado de Propuestas de Proyecto Elegibles de Investigación, Desarrollo e Innovación para el Ambiente y el Desarrollo Sostenible del País.

Fotografía de Portada:

Tomada por el equipo de investigación

Diseño:

Laura Villarreal

Agradecimientos:

Los autores le agradecen a todas las personas que hicieron posible la elaboración de este material. Un sincero agradecimiento a las personas de las comunidades de Miradores de la UIS, El Porvenir, Los Cuadros y Los Santos Bajos (Municipio de Bucaramanga) que se implicaron en la validación de la metodología presentada aquí. De igual forma, un agradecimiento a las instituciones con las que se socializó y validó esta guía.

El proceso que alimenta este material fue posible gracias al trabajo comprometido de un equipo conformado por profesores y estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, y profesionales del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP. Se efectuó con recursos del Sistema General de Regalías. Deseamos agradecer especialmente a Ángel Alfonso Sepúlveda Hernández, Carlos Madera y Sofía Badillo por sus valiosos aportes al proyecto.

Para citar este documento

Oviedo-Ocaña, R., Domínguez, I, Soto, J., Aceros, J.C., Álvarez Trujillo, J. Peña Rodríguez, L. (2025). *Metodología participativa para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos que promueva alianzas entre comunidades e instituciones*. Universidad Industrial de Santander y Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.

CONTENIDO

Introducción	1
1. Objeto y aplicación de la metodología participativa	3
2. Marco legal	4
3. Metodología participativa para la selección de tecnologías en Sistemas Descentralizados de Tratamientos de Aguas Residuales domésticas en asentamientos humanos no planificados	8
3.1 Principios orientadores	8
3.2 Diseño de la metodología	9
4. Bloque técnico-ambiental-económico de la herramienta de selección	11
4.1 FASE I - Contexto de decisión	11
4.1.1 Actividades tipo I	12
4.1.2 Actividades tipo P	13
4.2 FASE II - Niveles superiores de decisión	20
4.2.1 Actividades tipo P	25
4.3 FASE III - Estudio de bondades y consecuencias a nivel de prefactibilidad	27
4.3.1 Actividades tipo I - Prefactibilidad técnica	29
4.3.2 Actividades tipo P - Prefactibilidad técnica	30
4.3.3 Actividades tipo P - Prefactibilidad económica	38

CONTENIDO

5. Bloque participativo de la herramienta de selección	46
5.1 FASE I - Aprendizaje participativo	47
5.1.1 Actividades tipo I	47
5.1.2 Actividades tipo S	48
5.2 FASE II - Foro de selección participativa del Sistema Descentralizado de Tratamiento de Aguas Residuales para el asentamiento	52
5.2.1 Actividades tipo I	53
5.2.2 Actividades tipo S	53
5.3 FASE III - Divulgación de decisiones	54
5.3.1 Actividades tipo S	54
Referencias	57
Anexos	61

Lista de Anexos

Anexo A. Ejemplo de aplicación de la metodología Fuzzy-Topsis _____	AI
Anexo B. Ecuaciones para el predimensionamiento de las unidades operacionales _____	BI
Anexo C. Modelo de la encuesta de Disponibilidad a Pagar _____	CI
Anexo D. Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo I _____	DI
Anexo E. Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo II _____	EI
Anexo F. Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo III _____	FI
Anexo G. Protocolo del Foro de Selección Participativa _____	GI
Anexo H. Protocolo del Taller de Divulgación de Decisiones _____	HI

Lista de Tablas

Tabla 1. Normativas relacionadas con la implementación de soluciones al tratamiento de agua y saneamiento básico en Colombia y de asentamientos humanos _____	5
Tabla 2. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con nivel de tratamiento secundario y potencial de uso en asentamientos _____	14
Tabla 3. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con nivel de tratamiento terciario y potencial de uso en asentamientos _____	15
Tabla 4. Tipologías de asentamientos humanos no planificados presentes en el Área Metropolitana Bucaramanga _____	18
Tabla 5. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales sugeridos acordes con la tipología del asentamiento _____	18
Tabla 6. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales extensivos e intensivos con potencial de uso en función del área disponible _____	19
Tabla 7. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con y sin requerimientos de energía _____	20
Tabla 8. Criterios y subcriterios considerados para la selección de un Sistema Descentralizado de Tratamiento de AR en asentamientos humanos no planificados _____	23
Tabla 9. Matriz tradicional de evaluación de alternativas _____	26
Tabla 10. Valores utilizados para la reclasificación de ráster para la selección de sitio utilizando análisis espacial multicriterio _____	31
Tabla 11. Factores pico para caudales de tratamiento de Aguas Residuales _____	34
Tabla 12. Caudales de Diseño para el Tratamiento de Aguas Residuales para caudales superiores a 30 L/s. _____	35
Tabla 13. Alternativas con nivel de tratamiento con potencial de uso acorde con el nivel freático _____	36
Tabla 14. Alternativas con nivel de tratamiento secundario considerando la pendiente del terreno _____	37
Tabla 15. Personal recomendado y cantidad requerida junto con insumos químicos para la operación y mantenimiento de un sistema descentralizado de aguas residuales acorde con la tecnología utilizada _____	43
Tabla 16. Directorio del grupo motor _____	50
Tabla 17. Plan de trabajo del componente social _____	51

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología participativa de selección de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con potencial uso para asentamientos humanos no planificados _____	11
Figura 2. Fase I: contexto de decisión para la selección de alternativas con potencial uso en asentamientos humanos no planificados _____	12
Figura 3. Flujograma de la Fase II correspondiente a los niveles superiores de decisión _____	21
Figura 4. Fase III: nivel de prefactibilidad técnica de las alternativas _____	29
Figura 5. Fase III: nivel de prefactibilidad económica de las alternativas _____	39
Figura 6. Flujo del Bloque Participativo para la selección de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales en asentamientos humanos no planificados _____	47

Lista de Fotografías

Fotografía 1. Dinamizador ofrece realimentación al grupo motor, utilizando material didáctico _____	52
Fotografía 2. Grupo motor construyendo trenes de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas usando material didáctico con el apoyo de dos dinamizadores _____	52
Fotografía 3. Integrante del grupo motor expone a sus compañeros/as el resultado de una actividad sobre la complejidad de operación y mantenimiento tecnologías de saneamiento _____	53
Fotografía 4. Miembros del grupo motor realizando el proceso de votación individual mediante tarjetas de selección impresas _____	55
Fotografía 5 Miembros del grupo motor ensayan la actividad de divulgación comunitaria de decisiones _____	56
Fotografía 6. Divulgación comunitaria de decisiones liderado por el grupo motor _____	57

Introducción

Aproximadamente el 55% de la población mundial tienen problemas relacionados con saneamiento básico (United Nations, 2019), y al menos el 80% de esta población vierte el agua residual (AR) a fuentes hídricas sin tratamiento (Hafeez et al., 2021; WWAP, 2017). Los países en desarrollo son los más afectados por el rápido crecimiento de la población, migración a zonas urbanas, carencia en infraestructura de saneamiento y desarrollo económico limitado (Kooottatep et al., 2020). Esta situación plantea desafíos importantes para el cumplimiento de la meta 6.3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) seis, centrada en la reducción de vertimientos (United Nations, 2014), especialmente en áreas con asentamientos humanos no planificados ubicados en la zona de riberas y laderas con amenaza de deslizamiento.

Los asentamientos humanos no planificados son denominados, acorde con la Ley 2044 de 2020 de la República de Colombia, como asentamientos sin un reconocimiento legal que se caracterizan, entre otros aspectos, por tener acceso limitado a agua y saneamiento básico (Chirisa et al., 2017; Spuhler et al., 2020). Pese a esto, la población de los asentamientos generalmente actúa de manera colectiva para solventar estas necesidades básicas, lo que resulta en el desarrollo de sistemas artesanales de recolección y transporte de AR que, generalmente, no cumplen con las especificaciones técnicas estipuladas en las normas de saneamiento. Esto conlleva que estos sistemas funcionen de manera inadecuada, favoreciendo la aparición de enfermedades en las poblaciones humanas y generando perjuicios económicos y ambientales (Valdés, 2017).

En el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), se estimó que en 2013 se encontraban 251 asentamientos humanos no reconocidos con una población aproximada de 230,000 habitantes. Los mismos se caracterizan por

contar con infraestructura de saneamiento precaria, carecer de reconocimiento formal y con potencial de afectar los servicios ecosistémicos de las cuencas hidrográficas por vertimientos de AR doméstica no tratada. Teniendo en cuenta la situación de saneamiento en los asentamientos no planificados, es fundamental el desarrollo de lineamientos técnicos, herramientas y guías que contribuyan al proceso de toma de decisiones sobre el tipo de tecnología de tratamiento de AR para minimizar el impacto sobre las cuencas receptoras. Lo anterior, en concordancia con lo planteado en el artículo 49 de la Constitución Política de Colombia, según el cual “corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de servicios de salud a los habitantes y de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad”, lo que también faculta el uso de soluciones transitorias de saneamiento (Resolución 948 de 2021).

Como estrategia convencional de solución, los sistemas centralizados (SC) son utilizados para solventar las dificultades de saneamiento en asentamientos humanos no planificados (Andersson et al., 2016, Wilderer et al., 2000). Sin embargo, estos sistemas presentan barreras para su implementación por su limitada aceptación social, altos costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento (Geetha Varma et al., 2022), así como dificultades para la conexión de los sistemas de recolección de AR de los asentamientos al sistema de alcantarillado de la ciudad (p.ej., desniveles o largas distancias). En contraste, los sistemas descentralizados de tratamiento de agua residual (SDTAR) son económicamente viables, socialmente aceptables e institucionalmente aplicables (Spuhler et al., 2018, 2020). Además, los SDTAR están alineados a algunos de los ODS, especialmente cuando su implementación garantiza la participación de las comunidades y el uso eficiente de recursos (United Nations, 2014).

La selección de un sistema de tratamiento generalmente considera aspectos técnicos y/o económicos que conllevan a que el sistema propuesto probablemente no sea adecuado para un determinado contexto, lo que afecta su sostenibilidad (Gregory et al., 2012; Spuhler et al., 2018). Por tanto, se requiere una metodología, en el marco del saneamiento sostenible, que contemple la dimensión técnica, ambiental, social y económica, así como la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones (Burgos et al., 2011; Carvalho & Netto, 2023; Hosseini et al., 2023), haciendo un análisis detallado de las alternativas de tratamiento de AR.

El proceso de toma de decisiones estructurado (SDA, por sus siglas en inglés) es un proceso sistémico que se ejecuta en una secuencia lógica de actividades que ayudan a identificar, evaluar y seleccionar la mejor opción entre varias alternativas (Gregory et al., 2012). Para esto, el SDA hace uso de herramientas del análisis multicriterio (MDCA) e involucra la participación de múltiples actores para identificar tecnologías que sean localmente apropiadas, inclusivas y sostenibles, lo que permite abordar el proceso de toma de decisiones de manera sistémica. Pese a que en la literatura se planean diferentes herramientas de selección de SDSTAR (Katukiza et al., 2010; Spuhler et al., 2018, 2020; van Buuren, 2010) su aplicabilidad depende de un contexto específico y de su flexibilidad para incorporar nuevas tecnologías.

basado en el SDA y considera aspectos locales de los asentamientos humanos no planificados con un enfoque participativo de la comunidad. En dicho proceso, las comunidades se empoderan de temas relacionados con saneamiento y tratamiento de AR, para participar en la toma de decisiones sobre las opciones tecnológicas con mayor potencial de sostenibilidad.

Esta guía se encuentra estructurada en cuatro secciones. En la primera sección se detalla el objetivo y alcance; la segunda sección abarca el marco regulatorio relacionado con tratamiento de AR, economía circular y asentamientos humanos no planificados. La tercera sección presenta la metodología participativa para la selección de SDSTAR en asentamientos humanos no planificados para que sea aplicada por las instituciones competentes. Finalmente, en la cuarta sección se presentan las referencias bibliográficas a partir de las cuales se construyó la presente guía.

En este contexto, el proyecto *“Desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos, con enfoques de sostenibilidad y economía circular, en la cuenca del río Alto Lebrija”* propone en este documento una metodología para la selección participativa de un SDSTAR en asentamientos humanos no planificados como instrumento aplicable por instituciones implicadas en proyectos de saneamiento. Esta metodología considera un proceso flexible y robusto para la selección,

01

Objetivo y aplicación de la metodología participativa

La metodología participativa para la selección de alternativas de manejo de AR en asentamientos periurbanos que promueva alianzas entre comunidades e instituciones va dirigida a profesionales de instituciones de carácter municipal o departamental encargadas de velar por el saneamiento básico de asentamientos humanos no planificados. Por tanto, presenta restricciones de uso por personas externas debido al estado de legalidad de los asentamientos. La información proporcionada en esta guía puede resultar útil para abordar de manera más adecuada cualquier decisión participativa sobre el tipo de SDTAR que pueda implementarse en un contexto particular con enfoque de sostenibilidad y economía circular.

Este documento se enfoca en la selección de SDTAR para asentamientos humanos no planificados del AMB y no contempla optimización de sistemas existentes. Por tanto, su objetivo es proporcionar elementos para que las instituciones puedan seleccionar entre un conjunto de alternativas la que mejor se adapte a un contexto, partiendo de la premisa de que una tecnología apropiada es aquella que es socialmente aceptada y sostenible ambiental y económicamente.

Es importante resaltar que la metodología propuesta no pretende ofrecer una solución universal y simplificada para abordar un problema complejo que no puede ni debe ser trivializado. Por el contrario, esta metodología requiere un análisis exhaustivo del problema para determinar en cada caso específico los condicionantes más relevantes de la decisión y las alternativas más viables. En el texto se detalla de manera minuciosa el proceso de creación del modelo de decisión que sustenta la toma de decisiones, e incluye múltiples recomendaciones tanto para su desarrollo, como para el estudio de criterios y la valoración de cada una de las alternativas en cada aspecto.

02

Marco legal

Para la aplicación de la metodología de la que trata el presente documento, es fundamental tener presente la normativa existente. Los diversos aspectos del manejo de los asentamientos humanos no planificados están reglamentados en la Ley 388 de 1997, Decreto 1077 de 2015 y Ley 2044 de 2020 donde se definen algunas características y requisitos para optar para su legalización. Además, la normativa evidencia la necesidad del tratamiento del AR para dar cumplimiento a lo estipulado en la Resolución 0631 del 2015 y Resolución 0699 de 2021. Este aspecto contribuye a la protección del recurso hídrico amparado en el CONPES 3177 de 2002, Plan de Gestión Ambiental Regional de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) (2015-2031), entre otros. Finalmente, se destaca el estímulo a la reutilización de subproductos en el marco de la economía circular, a través del CONPES 4004 de 2020. La Tabla 1 presenta un consolidado con las normativas alusivas a la protección del ambiente y los asentamientos humanos y en los cuales se sustenta esta guía.

Tabla 1. Normativas relacionadas con la implementación de soluciones al tratamiento de agua y saneamiento básico en Colombia y de asentamientos humanos.

Año	Documento	Descripción
1974	Decreto-ley 2811 de 1974	“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente” donde se muestra la relevancia económica y social de preservar los recursos naturales renovables, involucrando tanto al gobierno como a la nación en general para promover un desarrollo económico sostenible. También señala la necesidad de establecer procedimientos administrativos y estudios técnicos previos al acceso a los recursos o servicios del ecosistema, con el objetivo de generar prosperidad en la nación y ejercer un control responsable sobre su explotación.
1984	Resolución 1594 de 1984	Establece los parámetros para los diversos tratamientos de aguas de acuerdo a su uso y disposición; además era de carácter obligatorio para toda aquella actividad industrial, comercial o

Año	Documento	Descripción
		de servicios que genere AR y que fuera vertida en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público. Esta resolución es modificada por la Resolución 0631 de 2015.
1997	Ley 388 de 1997	Se enfoca en el ordenamiento territorial municipal. En el numeral 14 de esta ley, se incorpora el componente rural y se establece una clara identificación de los asentamientos, así como sus sistemas para obtener servicios de agua potable y saneamiento básico.
2002	CONPES 3177 de 2002	Determina las medidas prioritarias y directrices destinadas a la elaboración del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR). El propósito de estas medidas es fomentar la mejora de la calidad del recurso hídrico a nivel nacional.
2004	Resolución 1433 de 2004	Reglamenta los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PMSV), definiendo las competencias de las autoridades ambientales, horizonte de planificación, seguimiento y control, y medidas preventivas y sancionatorias.
2007	CONPES 3463 de 2007	Proporciona las pautas que guían la organización, el respaldo financiero y la realización de los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento con enfoque empresarial para los servicios de abastecimiento de agua, alcantarillado y gestión de residuos. Estas pautas representan la principal táctica adoptada por el Gobierno Nacional para poner en práctica su política sectorial.
2015	Resolución 0631 del 2015	“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público”. En esta resolución se establecen los parámetros de análisis y reporte de actividades industriales, comerciales o de servicios máximos permitidos que pueden ser vertidas a fuentes hídricas.
2021	Resolución 0699 de 2021	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo.
2015	Decreto 1077 de 2015	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio” se establecen los lineamientos para el reconocimiento de terrenos y la legalización urbanística de asentamientos humanos. Además, señala que, cuando no puedan alcanzarse estándares de eficiencia, cobertura y calidad en la prestación de los servicios públicos por condiciones particulares, se podrán establecer esquemas diferenciales en áreas de difícil gestión, zonas de difícil acceso y áreas de prestación con condiciones particulares. Finalmente, define un “esquema diferencial” como “un conjunto de condiciones técnicas, operativas, jurídicas, sociales y de gestión para permitir el acceso al agua apta para el consumo humano y al saneamiento básico en un área o zona determinada del suelo urbano, atendiendo a sus condiciones particulares”.

Año	Documento	Recursos
2015	Ley 1753 de 2015	Reglamenta parcialmente lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas de difícil acceso, áreas de difícil gestión y áreas de prestación.
2015	Plan de Gestión Ambiental Regional de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) (2015-2031)	Plantea la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de AR para todos los centros poblados, así como diseñar estrategias para la prevención y control de la contaminación por vertimientos domésticos en las corrientes hídricas que permitan garantizar el mantenimiento de la resiliencia y las funciones ecosistémicas.
2017	Decreto 1272 de 2017	Define los esquemas diferenciales de áreas de difícil gestión como: "aquellas áreas dentro del suelo urbano de un municipio o distrito que reciben un tratamiento de mejoramiento integral en los planes de ordenamiento territorial; o hayan sido objeto o sean susceptibles de legalización urbanística; en donde no se pueden alcanzar los estándares de eficiencia, cobertura o calidad para la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado o aseo". De otro lado, define los esquemas diferenciales con condiciones particulares como: "área de prestación de la persona prestadora en suelo urbano de un municipio o distrito que cuenta con una población urbana mayor a 25,000 y hasta 400,000 habitantes según la información censal y tenga un índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en cabecera municipal mayor al 30%".
2018	CONPES 3918 de 2018	Presenta la visión nacional hacia el año 2030, junto con un esquema de supervisión que engloba indicadores nacionales, metas cuantificables y roles institucionales. También incluye un enfoque de elección y regionalización mediante un conjunto de "metas trazadoras" que pueden impulsar progresos en los diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, incorpora un plan para reforzar la recopilación de datos estadísticos y una estrategia territorial que busca maximizar la apropiación y utilidad de los ODS, respetando la autonomía y prioridades de los gobiernos locales.
2018	Política de los Planes Departamentales de Agua de 2018	Se identifica la necesidad de mejorar la capacidad en las regiones para la planeación, estructuración y evaluación de proyectos, articulación intersectorial, implementación de asistencia técnica y otros mecanismos de apoyo a empresas prestadoras de servicios públicos y comunidades.
2018	Resolución 0844 de 2018	Destaca que los sistemas descentralizados pueden abordar las deficiencias sanitarias tanto de manera colectiva como individualmente. Estos sistemas deben considerar criterios de selección de opciones que incluyan la capacidad de pago, prácticas socioculturales, estimaciones de consumo y generación de residuos. Se hace hincapié en la importancia de una estrecha relación entre estas soluciones y la sociedad, comunidad o

Año	Documento	Recursos
		colectividad beneficiada, lo que implica la implementación de una fase participativa para elegir las alternativas adecuadas.
2019	Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales municipales (PMAR) de 2019	Resalta la formulación de estrategias para avanzar con el saneamiento de vertimientos municipales en Colombia y la priorización de inversiones en el plazo 2020-2050. Además, tiene como propósito contribuir con el objetivo establecido para el año 2030 de lograr una cobertura nacional del 68% en el tratamiento de aguas residuales.
2019	Ley 1955 de 2019	Crea los esquemas diferenciales de prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas urbanas con potencial de aplicabilidad en asentamientos humanos. Además, indica que los municipios y distritos deben asegurar la atención de las necesidades básicas de agua para consumo humano y doméstico y de saneamiento básico de los asentamientos humanos de áreas urbanas de difícil gestión.
2020	CONPES 4004 de 2020	Se propone la Política de economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de AR, con el propósito de fomentar la disponibilidad sostenible de agua a largo plazo y asegurar la entrega continua y de alta calidad de los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado. La política se alinea con la visión nacional y los ODS, implementándose por 5 años bajo el liderazgo de los Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
2020	Ley 2044 de 2020	Establece las diferencias entre los asentamientos humanos ilegales en Colombia y dispone normas de saneamiento para predios ocupados por estos asentamientos.
2021	Resolución 799 de 2021	Modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS) y proporciona elementos asociados a sistemas de abastecimiento, sistemas de alcantarillado y de tratamiento de agua residual.
2024	Decreto 1470 de 2024	Refiere a procesos de legalización, titulación y mejoramiento integral del hábitat de asentamientos informales en Colombia, priorizando la seguridad y los derechos humanos. En particular aborda entre otros aspectos, el mejoramiento integral del asentamiento, buscando el acceso a servicios públicos, infraestructura, espacio público y la reubicación de viviendas en zonas de alto riesgo.

Nota

AR: aguas residuales; CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

03

Metodología participativa para la selección de tecnologías en sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales domésticas en asentamientos humanos no planificados

3.1. Principios orientadores

La metodología tiene principios orientadores en los cuales se fundamenta para su aplicabilidad en un contexto de implementación. En este sentido, considera los siguientes supuestos:

- Se articula con disposiciones normativas e institucionales, tales como el CONPES 3177 de 2002 (DNP et al., 2002), CONPES 3918 de 2018 (DNP, 2018) y CONPES 4004 de 2020 (DNP et al., 2020), Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021) y *Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Subcuenca Río de Oro* (CDMB, 2014a).
- Es aplicable únicamente para asentamientos humanos no planificados.
- Se limita a poblaciones entre 100 y 20,000 habitantes, condición que se encuentra en la totalidad de los asentamientos del AMB, acorde con el informe del 2013 de la CDMB (CDMB, 2014b).
- Es aplicable para asentamientos con viviendas tipo 1 (p.ej., Vivienda construida en materiales definitivos y que se encuentra en la etapa de acabados; además posee una buena calidad estructural y constructiva), tipo 2 (p.ej., Vivienda construida en materiales definitivos, pero que carece de la etapa de acabados) y tipo 3 (p.ej., Vivienda en la que se evidencia la mezcla de materiales como ladrillo, concreto, madera y materiales provisionales como lonas, plásticos, tablas, láminas metálicas, etc.).
- Se asume que los costos de inversión inicial de la tecnología de tratamiento transitoria serán asumidos por el Estado u otra entidad que financie este tipo de proyectos de inversión.

3.2. Diseño de la metodología

La metodología participativa se encuentra constituida por dos bloques: *i*) Bloque técnico-ambiental-económico, donde se realiza un proceso de preselección sistemático de SDTAR que considera la incertidumbre de las tecnologías. En este bloque se aplican diferentes métodos de decisión que consideran como elemento indispensable, las características del asentamiento para definir SDTAR con potencial de aplicación; y *ii*) Bloque Participativo, que se desarrolla paralelamente al Bloque técnico-ambiental-económico, que consiste en el desarrollo de talleres de aprendizaje participativo donde la comunidad es introducida en los conceptos fundamentales de saneamiento necesarios para el desarrollo de un foro de selección participativa donde miembros de la comunidad realizan la selección de un SDTAR a partir de la información proporcionada del Bloque técnico-ambiental-económico. La Figura 1 presenta el esquema global de la herramienta de decisión para la selección de SDTAR doméstica con enfoque de economía circular y de sostenibilidad.

La aplicación de la metodología requiere del desarrollo de: *i*) Actividades Tipo I; *ii*) Actividades Tipo P; y *iii*) Actividades Tipo S. Las Actividades Tipo I (ATI) corresponden a la información requerida para que la herramienta se ejecute y son responsabilidad del usuario de la metodología. En esta actividad se encuentran los requerimientos de información sobre las características del asentamiento, selección de parámetros de diseño para el dimensionamiento de las unidades del SDTAR, estimación de costos, entre otras. Las Actividades Tipo P (ATP) son alusivas a los procedimientos que ejecuta el usuario de la herramienta para dar solución a un requerimiento. De otro lado, las Actividades Tipo S (ATS) son las correspondientes al Bloque Social y son de particular importancia por su relevancia en el proceso de toma de decisiones. En las ATS se desarrollan tres (3) talleres con la comunidad orientados a fomentar la comprensión y apropiación de conceptos relacionados con saneamiento, agua residual y tecnologías de tratamiento descentralizadas, un (1) taller en donde los participantes realizan la selección del tren de tratamiento más adecuado a su contexto, y dos (2) talleres comunitarios de divulgación de decisiones.

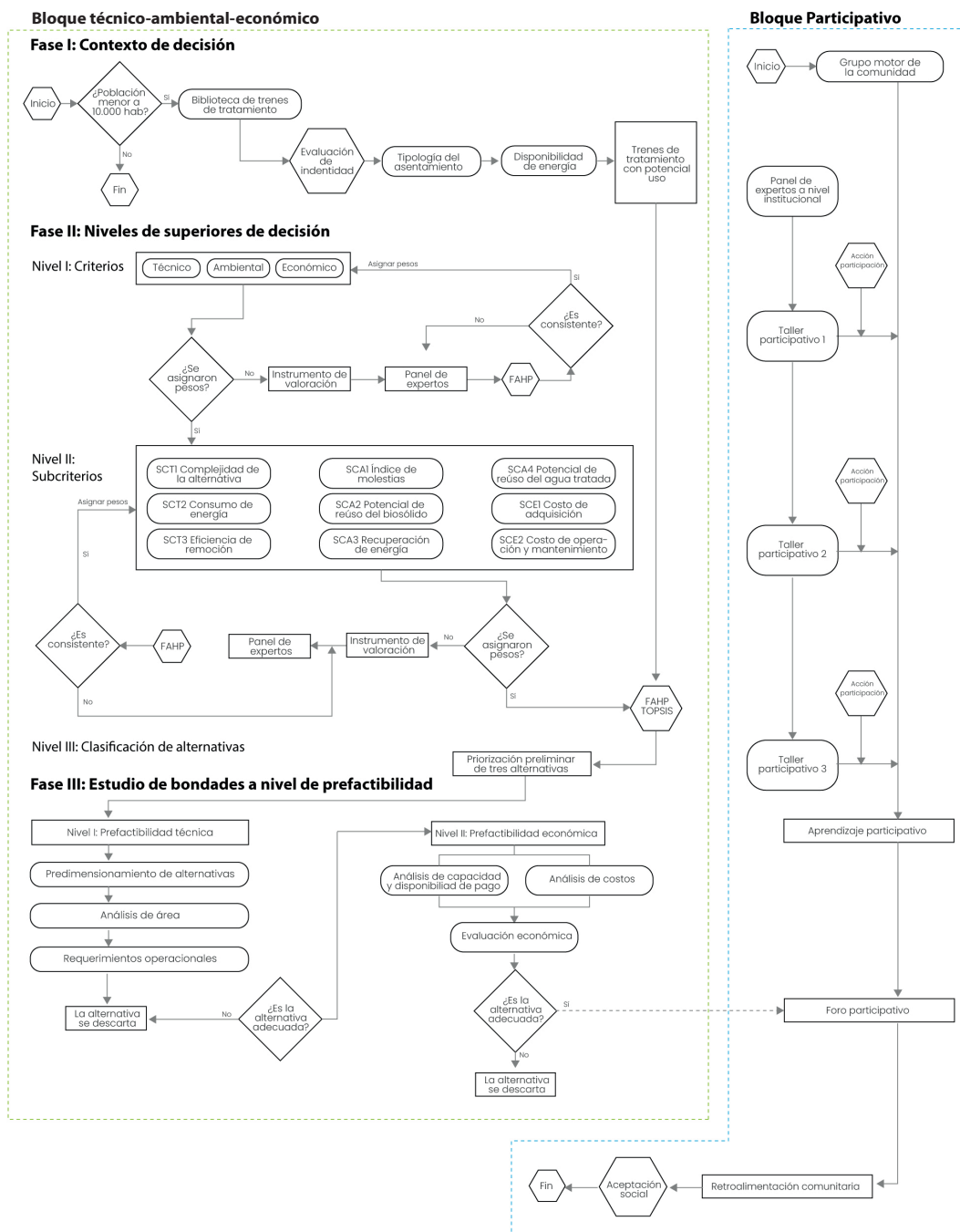


Figura 1. Metodología participativa de selección de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con potencial uso para asentamientos humanos no planificados

Nota

AHP= Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico Difuso), TOPSIS= Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Técnica de Ordenamiento por Preferencia por Similitud con la Solución Ideal), SCT=Subcriterio técnico, SCA=Subcriterio Ambiental, SCE= Subcriterio Económico

04

Bloque técnico-ambiental-económico de la herramienta de selección

4.1. FASE I – Contexto de decisión

La Fase I considera las características del asentamiento humano no planificado y es denominada como "contexto de decisión". La fase tiene como objetivo filtrar los potenciales trenes de los SDTAR que pueden ser usados acorde con el contexto del asentamiento y son datos de entrada para la ejecución de la Fase II del modelo. El proceso de filtrado está sustentado en el método de eliminación conjunta (Hwang & Yoon, 1981). La Figura 2 muestra el flujoograma de la evaluación de idoneidad de la Fase I.

Nota

Nota: SDTAR: Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales

Bloque técnico-ambiental-económico

Fase I: Contexto de decisión

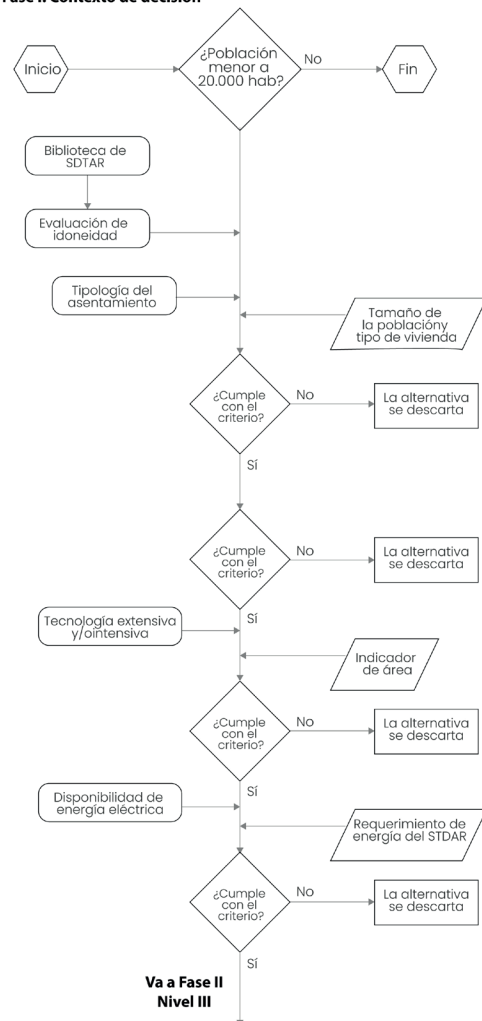


Figura 2. Fase I: Contexto de decisión para la selección de alternativas con potencial uso en asentamientos humanos no planificados

4.1.1 Actividades tipo I

La siguiente información es solicitada al usuario de la herramienta como Actividades Tipo I (ATI) para definir la tipología del asentamiento.

ATI 1. Nombre del asentamiento

ATI 2. Municipio en el que se encuentra el asentamiento

ATI 3. Número de viviendas por año en el asentamiento

Año	Número de habitantes

ATI 4. Tipo de vivienda predominante en el asentamiento actualmente [Tipo 1, 2, 3 o 4] ¹

ATI 5. Densidad poblacional por vivienda ²

ATI 6. Concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua residual doméstica generada en el asentamiento [mg/L]

¹ Para obtener esta información, es recomendable realizar una Fase de Diagnóstico previa a la implementación de la presente herramienta de selección participativa. Los tipos de vivienda presentes en el asentamiento se pueden estimar a partir de la aplicación de una encuesta a los hogares del asentamiento.

ATI 7. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) del agua residual doméstica generada en el asentamiento [mg/L]

ATI 8. El agua residual tratada será descargada a un cuerpo hídrico superficial o se prevé un uso orientado para actividades de riego (p.ej., forrajes, jardines, zonas de reserva, riego de cultivos)²

4.1.2 Actividades tipo P

El Bloque técnico-ambiental-económico inicia con el procedimiento de cribado de SDTAR a partir de las características del contexto. El objetivo del cribado de SDTAR es filtrar los trenes que realmente tienen aplicabilidad de uso considerando el contexto del asentamiento. Para ello, se requiere reducir la oferta tecnológica de SDTAR³ filtrando los trenes siguiendo el orden de: *i*) tipología del asentamiento, considerando el rango poblacional que se sugiere para su implementación en las guías propuestas por Brault et al., (2022) y CEDEX (2022), *ii*) tipo de tecnología (p.ej., extensiva o intensiva) y *iii*) disponibilidad de energía (requerimiento de energía eléctrica de SDTAR, que depende de la presencia o ausencia de este recurso en el asentamiento). Las Tabla 2 y Tabla 3 presentan los SDTAR con potencial de uso en los asentamientos. Para el cribado de los SDTAR siga los pasos metodológicos descritos en las siguientes secciones.

Tabla 2. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con nivel de tratamiento secundario y potencial de uso en asentamientos

Codificación	Trenes con nivel primario y secundario de tratamiento	
	Tratamiento primario	Tratamiento secundario
TPS1	Tanque séptico	FAFA
TPS2	NR	FAFA
TPS3	Tanque séptico	Humedal subsuperficial vertical
TPS4	Tanque séptico	Humedal subsuperficial horizontal
TPS5	Sedimentador primario	Aireación extendida
TPS6	Tanque Imhoff	FAFA
TPS7	Tanque Imhoff	Laguna de maduración
TPS8	ABR	Humedal subsuperficial horizontal
TPS9	ABR	Humedal subsuperficial vertical
TPS10	Sedimentador primario	FAFA

² Se determina a partir de la Fase de Diagnóstico, mediante encuesta y visitas a la zona de estudio.

³ La metodología cuenta con una biblioteca donde se almacena información referente a los SDTAR. Puede ser consultada en el archivo Biblioteca.xls disponible en <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/46833>

Codificación	Trenes con nivel primario y secundario de tratamiento	
	Tratamiento primario	Tratamiento secundario
TPS11	NR	SBR
TPS12	Tanque Imhoff	Humedal subsuperficial horizontal
TPS13	Tanque Imhoff	Humedal subsuperficial vertical
TPS14	Sedimentador primario	CBR
TPS15	Sedimentador primario	Filtro percolador
TPS16	ABR	FAFA
TPS17	UASB	NR
TPS18	UASB	FAFA
TPS19	UASB	Filtro percolador
TPS20	UASB	CBR
TPS21	Laguna anaerobia	Humedal subsuperficial horizontal
TPS22	Laguna anaerobia	Laguna facultativa
TPS23	UASB	Laguna de maduración

Nota

NR = No Requiere; FAFA = Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente; SBR= Secuencial Batch Reactor (Reactor Secuencial por Tandas); CBR = Contactor Biológico Rotativo; UASB = Upflow Anarebic Sludge Blanket reactor (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente); ABR: Anaerobic Baffled Reactor (Reactor Anaeróbico con Deflectores)

Tabla 3. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con nivel de tratamiento terciario y potencial de uso en asentamientos

Codificación	Trenes con nivel terciario de tratamiento		
	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
TPST1	Tanque séptico	FAFA	Humedal subsuperficial Horizontal
TPST2	Tanque séptico	FAFA	Humedal subsuperficial vertical
TPST3	Tanque séptico	FAFA	Laguna de maduración
TPST4	ABR	FAFA	Cloración
TPST5	Tanque séptico	Humedal subsuperficial horizontal	Cloración
TPST6	Tanque séptico	Humedal subsuperficial vertical	Cloración
TPST7	Tanque Imhoff	FAFA	Humedal subsuperficial vertical

Codificación	Trenes con nivel primario y secundario de tratamiento		
	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
TPST8	NR	SBR	Laguna de maduración
TPST9	NR	SBR	Cloración
TPST10	ABR	Humedal subsuperficial horizontal	Cloración
TPST11	Sedimentador primario	FAFA	Humedal subsuperficial horizontal
TPST12	Sedimentador primario	FAFA	Humedal subsuperficial vertical
TPST13	ABR	FAFA	Cloración
TPST14	Sedimentador primario	Filtro percolador	Laguna de maduración
TPST15	Sedimentador primario	Filtro percolador	Humedal subsuperficial Horizontal
TPST16	UASB	NRB	Cloración
TPST17	Sedimentador primario	CBR	Cloración
TPST18	UASB	FAFA	Cloración
TPST19	UASB	Filtro percolador	Cloración
TPST20	UASB	CBR	Cloración
TPST21	Laguna anaerobia	Laguna facultativa	Laguna de maduración
TPST22	UASB	NRB	Laguna de maduración
TPST23	Laguna anaerobia	Laguna facultativa	Laguna de maduración
TPST24	Laguna anaerobia	Humedal subsuperficial horizontal	Laguna de maduración
TPST25	Laguna anaerobia	Humedal subsuperficial vertical	Laguna de maduración

Nota

NR = No Requiere; FAFA = Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente; SBR= Secuencial Batch Reactor (Reactor Secuencial por Tandas); CBR = Contactor Biológico Rotativo; UASB = Upflow Anarebic Sludge Blanket reactor (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente); ABR: Anaerobic Baffled Reactor (Reactor Anaeróbico con Deflectores)

ATP 1. Idoneidad de los SDTAR para el tratamiento de agua residual doméstica del asentamiento

ATP 1.1 Estime la relación DBO_5/DQO del agua residual generada del asentamiento a partir de la Ecuación 1.

$$DBO_5/DQO \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

DBO_5 : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días [mg/L]

DQO : Demanda química de oxígeno [mg/L]

Si la relación DBO_5/DQO es mayor o igual a 0.4, se recomienda el uso de SDTAR biológicos. En caso contrario, las alternativas con mayor potencial serán tecnologías basadas en tratamientos fisicoquímicos que no son contempladas en la presente guía⁴.

ATP 1.2 Conteste a la pregunta: ¿La relación DBO_5/DQO es mayor o igual a 0.4?

Nota

si la respuesta es no, fin de la metodología; caso contrario, pasar el proceso ATP 2.

ATP 2. Tipología del asentamiento humano no planificado

Para determinar la tipología del asentamiento responda las preguntas presentadas a continuación y compare con lo presentado en la Tabla 4.

ATP 2.1 Calcule la tasa de aparición de nuevas viviendas en el asentamiento [%]⁵

ATP 2.2 Calcule el número de viviendas proyectadas en el asentamiento para un periodo de 25 años [Viviendas]⁶.

ATP 2.3 Calcule el número de personas proyectadas en el asentamiento para un periodo de 25 años [Hab]⁷.

⁴ La presente guía solo contempla el tratamiento de agua residual doméstica.

⁵ Se estima a partir de la metodología de cálculo de tasa de crecimiento aritmética y geométrica acorde con la Resolución 799 de 2021. Tenga presente que aquí se asume que cada vivienda corresponde a un usuario para el sistema de tratamiento.

⁶ Se estima a partir de la aplicación del método aritmético o geométrico indicado la Resolución 799 de 2021.

⁷ Se determina con el producto de ATI 7 y ATI 8.

Tabla 4. Tipologías de asentamientos humanos no planificados presentes en el Área Metropolitana Bucaramanga

Tipo de asentamiento	Características
Pequeños asentamientos	Población de 100 a 550 habitantes
Medianos asentamientos	Población de 551 a 1,100 habitantes
Grandes asentamientos	Población: 1,101 a 20,000 habitantes

ATP 2.4 Conteste a la pregunta: ¿A qué Tipología pertenece el asentamiento de estudio?

La metodología considera que no toda la oferta tecnológica de tratamiento es adecuada para su implementación en los asentamientos no planificados. Por tanto, segrega los SDTAR según su tipología tomando como elemento base la población recomendada a servir por los SDTAR en diferentes guías y/o documentos institucionales. La Tabla 5 presenta los trenes con potencial de aplicabilidad en los asentamientos no planificados.

Tabla 5. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales sugeridos acordes con la tipología del asentamiento

Tipo de asentamientos	Oferta tecnológica de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Agua Residual
Pequeños asentamientos	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS6, TPS7, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS16, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST10, TPST11, TPST12, TPST13
Medianos asentamientos	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS6, TPS7, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS12, TPS13, TPS14, TPS15, TPS16, TPS17, TPS18, TPS19, TPS20, TPS21, TPS22, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST10, TPST11, TPST12, TPST13, TPST14, TPST15, TPST16
Grandes asentamientos	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS5, TPS6, TPS7, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS12, TPS13, TPS14, TPS15, TPS16, TPS17, TPS18, TPS19, TPS20, TPS21, TPS22, TPS23, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST10, TPST11, TPST12, TPST13, TPST14, TPST15, TPST16, TPST17, TPST18, TPST19, TPST20, TPST21, TPST22, TPST23, TPST24, TPST25

Nota

Los trenes de tratamientos presentados en la tabla están definidos en la tabla 2 y 3

A partir de la información previa, siga el proceso metodológico presentado en ATP 2.5.

ATP 2.5 Filtre los SDTAR presentados en Tabla 4 según la tipología del asentamiento y lístelos a continuación:

ATP 3. Viabilidad del uso de SDTAR extensivas e intensivas

Los trenes que resulten seleccionados mediante las actividades anteriores son evaluados en términos de área disponible para determinar la viabilidad del uso de alternativas extensivas (p.ej., alto requerimiento de área, aunque menor complejidad operacional) o intensivas (p.ej., bajos requerimientos de área, pero con complejidad operacional mayor). Para esto, el área disponible para ubicar el SDTAR en el asentamiento se define a partir de información digital tipo *shapefile* donde esté: *i)* usos del suelo, *ii)* zonas con restricción ambiental o legal, *iii)* zonas de amenaza, vulnerabilidad o riesgo a remoción de masas e inundación, *iv)* nivel freático del sitio, y *v)* topografía del terreno. Cada uno de los archivos *shapefile* con su respectiva información son solapados a través de un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar las posibles áreas geográficas donde se podría localizar el SDTAR.

La metodología participativa considera un indicador que relaciona el área disponible para el SDTAR que tiene un habitante por metro cuadrado en el asentamiento (m^2/Hab) respecto al que requieren los sistemas (m^2/Hab) como mecanismo de filtrado de SDTAR. El indicador de área se presenta en la Ecuación 2.

$$I_a = \frac{HA}{Aa} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

I_a : índice de área [m^2/Hab]

HA : Número proyectado de habitantes en el asentamiento [Hab]

Aa : Área proyectada para el SDTAR [m^2]

Con el valor del índice I_a se compara el requerimiento de área respecto al que necesita un SDTAR extensivo ($\text{área} > 1.5 \text{ m}^2/\text{Hab}$). Si el I_a es menor a $1.5 \text{ m}^2/\text{Hab}$, se recomienda el uso de sistemas intensivos; en contraste si el índice es mayor a $1.5 \text{ m}^2/\text{Hab}$ es viable el uso de SDTAR extensivos e intensivos. La Tabla 6 presenta los SDTAR que son considerados como intensivos y extensivos tomando como criterio el área por habitante que requiere cada unidad operacional que constituye el tren de tratamiento.

Tabla 6. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales extensivos e intensivos con potencial de uso en función del área disponible

Tipo de tratamiento	Oferta tecnológica de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Agua Residual
Tratamientos intensivos	TPS1, TPS2, TPS6, TPS7, TPS11, TPS12, TPS15, TPS16, TPS17, TPS18, TPS19, TPS20, TPS21, TPST4, TPST9, TPST13, TPST16, TPST17, TPST18, TPST19, TPST20

Tipo de tratamiento	Oferta tecnológica de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Agua Residual
Tratamientos extensivos	TPS3, TPS4, TPS5, TPS8, TPS9, TPS10, TPS13, TPS14, TPS22, TPS23, TPS24, TPST1, TPST2, TPST3, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST11, TPST12, TPST14, TPST15, TPST21, TPST22, TPST23, TPST24, TPST25

Nota

Los trenes de tratamientos presentados en la tabla están definidos en la tabla 2 y 3

ATP 3.1 Filtre los SDTAR presentados en Tabla 6 y lístelos a continuación:

ATP 4. Viabilidad de uso de SDTAR en función de la disponibilidad de energía eléctrica

La disponibilidad de energía eléctrica en el asentamiento constituye otro filtro que se aplica únicamente a los trenes de tratamiento que, en alguna o todas sus unidades unitarias, tienen requerimientos energéticos. Bajo esta situación, si en el asentamiento no hay provisión de servicio de energía o se presentan interrupciones recurrentes en el tiempo (p.ej., suministro energético discontinuo) los trenes con dependencia energética se descartan. Para esto, se requiere recopilar información sobre la situación del asentamiento para este criterio, la cual puede ser obtenida del documento de diagnóstico del asentamiento. La Tabla 7 presenta los SDTAR con y sin requerimiento de energía. A partir de la información previa, siga el proceso metodológico presentado en la ATP 4.1.

Tabla 7. Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales con y sin requerimientos de energía

Requerimiento de energía	Oferta tecnológica de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Agua Residual
Con requerimiento de energía	TPS6, TPS12, TPS15, TPS16, TPS20, TPS21, TPST9, TPST10, TPST16, TPST18, TPST20, TPST21
Sin requerimiento de energía	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS5, TPS7, TPS13, TPS14, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS17, TPS18, TPS19, TPS22, TPS23, TPS24, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST11, TPST12, TPST13, TPST14, TPST15, TPST17, TPST19, TPST22, TPST23, TPST24, TPST25, TPST26, TPST27, TPST28

Nota

Los trenes de tratamientos presentados en la tabla están definidos en la tabla 2 y 3

ATP 4.1 Filtre los SDTAR presentados en la Tabla 7 según la disponibilidad de energía en el asentamiento y lístelos a continuación:

4.2. FASE II – Niveles superiores de decisión

La Fase II “niveles superiores de decisión” está conformada por los niveles de determinación de criterios y subcriterios, y de preselección de alternativas con un enfoque multicriterio (Ver Figura 3). En ambos casos, la metodología participativa considera a los criterios y subcriterios como “no negociables”, es decir, son elementos indispensables para la selección de un SDTAR y han sido aplicados y/o sugeridos en herramientas desarrolladas para países desarrollados y en desarrollo.

Fase II: Niveles de superiores de decisión

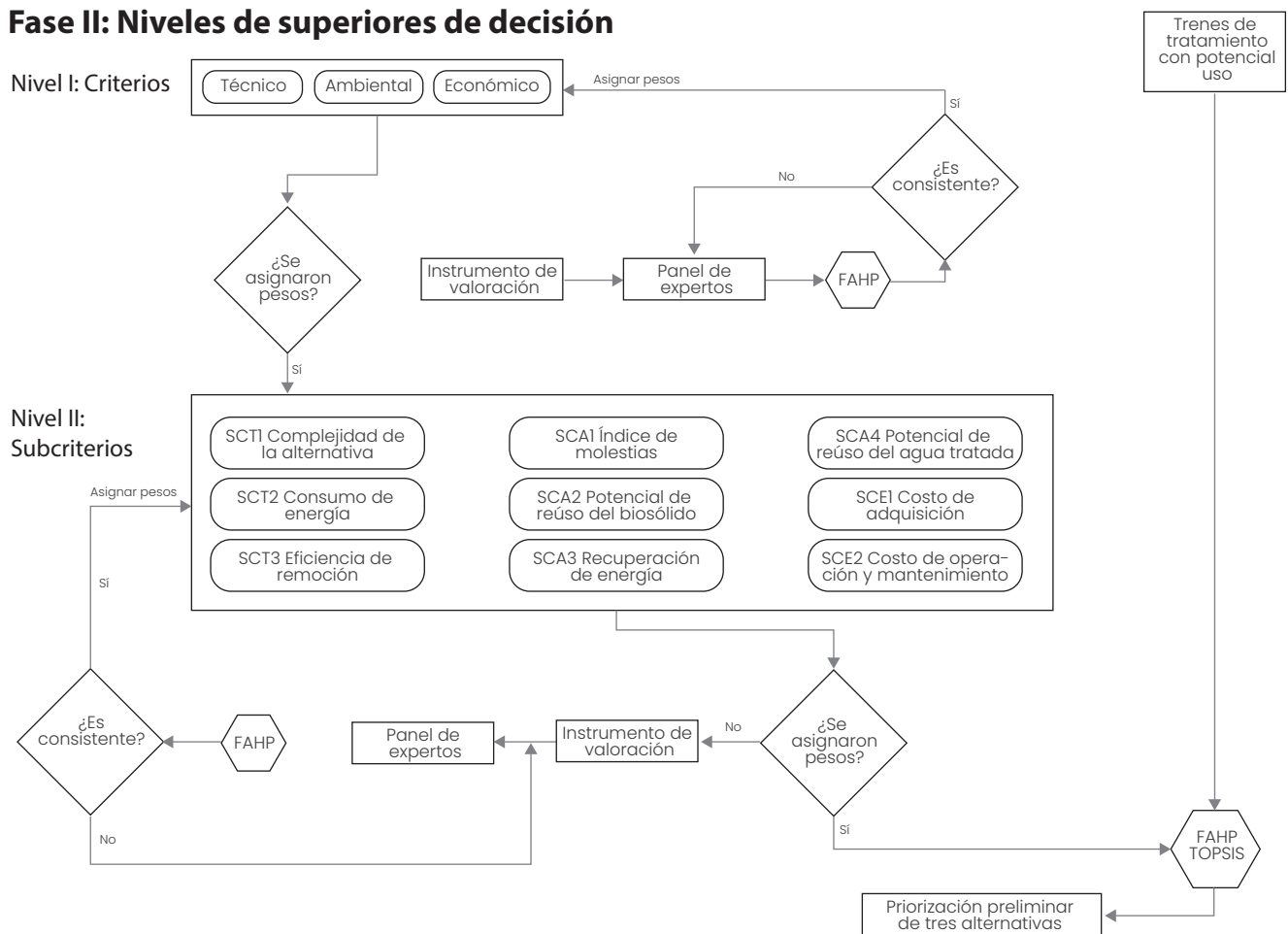


Figura 3. Flujograma de la Fase II correspondiente a los niveles superiores de decisión

Nota

AHP= Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico Difuso), TOPSIS= Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Técnica de Ordenamiento por Preferencia por Similitud con la Solución Ideal), SCT=Subcriterio técnico, SCA=Subcriterio Ambiental, SCE= Subcriterio Económico

Los criterios que se encuentran en el primer nivel incluyen las dimensiones técnica, ambiental y económica. Estos criterios son considerados por su relevancia para contribuir al saneamiento sostenible (Spuhler et al., 2018, 2020). En la Fase II no se considera la dimensión política debido a que el objetivo de la metodología está articulado a normativas como CONPES 3177 de 2002 (DNP et al., 2002), CONPES 3918 de 2018 (DNP, 2018) y CONPES 4004 de 2020 (DNP et al., 2020), Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) y Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021). Por tanto, las alternativas consideradas están alineadas con el marco legal y el efecto del criterio es mínimo en el proceso de toma de decisiones (Gregory et al., 2012).

La Tabla 8 presenta el consolidado de los criterios y subcriterios que utiliza la metodología participativa, incluyendo su descripción, función de deseabilidad (p. ej., objetivo a partir de su descripción), tipología y su respectivo peso porcentual. Estos criterios fueron obtenidos a partir de una revisión sistemática de literatura, aplicando la técnica PRISMA y consultando bases de datos científicas reconocidas como Scopus®, Web of Science® y Scielo®, así como literatura gris de fuentes institucionales internacionales. En total, se analizaron 39 documentos que referencian directa o indirectamente criterios relevantes para la selección de sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales (SDTAR), los cuales sirvieron de base para estructurar el marco de evaluación presentado.

Tabla 8. Criterios y subcriterios considerados para la selección de un Sistema Descentralizado de Tratamiento de Agua Residual en asentamientos humanos no planificados

Subcriterio	Descripción	Objetivo del criterio	Tipo de medición	Escala de medición*	Peso (%)
TÉCNICO					
SCT1. Complejidad técnica del tren de tratamiento	Se refiere al nivel de sofisticación y diversidad funcional de una alternativa de tratamiento, que puede requerir personal especializado para su manejo. En este contexto, la alternativa más deseable debe tener una complejidad baja al tiempo que garantiza la eficiencia y la eficacia.	Minimizar (menos, es más)	Cualitativa ordinal	La calificación se otorga así: - [1,1,2] si el tren no necesita personal profesional especializado y equipos mecánicos (bajo) - [1,2,3] si el tren necesita personal con nivel de formación técnico o tecnológico y equipos mecánicos (medio) - [3,4,5] si el tren necesita personal profesional especializado y equipos mecánicos (alto)	39.7
SCT2. Consumo de energía	Las limitaciones en el suministro de energía eléctrica pueden restringir la aplicabilidad de SDTAR. Por ello, la alternativa más deseable es la que requiere menos energía.	Minimizar (menos, es más)	Cuantitativa (Los datos de cada tren se presentan en el archivo Bibliotecca.xls)	Rango de consumo energético del tren de tratamiento medido como [kWh/habitante-año]	31.5
SCT3. Eficiencia de remoción de parámetros indicadores de contaminación	Se refiere al porcentaje de eliminación de materia orgánica y nutrientes como el nitrógeno total (NT) y el fósforo total (PT), así como a la inactivación de patógenos.	Maximizar	Cuantitativa (Los datos de cada tren se presentan en el archivo Bibliotecca.xls)	Rango de eficiencia de remoción de parámetros indicadores de contaminación de cada tren de tratamiento.	28.9
AMBIENTAL					
SCA1. Índice de afectación	Se refiere al impacto visual, oloroso y acústico de la alternativa de tratamiento. La alternativa ideal será la	Minimizar (menos, es más)	Cualitativa nominal	La calificación se otorga así: - [1,1,2] si el tren de trata-	20.5
					38.7

Subcriterio	Descripción	Objetivo del criterio	Tipo de medición	Escala de medición*	Peso (%)
ambiental con efecto directo sobre habitantes	que genere el menor índice de molestias.			miento no genera impactos de este tipo - [1,2,3] si el tren de tratamiento genera impactos de este tipo (medio) - [3,4,5] si el tren de tratamiento genera fuerte impacto (alto)	
SCA2. Potencial de reúso del biosólido	Se refiere al potencial de utilización de los lodos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales. La mejor alternativa será aquella que permita valorizar el lodo generado con la mayor cantidad de subproductos posibles.	Maximizar	Cualitativa ordinal	La calificación se otorga así: - [3,4,5] si el tren de tratamiento genera lodo con materia orgánica estabilizada (alto) - [1,2,3] si el tren de tratamiento genera lodo con materia orgánica parcialmente estabilizado (medio) - [1,1,2] si el tren de tratamiento genera lodo con materia orgánica ligeramente estabilizada (bajo)	28.5
SCA3. Recuperación de energía	Se refiere al potencial de recuperación de energía en forma de metano (CH ₄), que puede utilizarse para fines dentro del sistema de tratamiento o, en función de la cantidad producida, para abastecer a zonas interconectadas o no conectadas a la red. Por tanto, es deseable que la alternativa de tratamiento sea capaz de generar energía renovable, por lo que la mejor calificada será la que tenga mayor potencial de recuperación de energía.	Maximizar	Cuantitativa	La calificación se otorga así: - [1,1,2] si el tren de tratamiento no genera energía para ser aprovechada por la misma planta o por la comunidad (nulo) - [1,2,3] si el tren de tratamiento genera energía con potencial de ser aprovechada por la misma planta o por la comunidad (medio)	23.7
SCA4. Potencial de reúso del agua	Se refiere a la capacidad de utilizar las aguas residuales tratadas para fines distintos de su vertido en un cuerpo	Maximizar	Cualitativa ordinal	La calificación se otorga así: - [3,4,5] si el tren de	27.3

Subcriterio	Descripción	Objetivo del criterio	Tipo de medición	Escala de medición *	Peso (%)	
tratada	de agua. Por tanto, la mejor alternativa corresponde a la que permita tener un uso diferente al vertido sin restricciones.			tratamiento permite utilizar agua residual tratada sin restricciones - [1,2,3] si el tren de tratamiento permite utilizar agua residual tratada con restricciones (medio) - [1,2] si el tren de tratamiento solo permite vertimiento a un cuerpo receptor (Bajo)		
Criterio	ECONÓMICO					27.4
SCE1. Costo de inversión inicial (CAPEX)	Se refiere a la inversión monetaria en la adquisición de equipos, maquinaria, infraestructura, tecnología y cualquier otro activo necesario para poner en marcha el sistema de tratamiento. El CAPEX debe ser lo más bajo posible; por lo tanto, la alternativa óptima de tratamiento es la que tiene el valor más bajo para este subcriterio.	Minimizar (menos, es más)	Cuantitativo (Los datos de cada tren se presentan en el archivo Bibliotecaxls alojado en https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/46833)	Rango de costo estimado al año de análisis medido como [USD/hab]	41.9	
SCE2. Costo de operación y mantenimiento (OPEX)	Corresponde a los gastos operativos diarios del sistema de tratamiento, incluidos los costes de mano de obra, suministros, mantenimiento, servicios y otros gastos recurrentes.	Minimizar (menos, es más)	Cuantitativo	Rango de costo estimado al año de análisis medido como [USD/hab al año]	58.1	

Nota

Los valores entre paréntesis de los subcriterios corresponden a su importancia relativa en el criterio al que pertenecen. * Corresponde a la escala de medición que se utiliza en la Fase II de contexto de medición con FUZZY-TOPSIS. La medición de cada uno de los subcriterios independientemente de la escala de medición

4.2.1. Actividades tipo P

ATP 5. Clasificación de alternativas de tratamiento de agua residual con enfoque multicriterio

En el nivel III de la Fase II, las alternativas procedentes de la evaluación de idoneidad son evaluadas a través del uso de un segundo método multicriterio denominado “*Técnica de Orden de Preferencia por Similitud a la Solución Ideal con Lógica Difusa*” (FAHP-TOPSIS) (Anexo A). Esta metodología permite priorizar las alternativas aceptadas a través de una evaluación sistémica con múltiples dimensiones y resulta viable cuando hay incertidumbre, subjetividad o imprecisión en los criterios y datos de evaluación (Li et al., 2018). Como en los SDTAR generalmente se reportan rangos asociados a eficiencias de remoción, requerimientos operacionales o de tipo económico, es viable el uso de FAHP-TOPSIS como etapa clasificatoria de SDTAR.

El objetivo de esta fase es clasificar y preseleccionar máximo cuatro alternativas de tratamiento de AR doméstica procedentes de la Fase I de la metodología para ser evaluadas posteriormente a nivel de prefactibilidad técnico y económico. A partir de la información previa, siga el proceso metodológico presentado a continuación:

ATP 5.1. Construya una matriz difusa con los atributos de cada alternativa en relación con cada criterio y subcriterio. La metodología participativa tiene una biblioteca los SDTAR (ver Biblioteca.xls) que incluye la información necesaria acorde con los criterios y subcriterios para ejecutar el FAHP-TOPSIS. La matriz con los atributos debe seguir la forma de la Tabla 9.

Tabla 9. Matriz tradicional de evaluación de alternativas

Criterios	Alternativas			
	A_1	A_k	...	A_n
C_i	$C_1(A_1)$	$C_1(A_2)$...	$C_1(A_n)$
C_k	$C_2(A_1)$	$C_2(A_2)$...	$C_2(A_n)$
...
C_m	$C_m(A_1)$	$C_m(A_2)$...	$C_m(A_n)$

Nota

A_n representa el conjunto de acciones posibles o alternativas y C_m es el número de diferentes puntos de vista o criterios de evaluación

Si requiere incluir una nueva alternativa en la biblioteca (p.ej., SDTAR), la información debe ser ingresada como número difuso triangular Rk con una función de pertenencia $\mu_{Rk}(x)$. Considere que los números difusos (x_{ij}) vienen dados por las Ecuaciones 3 a 6 y deben ser comparados respecto al peso difuso del conjunto de criterios $w_{ijk} = w_{jkl} \dots w_{ijkn}$ calculado en la Fase I, de esta forma, la matriz difusa D se expresa como presenta la Ecuación 6.

$$a = \frac{\min}{k} \{a_k\} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$b = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_k \quad \text{Ecuación 4}$$

$$c = \frac{\max}{k} \{c_k\} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$D = [x_{1,1} \dots x_{1,2} \dots x_{1,n} \dots x_{2,1} \dots x_{2,2} \dots x_{2,n} \dots x_{m,1} \dots x_{m,2} \dots x_{m,n}] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

a, b y c corresponden a los números difusos

D : es la matriz difusa

ATP 5.2. Normalice la matriz difusa implementando una transformación lineal que preserve las propiedades de los números difusos y así obtener una matriz difusa normalizada $R=[r_{ij}]_{m \times n}$. Para esto aplique las Ecuaciones 7 y 8 considerando que: $a_j^- = \frac{\min}{k} a_j$ y $c_j^* = \frac{\max}{k} c_j$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_j^*}, \frac{a_j^-}{c_j^*}, \frac{a_j^-}{c_j^*} \right) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

r_{ij} : Es el valor normalizado fuzzificado de cada atributo perteneciente a un subcriterio

a, b, c : es el rango de cada atributo en el subcriterio

ATP 5.3. Determine la matriz difusa normalizada ponderada con base en la importancia relativa difusa de cada criterio, subcriterio y los valores de cada alternativa con los números difusos considerando que $V=[v_{ij}]_{m \times n}$ donde $v_{ij} = r_{ij}(\cdot)_{w_j}$

ATP 5.4. Determine la solución difusa ideal positiva (FPIS, A^+) y negativa (FPIS, A^-) considerando lo aplicando las Ecuaciones 9 y 10.

$$A^+ = v_1^+, v_2^+ \dots v_n^+, v_j^+ = \max\{v_{ij}\} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots v_n^-, v_j^- = \min\{v_{ij}\} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

A^+ : Es la solución difusa ideal positiva

A^- : Es la solución difusa ideal negativa

v_{ij} : Es el producto de la matriz normalizada ponderada por el peso del subcriterio

⁸ Representa las distancias a la solución ideal difusa positiva (A^+) y a la solución ideal difusa negativa (A^-) simultáneamente.

ATP 5.5. Determine la distancia ideal difusa positiva y negativa con las Ecuaciones 11 y 12, teniendo en cuenta que d_v corresponde a la medida de distancia entre dos números difusos.

$$d^+ = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^+) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$d^- = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^-) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

d^+ : corresponde a la distancia ideal difusa positiva

d^- : corresponde a la distancia ideal difusa negativa

ATP 5.6. Estime el coeficiente de proximidad (CCi) para determinar la clasificación de las alternativas consideradas⁸. El coeficiente de proximidad de cada alternativa se calcula a través de la Ecuación 13.

$$CCi = \frac{d^-}{d^+ + d^-} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

CCi : Es el coeficiente de proximidad

ATP 5.7. Liste cada alternativa en orden descendente acorde con el CCi obtenido y seleccione máximo las cuatro primeras alternativas para el estudio de prefactibilidad.

4.3. FASE III – Estudio de bondades y consecuencias a nivel de prefactibilidad

La Fase III de la metodología participativa está conformada por dos niveles donde se realizan estudios de prefactibilidad técnica y económica de las alternativas clasificadas de la Fase II. El primer nivel corresponde a la prefactibilidad técnica de las alternativas y contiene tres filtros que depuran las alternativas que no son viables técnicamente. El segundo nivel está fundamentado en el estudio de la prefactibilidad económica de las alternativas que son técnicamente factibles determinando costos, tarifas y su viabilidad usando indicadores económicos. La Figura 4 presenta el flujograma del primer nivel de la Fase III.

Fase III: Estudio de bondades a nivel de prefactibilidad

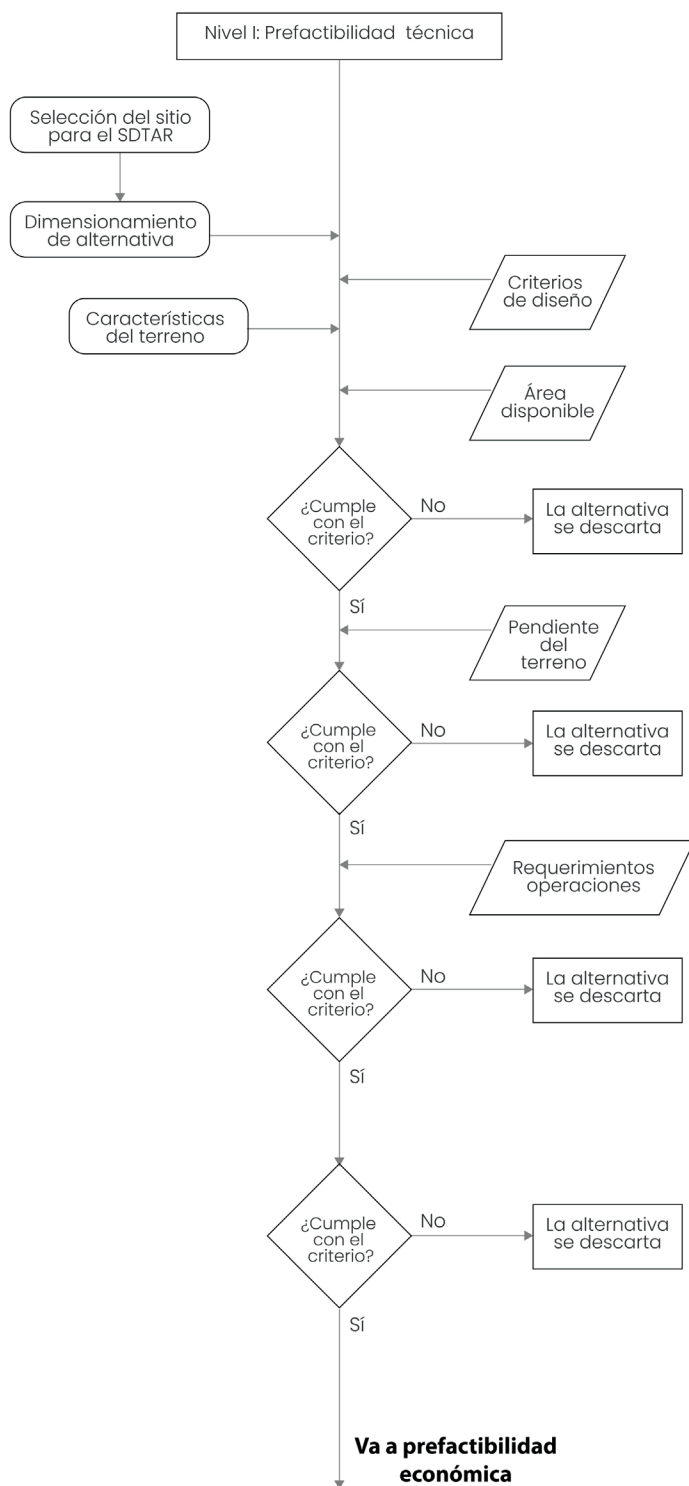


Figura 4. Fase III: Nivel de prefactibilidad técnica de las alternativas

Nota

SDTAR: Sistema Descentralizado de Tratamiento de Aguas Residuales

4.3.1. Actividades tipo I – Prefactibilidad técnica

La siguiente información es solicitada al usuario de la herramienta como Actividades Tipo I (ATI) para llevar a cabo el Nivel I de prefactibilidad técnica.

ATI 9. Potenciales zonas geográficas donde se podría localizar el SDTAR con posibilidad técnica⁹.

ATI 10. Índice de idoneidad (I_j) que permite clasificar las alternativas de localización propuestas¹⁰.

ATI 11. Caudal de agua residual generada en el asentamiento obtenido a partir de aforos realizados en la zona de estudio o estimado de manera indirecta¹¹.

ATI 12. Área de la zona donde se pretende localizar el sistema de tratamiento [m^2].¹²

ATI 13. Pendiente media de la zona donde se pretende localizar el sistema de tratamiento [%].

ATI 14. Nivel freático de la zona donde se pretende localizar el sistema de tratamiento [m].

⁹ Representa las distancias a la solución ideal difusa positiva (A^+) y a la solución ideal difusa negativa (A^-) simultáneamente.

¹⁰ Se determina en la actividad ATP 6.

¹¹ Si no cuenta con información del caudal de agua residual, se presenta una alternativa para estimarlo en la actividad ATP 7.

¹² Se define a partir de información digital donde se solape usos del suelo, zonas con restricción ambiental o legal, zonas de amenaza, vulnerabilidad o riesgo a remoción de masas e inundación, fallas geológicas, nivel freático del sitio y topografía del terreno.

4.3.2. Actividades tipo P – Prefactibilidad técnica

ATP 6. Selección del sitio potencial para la localización del SDTAR

ATIP 6.1. En las potenciales zonas geográficas donde se propone localizar el SDTAR trace polígonos irregulares que sirvan para delimitar un área.

ATP 6.2. Determine la distancia a centros poblados con asistencia de un software SIG y ajuste los polígonos para garantizar las distancias mínimas establecidas en la Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) u otra que la modifique.

ATP 6.3. Determine la dirección del viento con datos disponibles del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) u otra institución y con asistencia de un software SIG ajuste los polígonos.

ATP 6.4. Determine el uso del suelo década polígono con datos disponibles acorde con el Plan de Ordenamiento Territorial y con asistencia de un software SIG ajuste los polígonos.

ATP 6.5. Determine en cada polígono el catastro de la propiedad y con asistencia de un software SIG ajuste los polígonos para que no coincida con terrenos de privados¹³.

ATP 6.6. Determine en cada polígono hábitats especiales, pendientes del terreno y riesgos (vulnerabilidad a inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa) y ajuste los polígonos¹⁴.

ATI 6.7. Determine índice de idoneidad (I_j) que permite clasificar las alternativas de localización propuestas (Ecuación 14) teniendo en cuenta los criterios presentados en la Tabla 10.

$$I_j = \sum_{i=1}^m w_i * c_{ij} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

I_j : Índice de idoneidad para la alternativa j

w_i : Peso ponderado del criterio i

c_i : Valor de desempeño asignado a la alternativa j respecto al criterio i .

Tabla 10. Valores utilizados para la reclasificación de ráster para la selección de sitio utilizando análisis espacial multicriterio.

Criterio	Valores asignados en la normalización
Vulnerabilidad a inundaciones	Alta=1 Media=3 Baja=5
Vulnerabilidad a movimientos en masa	Alta=1 Media=3 Baja=5

¹³ Se busca evitar el pago de servidumbre por las limitaciones económicas de los asentamientos humanos no planificados que puedan incrementar los costos.

¹⁴ Es posible que, al superponer los mapas, el polígono propuesto podría ser descartado. En tal caso, buscar soluciones de ingeniería para mejorar la zona propuesta. Con esto pase al ATP 7.

Criterio	Valores asignados en la normalización
Vulnerabilidad a avenidas torrenciales	Alta=1 Media=3 Baja=5
Uso del suelo	Agricultura=3 Agroforestal=3 Ganadería=5 Forestal=3 Conservación=1 Asentamiento=1 Infraestructura=1 Minería=3 Sitios de disposición de materiales de desecho=1 Cuerpos de Agua Naturales=1
Proximidad a a un cuerpo hídrico	Menos de 50 metros = 1 Más de 50 metros = 5
Proximidad a centros poblados	Menos de 200 metros = 1 Más de 200 metros = 5
Proximidad a vías	Menos de 20 metros = 1 Más de 20 metros = 5
Pendiente	A nivel, 0-1% (α) =5 Ligeramente plana, 1-3% (α)=4.5 Ligeramente inclinada, 3-7%=4 Moderadamente inclinada, 7-12%=3.5 Fuertemente inclinada, 12-25%=3 Ligeramente escarpada o empinada, 25-50% =2.5 Moderadamente escarpada o empinada, 50-75% =2 Fuertemente escarpada o empinada, 75-100% =1.5 Totalmente escarpada, >100% =1
Altura	500 m.s.n.m. – 720 m.s.n.m. = 5 720 m.s.n.m. – 740 m.s.n.m. = 4 740 m.s.n.m. – 760 m.s.n.m. = 3 760 m.s.n.m. – 780 m.s.n.m. = 2 780 m.s.n.m. – 1800 m.s.n.m. = 1

ATP 6.8. Liste en orden descendente las alternativas propuestas según el I_j y escoja el de mayor valor obtenido.

ATP 7. Caudal de agua residual doméstica

El caudal medio diario de agua residual (Q_{md}) se estima determinando del caudal de agua residual doméstica (Q_{ARD}), caudal de agua residual comercial (Q_{ARC}), caudal de agua residual institucional (Q_{ARI}) y caudal de agua residual industrial (Q_{ARind}) como presenta la Ecuación 15.

$$Q_{md} = (Q_{ARD} + Q_{ARC} + Q_{ARI} + Q_{ARind}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$QARD$: es el caudal de agua residual doméstica

$QARC$: es el caudal de agua residual comercial

$QARI$: es el caudal de agua residual institucional

$QRInd$: es el caudal de agua residual industrial

A partir de la información previa, siga el proceso metodológico presentado a continuación:

ATP 7.1. Estime el $QARD$ para la población proyectada (P) en el asentamiento (Ecuación 16). Considere la dotación neta de agua a (DT) y coeficiente de retorno (CR)¹⁵ acorde con la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

El cálculo del $QARD$ se realiza a través de la Ecuación 16.

$$QARD = \frac{P \cdot DT \cdot CR}{86400} \quad \text{Ecuación 16}$$

ATP 7.2. Estime el caudal de agua residual comercial ($QARC$), caudal de agua residual institucional ($QARI$) y el caudal de agua residual industrial ($QRInd$)¹⁶.

ATP 7.3. Determine el caudal medio diario de agua residual (Q_{md}), correspondiente a la sumatoria del $QARD$, $QARC$, $QARI$ y $QRInd$.

ATP 7.4. Determine el caudal de infiltración (QI)¹⁷.

ATI 7.5. Determine el caudal de conexiones erradas (QCE)¹⁸.

¹⁵ CR toma valores entre 0.6 y 0.85, dependiendo de las prácticas de reúso del agua en el asentamiento.

¹⁶ Si no tiene información disponible de $QARC$ y $QARI$ utilice los valores sugeridos (0.4 a 0.5 L/s Ha.) en la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

¹⁷ Se estima a partir de aforos en el sistema teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo, la topografía, variación del nivel freático, tipo de tuberías y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva. Si no se cuenta con la información se suma un factor de 0.1 L/s-Ha, acorde a lo estipulado en la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

¹⁸ Los aportes generados por conexiones erradas deben calcularse con base en la información disponible en la localidad. Si no se cuenta con dicha información, se deberá considerar un valor máximo de 0.2 L/s-Ha. Esto acorde a información proporcionada a la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

ATP 7.6. Determine el caudal máximo horario (Q_{MH}) a través de la Ecuación 17, el caudal máximo diario (Q_{MD}) con la Ecuación 18 y el caudal máximo mensual (Q_{MM}) con la Ecuación 19. Tenga en cuenta que en cada caso el Q_{md} es afectado por un factor de mayoración horario, diario y mensual respectivamente (f) que se establece a partir de los valores recomendados la Resolución 799 de 2021 (ver Tabla 11).

$$Q_{MH} = (Q_{md} * f_1 + Q_I + Q_{CE}) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$Q_{MD} = (Q_{md} * f_2 + Q_I + Q_{CE}) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Q_{MM} = (Q_{md} * f_3 + Q_I + Q_{CE}) \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

Q_{MH} : caudal máximo horario

Q_{MD} : caudal máximo diario

Q_{MM} : caudal máximo mensual

Q_{md} : caudal medio horario

f_1 : factor de mayoración horaria

f_2 : factor de mayoración diaria

f_3 : factor de mayoración mensual

Q_I : caudal de infiltración

Q_{CE} : conexiones erradas

Tabla 11. Factores pico para caudales de tratamiento de aguas residuales

Rango caudales medio (l/s)	Factor máximo horario	Factor máximo diario	Factor máximo mensual
0 - 10	4	3	1.7
<i>(Interpolación lineal entre 10 y 90 l/s)</i>			
90	2.9	2.1	1.5
<i>(Interpolación lineal entre 90 y 700 l/s)</i>			
mayor a 700	2	1.5	1.2

Los procesos y unidades de las plantas de tratamiento de AR, excluyendo los sistemas de lagunas, destinados a localidades con caudales de diseño iguales o inferiores a 30 L/s, deberán diseñarse considerando un caudal equivalente a tres (3) veces el caudal medio. Asimismo, para el diseño de plantas de tratamiento de AR con caudales superiores a 30 L/s, así como para sistemas lagunares, se deberán considerar los caudales establecidos en la Tabla 12.

Tabla 12. Caudales de Diseño para el Tratamiento de aguas residuales para caudales superiores a 30 L/s.

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal medio de referencia - Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos - Sistemas lagunares
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de grasas y sedimentadores primarios y secundarios) - Desarrollo de estrategias operativas - Conductos de interconexión de unidades de proceso - Dimensionamiento de tanques de regulación
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento de tanques de regulación - Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos - Dimensionamiento de dosificación química
Caudal máximo mensual	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento de bio-reactores - Dimensionamiento del almacenamiento de químicos

Nota

Tomado de Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

ATP 8. Predimensionamiento de trenes de tratamiento de agua residual doméstica

ATP 8.1. Dimensione las alternativas clasificadas obtenidas de la Fase II nivel III. El Anexo B proporciona las ecuaciones básicas para el predimensionamiento de las unidades operacionales que pueden constituir un tren de tratamiento. Se reitera que los datos de ingreso para el dimensionamiento son responsabilidad del usuario de la metodología.

ATP 8.2. Estime el área requerida [m²] de cada alternativa a partir de su predimensionamiento y lístela a continuación:

ATP 9. Viabilidad de uso de trenes de tratamiento de agua residual según el área disponible

ATP 9.1. Seleccione los trenes de tratamiento cuya área sea inferior o igual al área disponible en el asentamiento (Ecuación 20) y lístelos a continuación:

$$\text{Área requerida}_{ai} < \text{Área disponible} \therefore \text{La alternativa se acepta} \quad \text{Ecuación 20}$$

ATP 10. Viabilidad de uso de trenes de tratamiento de AR según el nivel freático del asentamiento

La metodología participativa considera que no todas las alternativas son aptas de implementación en el asentamiento y un criterio que limita su elección es el nivel freático. La metodología se apoya en el modelo SELTAR (IDEAM-UTP – CINARA., 2005) y filtra aquellas alternativas que pueden ser usadas con niveles freáticos menores a 2.0 m y mayores a 2.0 m. La Tabla 13 presenta los SDTAR que pueden ser usados bajo las dos condiciones planteadas según el objetivo de tratamiento.

Tabla 13. Alternativas con nivel de tratamiento con potencial de uso acorde con el nivel freático.

Nivel freático (m)	Tren de tratamiento
Menor de 2 m	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS5, TPS6, TPS7, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS12, TPS13, TPS14, TPS15, TPS16, TPS17, TPS18, TPS19, TPS20, TPS21, TPS22, TPS23, TPST1, TPST2, TPST15
Mayor de 2 m	TPS1, TPS2, TPS5, TPS11, TPS14, TPS15, TPS17, TPS19, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST10, TPST11, TPST12, TPST13, TPST14, TPST15, TPST16, TPST17, TPST18, TPST19, TPST20, TPST21, TPST22, TPST23, TPST24, TPST25, TPST26

Fuente: TAdaptado de IDEAM-UTP-CINARA (2005).

Nota

Los trenes de tratamiento presentados en la tabla están definidos en la tabla 2 y 3

ATP 10.1. Seleccione los trenes de tratamiento de agua residual dependiendo del nivel freático del lugar donde se pretende implementar el sistema y lístelos a continuación:

ATP 11. Viabilidad de uso de trenes de tratamiento de agua residual según la topografía del terreno

La metodología considera el efecto de la pendiente del terreno sobre las alternativas dimensionadas. En este caso la metodología hace distinción entre las alternativas que pueden ser usadas con pendientes menores o mayores al 5%, tomando como línea base lo informado en la herramienta SELTAR (IDEAM-UTP – CINARA., 2005). La Tabla 14 muestra las alternativas que pueden ser usadas dependiendo de la pendiente del terreno en función del objetivo de tratamiento.

Tabla 14. Alternativas con nivel de tratamiento con potencial de uso acorde con la pendiente del terreno.

Pendiente (%)	Tren de tratamiento
Menor o igual a 5	TPS1, TPS2, TPS3, TPS4, TPS5, TPS6, TPS7, TPS8, TPS9, TPS10, TPS11, TPS12, TPS13, TPS14, TPS15, TPS16, TPS17, TPS18, TPS19, TPS20, TPS21, TPS22, TPS23, TPST1, TPST2, TPST15.
Mayor a 5	TPS1, TPS2, TPS5, TPS11, TPS14, TPS15, TPS17, TPS19, TPST1, TPST2, TPST3, TPST4, TPST5, TPST6, TPST7, TPST8, TPST9, TPST10, TPST11, TPST12, TPST13, TPST14, TPST15, TPST16, TPST17, TPST18, TPST19, TPST20, TPST21, TPST22, TPST23, TPST24, TPST25, TPST26

Fuente: TAdaptado de IDEAM-UTP-CINARA (2005).

Nota

Los trenes de tratamiento presentados en la tabla están definidos en la tabla 2 y 3

ATP 11.1. Seleccione los trenes de tratamiento de AR dependiendo de la topografía en el lugar donde se pretende localizar el sistema y lístelos a continuación:

ATP 12. Viabilidad de uso de trenes de tratamiento de agua residual según sus requerimientos constructivos y operacionales.

La prefactibilidad técnica culmina con un análisis de los requerimientos constructivos y operacionales de las alternativas. Idealmente se busca que las alternativas de tratamiento tengan requerimientos bajos. Por tanto, la metodología usa un índice de construcción, operación y mantenimiento (*ICO&M*) que tiene en cuenta variables como: *i*) oferta de materiales y equipos a nivel regional/local necesarios para la construcción de la alternativa (*OM&E*); *ii*) oferta local y regional de insumos, partes y materiales para mantenimiento y operación de la alternativa; *iii*) generación de residuos que requieran una disposición o manejo especial (*GR*). La Ecuación 21 presenta la manera de determinar el *ICO&M*; para que una alternativa sea aceptada para el estudio de prefactibilidad económica debe alcanzar un valor mayor o igual a 0.45 en el *ICO&M*. En caso contrario la alternativa se descarta.

$$ICO\&M = \frac{OM\&E + I\&M + GR}{\sum n} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

ICO&M: índice de construcción, operación y mantenimiento

OM&E: oferta de materiales y equipos a nivel regional/local necesarios para la construcción de la alternativa

I&M: oferta local y regional de insumos, partes y materiales para mantenimiento y operación de la alternativa

GR: generación de residuos que requieran una disposición o manejo especial

n: corresponde a la sumatoria de puntos de cada variable

A partir de la información previa, lleve a cabo el proceso metodológico siguiente:

Oferta de materiales y equipos a nivel regional/local necesarios para la construcción de la alternativa

Se refiere a la utilización de materiales extraídos de canteras, elementos electromecánicos o propios requeridos de una alternativa (p.ej., discos, membranas, materiales sintéticos, entre otros) que son necesarios para su construcción. La calificación de esta variable es la siguiente: si están todos los elementos mencionados a nivel local/regional se asigna una calificación de 5 puntos; si solo es posible encontrar dos de los elementos se asignan 3 puntos y si solo se consigue uno o ninguno de los tres elementos, se asigna un punto.

ATP 12.1. Asigne una calificación de cada alternativa acorde con la oferta de materiales, equipos electromecánicos o propios requeridos por la alternativa para su construcción

Oferta local y regional de insumos, partes y materiales para mantenimiento y operación de la alternativa

La oferta de insumos (p.ej., químicos) y materiales (p.ej., repuestos) para mantenimiento y operación de la alternativa corresponde a la disponibilidad de insumos, componentes o materiales necesarios para el óptimo desempeño de la tecnología, ya sea que haya existencias almacenadas de estos elementos o que se puedan adquirir de manera rápida y sencilla en el mercado local o regional. En este caso, la alternativa es calificada con 5 puntos si los materiales están a nivel local/regional; si los materiales o insumos se consiguen a nivel nacional 3 puntos y 1 punto si es necesaria su importación.

ATP 12.2. Asigne una calificación de cada alternativa acorde con la oferta de insumos y materiales requeridos por la alternativa:

Generación de residuos que requieran una disposición o manejo especial

Cada alternativa implica componentes sujetos a reemplazo por desgaste o término de vida útil. Estos generan residuos, que pueden ser ordinarios o peligrosos, con frecuencia variable. Es esencial evaluar las opciones de disposición para estos consumibles, considerando los residuos que cada alternativa produce y su gestión. Se otorgan 5 puntos si solo se generan residuos ordinarios y 1 punto si se produce al menos un residuo especial.

ATP 12.3. Liste los posibles residuos que requieran una disposición o manejo especial de cada alternativa.

ATP 12.4. Asigne una calificación de cada alternativa acorde residuos que requieran una disposición o manejo especial.

ATP 12.5. Determine el ICO&M de cada alternativa y lístelo a continuación ¹⁹ :

4.3.3. Actividades tipo P – Prefactibilidad económica

Una vez realizadas las actividades anteriores, se lleva a cabo la evaluación de la prefactibilidad económica. La Figura 5 presenta los elementos que tiene la metodología participativa a nivel de prefactibilidad económica. En este nivel se requiere realizar un análisis de costos de las alternativas en términos de inversión, operación y mantenimiento, para determinar su prefactibilidad a través de indicadores económicos.

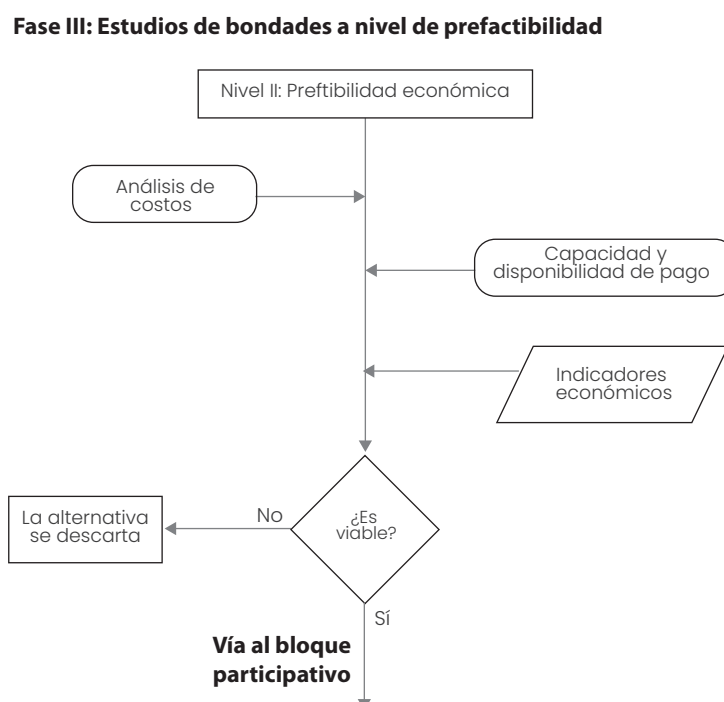


Figura 5. Fase III: nivel de prefactibilidad económica de las alternativas

¹⁹ Considere que una alternativa se acepta para el estudio de prefactibilidad económica si alcanza una valor mayor o igual a 0.45 en el ICO&M, en caso contrario la alternativa se descarta.

ATP 13. Costos de adquisición e inversión inicial

Inicialmente se requiere estimar el costo de inversión inicial (CAPEX)²⁰. En el primer caso, el CAPEX de cada alternativa se determina de forma directa estimando los costos directos (CD), costos de imprevistos, administración y utilidad (CAIU) y costos adicionales (CA) (p.ej., obras complementarias, costos de interventoría y costos de preinversión²¹). Los CD se discriminan en los costos de materiales (CM) por la alternativa dimensionada (se sugiere el uso de software de modelado de información de construcción), costos de herramientas y equipos necesarios (CHE), costo de mano de obra para la construcción (CMC), costos por adquisición del terreno y/o adecuación (CT)

ATP 13.1. Determine los costos de materiales (CM) requeridos por cada alternativa dimensionada para su construcción²² :

ATP 13.2. Determine los costos de herramientas y equipos necesarios (CHE) e indíquelos a continuación:

ATP 13.3. Determine los costos de mano de obra para la construcción (CMC) e indíquelos a continuación²³:

ATP 13.4. Determine los costos por adquisición del terreno y/o adecuación (CT) e indíquelos a continuación:

ATP 13.5. Determine los costos directos de la alternativa (CD) e indíquelos a continuación:

ATP 13.6. Determine los costos de imprevistos, administración y utilidad (CAIU) a partir de la Ecuación 22 e indíquelos a continuación:

²⁰ El CAPEX debe ser asumido por una institución estatal o debe proceder de otras fuentes de financiación.

²¹ Los costos de preinversión incluyen los estudios de topografía, suelos, diseño hidráulico, estructural y eléctrico.

²² Se sugiere el uso de software de modelado de información de construcción.

²³ Para el desarrollo de la presente actividad, se puede emplear como respaldo información proveniente de bases de datos especializadas, como Construdata (<https://www.construdata.com/>).

$$CAIU = \frac{AIU}{100} * (CM + CHE + CMC + CT) \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

CAIU : son los costos de imprevistos, administración y utilidad

AIU: corresponde al valor porcentual para contratos de construcción de obra civil

ATP 13.7. Determine el costo de inversión (CAPEX) de cada alternativa a través de la Ecuación 23 e indíquelo a continuación:

$$CAPEX = (CM + CHE + CMC + CT + CAIU + CA) \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

CAPEX : es el costo de inversión inicial requerido para la alternativa *ij*

CM : corresponde al costo de materiales requerido para la concepción de la alternativa *ij*

CHE: son los costos de herramientas y equipos necesarios para la concepción de la alternativa *ij*

CMC: corresponde a los costos de mano de obra para la construcción de la alternativa *ij*

CT: es el costo por adquisición del terreno y/o adecuación

CAIU: son los costos de imprevistos, administración y utilidad

CA: costos adicionales ²⁴

ATP 14. Costos de operación y mantenimiento

Se requiere cuantificar el costo de operación y mantenimiento (COPEX)²⁵ de forma directa estimando los Costos de Mano de Obra para que la alternativa sea operada y mantenida eficientemente (*CMO*), Costos de Mantenimiento y Reparación o reposición de equipos (*CM&R*), Compra de Insumos Químicos (*CIQ*), Costos de control de proceso y calidad del agua por Monitoreo y Control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua residual y a la tratada (*CM&C*), Costos de Energía Eléctrica (*CEE*) y Costo por concepto de la Tarifa de Tasa retributiva (*CTTr*).

ATP 14.1. Estime los costos de mano de obra para que la alternativa sea operada y mantenida eficientemente (*CMO*)²⁶. La Tabla 15 presenta el personal recomendado y cantidad requerida para la operación y mantenimiento, insumos químicos en función las operaciones unitarias que constituyen los SDTAR.

²⁴ El *CA* puede tomarse como 18% de los costos directos (*CM+CHE+CMC+CT*) más los costos por obras complementarias.

²⁵ El *COPEX* debe ser asumido por la comunidad del asentamiento o por una empresa prestadora del servicio.

²⁶ Considere que los salarios y prestaciones se calculan de conformidad con el régimen prestacional y salarial de los empleados.

ATP 14.2. Estime los costos mantenimiento y reparación de equipos (*CM&R*).

ATP 14.3. Estime los costos compra de insumos químicos (*CIQ*).

ATP 14.4. Estime los costos de control de proceso y calidad del agua por monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua residual y a la tratada (*CM&C*).

ATP 14.5. Estime los costos de energía (*CEE*) para el funcionamiento de la alternativa ²⁷.

ATP 14.6. Estime costo por concepto de la tarifa de tasa retributiva conforme al Decreto 1076 de 2015.

²⁷ Correspondiente al consumo de energía por parte de la alternativa de tratamiento, así como también por el uso de equipos de bombeo, motores o de otra tipología.

Tabla 15. Personal recomendado y cantidad requerida junto con insumos químicos para la operación y mantenimiento de un sistema descentralizado de aguas residuales acorde con la tecnología utilizada

Requerimiento		Tanque séptico	Tanque Imhoff	ABR	FAFA	Lagunas anaerobias	UASB	Laguna facultativa otreída	SBR	CBR	Filtro percolador	Humedales de flujo subsuperficial	Humedales de flujo superficial	Laguna de maduración
Insumos para operación y mantenimiento	Vegetación	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	R
	Energía	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR
	Acondicionador de pH	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Mano de obra para operación	Especialista	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR
	Técnico	NR	R	R	R	NR	NR	R	NR	R	R	NR	NR	NR
	Personal de la comunidad	R	NR	R	NR	R	R	R	NR	R	R	R	R	R
Mano de obra para mantenimiento	Mecánico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR
	Electricista	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR
Equipos para Operación y mantenimiento	Equipos	NR	NR	NR	R	NR	NR	R	R	R	R	NR	NR	NR
Cantidad de personas requeridas*	Número de personas requeridas para la operación	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	Número de mecánicos requeridos**	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Número de Electricistas requeridos**	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Número de personas responsable de la PTAR (Aspectos administrativos)	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

Nota

** Dedicación de medio tiempo. NR = No Requiere; R= Requiere. FAFA = Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente; SBR= Secuencial Batch Reactor (Reactor Secuencial por Tandas); ABR = Anaerobic Baffled Reactor (Reactor anaeróbico con deflectores); CBR = Contactor Biológico Rotativo; UASB = Upflow Anarebic Sludge Blanket reactor (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) Fuente: Adaptado de IDEAM-UTP-CINARA (2005); CEDEX

ATP 14.7. Determine el COPEX de cada alternativa a partir de la Ecuación 24.

$$COPEX = CMO + CM\&R + CIQ + CM\&C + CEE + CTr \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

COPEX: costos de operación y mantenimiento asociados a la alternativa *ij*

CMO: costo de mano de obra asociada a la operación de la alternativa *ij*

CM&R: costo de mantenimiento y reparación de equipos de la alternativa *ij*

CIQ: costos asociados a la compra de insumos químicos de la alternativa *ij*

CM&C: costos asociados al control de proceso y calidad del agua

CEE: costos asociados al consumo de energía

CTr: costo por concepto de la tarifa de tasa retributiva

ATP 15. Estimación de la disponibilidad a pagar (DAP) y capacidad de pago (CAP) para el tratamiento AR doméstica

La Disponibilidad a Pagar (*DAP*) en el asentamiento se determina aplicando modelos econométricos con una función de utilidad (Ecuación 25) que consideran variables como: i) precio ofrecido al hogar (p.ej., posible costo de tratamiento), ii) características socioeconómicas (p.ej. posición en el hogar, sexo, edad, educación, ingresos y el nivel educativo) y iii) grado de afectación (p.ej., percepción de la comunidad de verse afectados por problemas relacionados con la falta de tratamiento de las aguas residuales).

$$DAP_i = f\{\text{Precio, Soc, Afectar, } u\} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

DAP_i: disponibilidad de pago de cada usuario del sistema en el asentamiento

Precio: posible costo de tratamiento

Soc: características socioeconómicas de cada usuario del sistema en el asentamiento

Afectar: percepción de la comunidad de verse afectados por el manejo del ARD

El modelo de utilidad puede hacer uso de la regresión Logit (Ecuación 26) o del modelo Probit conforme la Ecuación 27. Su selección depende de las pruebas de bondad de ajuste que se realicen ²⁸. Se recomienda el uso de un software estadístico especializado.

$$\text{Pr } P_r o b(Y_i = 1/X_i) = \Lambda(X_i, \beta) = \frac{1}{1 + e^{-X_i, \beta}} = P_i \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\text{Pr } P_r o b(Y_i = 1/X_i) = \Phi(X_i, \beta) = \int_{-\infty}^{X_i, \beta} \frac{1}{2} \frac{1}{1 + e^{-X_i, \beta}} = P_i \quad \text{Ecuación 27}$$

²⁸ El modelo regresión Logit debe ser evaluado a través de pruebas de bondad de ajuste utilizando métricas como el pseudo- R^2 , el porcentaje de clasificación y finalmente la prueba de Lemeshow-Hosmer. En el caso de que el modelo Logit no se ajuste se recomienda el uso del modelo Probit.

Donde:

$Y_i=1$: respuesta positiva a la DAP

X_i : variables explicativas de la DAP

Λ : función de distribución logística

φ : función de distribución normal (Probit)

P_i : probabilidad de dar respuesta positiva

La DAP finalmente se calcula como el valor esperado de la disponibilidad a pagar, dadas las variables explicativas y los parámetros, a través del cociente entre índice $Z_i = X_i\beta$ y el coeficiente del precio (Ecuación 28).

$$E_u(DAP/X_iB) = \frac{X_i\beta}{B_{precio}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$E_u(DAP/X_iB)$: capacidad de pago

X_i : valor promedio de cada una de las variables independientes significativas del modelo

β : coeficiente del modelo correspondiente a la variable independiente

B_{precio} : coeficiente de la variable precio de oferta.

ATP 15.1. Aplique una encuesta a una muestra representativa de los hogares que sean potenciales usuarios del servicio. Para la aplicación de la encuesta revise el Anexo C donde encontrará el cuestionario diseñado.

ATP 15.2. Indique la DAP para el asentamiento humano no planificado.

Calcular usando los valores obtenidos en la encuesta (Anexo C).

ATP 15.3. Estime la CAP en el asentamiento (Suscriptor/mes) considerando que este corresponde al ingreso promedio mensual (IPM) de los suscriptores por el porcentaje estimado (1%)²⁹ que puede ser designado para el pago del servicio.

ATP 16. Estimación de Ingresos potenciales del proyecto

Para estimar los ingresos potenciales derivados de la implementación del proyecto de tratamiento de aguas residuales, se tiene en cuenta el número de usuarios potenciales del servicio, la probabilidad de que estén dispuestos a pagar (DAP) según los resultados del estudio, y el valor promedio de la DAP, tal como se presenta en las Ecuaciones 29 a 31. En el caso de que una empresa prestadora del servicio pública, privada o mixta se encargue de la operación y mantenimiento del sistema, los ingresos se estiman prorrateando los costos entre en el número total de suscriptores de la empresa de servicios públicos y del asentamiento.

²⁹ Para la estimación de dicho valor se utilizó como referencia la información presentada en el documento CONPES 3386 de 2005 (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2005).

$$Usuarios_{ser} = \# usuarios * P_{DAP} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$ingresos_{mes} = DAP * Usuarios_{ser} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$Usuarios_{anuales} = ingresos_{mes} * 12 \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$Usuarios_{ser}$: número de potenciales usuarios del servicio

$\#usuarios$: número de usuarios presentes en el asentamiento

P_{DAP} : probabilidad de DAP

DAP : disponibilidad de pago media

Una vez definidos los posibles ingresos y operador del servicio, la viabilidad económica de cada SDTAR se determina a través de una evaluación económica utilizando el indicador del Valor Presente Neto (VPN), partiendo de la premisa de que la mejor alternativa es aquella que presenta los menores costos. La tasa de descuento es del 12.76% si la comunidad opera el SDTAR o del 12.28% si la empresa de servicios públicos realiza la operación y mantenimiento acorde la Resolución CRA 9488 de 2021 (CRA, 2021). Las alternativas que presenten un VPN positivo van al Bloque Participativo mientras que, en caso contrario, estas son descartadas.

ATP 16.1. Determine el VPN de cada alternativa para el periodo de diseño definido acorde con la Ecuación 32.

$$VPN = I * \frac{1}{(1+r)^n} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

VPN : Valor Presente Neto

I : Valor de la inversión realizada

r : Tasa de descuento³⁰

n : año en el cual se realiza la inversión

ATP 16.2. Liste a continuación las alternativas que serán utilizadas en el Bloque Participativo para su selección final.

³⁰ Se determina de conformidad con la Resolución CRA 948 de 2021.

05

Bloque participativo de la herramienta de selección

El Bloque Participativo es un elemento esencial de la metodología participativa y se desarrolla al finalizar la Fase III del Bloque técnico-ambiental-económico, cuando se ha identificado un conjunto de SDTAR con potencial de aplicación en el asentamiento. Inicialmente se requiere que la institución ejecutora del proyecto promueva la participación de miembros clave de la comunidad conformando un grupo motor de alrededor de 10 personas que debe mantenerse durante toda la aplicación de la metodología³¹. El Bloque Participativo se encuentra constituido por tres fases: *i*) aprendizaje participativo; *ii*) foro de selección participativa del SDTAR y *iii*) divulgación comunitaria de decisiones. La Figura 6 presenta el flujograma del Bloque Participativo.

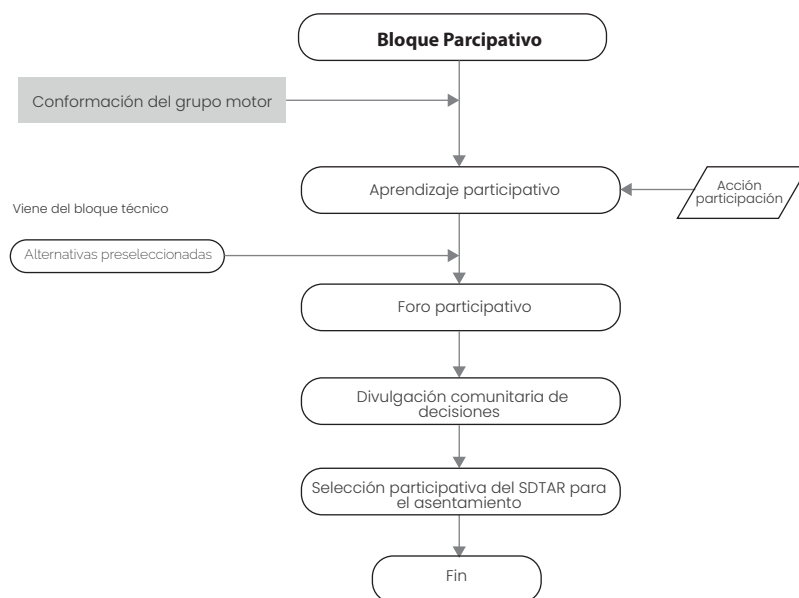


Figura 6. Flujo del Bloque Participativo para la selección de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales en asentamientos humanos no planifica-

Nota

SDTAR= Sistema Descentralizado de Tratamiento de Aguas residuales

³¹ Se recomienda que este grupo haya participado en un proceso de Diagnóstico del asentamiento, previa a la selección participativa de SDTAR.

5.1. FASE I – Aprendizaje participativo

La Fase I de “aprendizaje participativo” se enfoca en el fortalecimiento del grupo motor a través de la formación y la adquisición de habilidades que permitan a sus miembros tomar decisiones y actuar de manera independiente en las siguientes fases de la metodología. Se prevé que el grupo motor se apropie de conceptos asociados a abastecimiento de agua, saneamiento, agua residual doméstica, alcantarillado, nociones fundamentales de las SDTAR con potencial de uso en el asentamiento, posibles subproductos e impactos ambientales y costos. Para lograr este propósito se contempla el fortalecimiento del grupo motor a través del desarrollo de tres (3) talleres formativos en los que se aplican metodologías pedagógicas basadas en la acción participativa que incluyen el uso de herramientas visuales como diagramas, recursos tridimensionales digitales, fichas pedagógicas, foros de discusión y otras alternativas para presentar información de manera accesible, dinámica y comprensible.

5.1.1. Actividades tipo I

La siguiente información es solicitada al usuario de la herramienta como Actividades Tipo I (ATI) para iniciar las actividades de la Fase I del Bloque Participativo.

ATI 15. Nombres y apellidos de las personas interesadas en formar parte del grupo motor.

ATI 16. Información sociodemográfica relevante de los participantes [sexo, edad, tiempo de residencia en el asentamiento, participación en organizaciones comunitarias]

Nombre	Sexo	Edad	Tiempo de residencia en el asentamiento	Participación de organizaciones comunitarias

ATI 17. Datos de contacto de las personas interesadas.

Nombre	Número de contacto

ATI 18. Datos los posibles lugares y horarios de realización de los encuentros con el grupo motor.

Lugar	Horario

5.1.2. Actividades tipo S

El Bloque Participativo inicia con la conformación del grupo motor que seleccionará el SDTAR. Se recomienda que las personas participantes hayan acompañado el proceso de diagnóstico participativo previo, gracias al cual el equipo implementador del proyecto tiene una idea precisa de la situación de la gestión del agua y el saneamiento en el asentamiento no planificado. Sin embargo, es posible incluir a nuevos integrantes, especialmente si se han presentado bajas o ha aumentado el interés en la comunidad por el proyecto. En cualquier caso, es recomendable que el grupo motor tenga un número limitado de participantes, lo que facilita la dinamización de los talleres formativos. Un número de participantes por encima de 10-15 personas requerirá de más de dos dinamizadores que puedan apoyar el desarrollo de las actividades colaborativas. En los Anexos D, E y F se detallan los protocolos para desarrollar las ATS de la Fase I. Al respecto, tenga en cuenta las siguientes actividades:

ATS 1 Conformación del equipo dinamizador

Se recomienda que los talleres formativos sean dirigidos por miembros del equipo social y del equipo técnico. Asigne a una persona de cada equipo el rol de dinamizador. Las personas dinamizadoras deben estar familiarizadas con la metodología en su conjunto. Indique los nombres y cargos de las personas dinamizadoras:

ATS2 Conformación/reactivación del grupo motor

ATS2.1. Convocatoria

Acuerde una reunión con las personas interesadas en formar parte del grupo motor. Ofrezca alternativas para que dicho encuentro se realice en un lugar y horario adecuado, que facilite la participación de la mayor parte de personas interesadas. Establezca día, hora y lugar del encuentro y socialícelo con los potenciales participantes:

ATS2.2. Toma de contacto

El día del encuentro, agradezca el interés de las personas en participar, presente el plan de trabajo del Bloque Participativo y acuerde los horarios y fechas que sean más convenientes para la implicación del grupo motor en todo el proceso. Aclarare las dudas que las personas tengan sobre el proceso que comienza y establezca el mejor medio de comunicación con el grupo motor (p.ej., un grupo de mensajería instantánea). Ofrezca un refrigerio a las personas asistentes. Una vez finalizada la primera reunión, confeccione un directorio de las personas participantes. En la Tabla 16 se presenta formato de directorio propuesto para el grupo motor.

Tabla 16. Directorio del grupo motor

Nombres y Apellidos	Teléfonos	Sexo		Tiempo de residencia en el asentamiento	Participación de organizaciones comunitarias	
		Hombre	Mujer		Sí	No

ATS 2.3. Elaboración del Plan de trabajo definitivo

El día del encuentro, agradezca el interés de las personas en participar, presente el plan con los acuerdos alcanzados en la toma de contacto con el grupo motor, elabore un plan de trabajo definitivo y socialícelo con las personas participantes a través del medio de comunicación acordado. En la Tabla 17 es presentado el formato para el planteamiento del plan de trabajo de componente social.

Tabla 17. Plan de trabajo del componente social

Actividad para realizar	Fecha	Lugar	Personas dinamizadoras
Taller formativo I			
Taller formativo II			
Taller formativo III			
Foro de selección participativa			
Divulgación de decisiones – ensayo			
Divulgación de decisiones con comunidad			

ATS 3. Taller de formativo I: Sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales

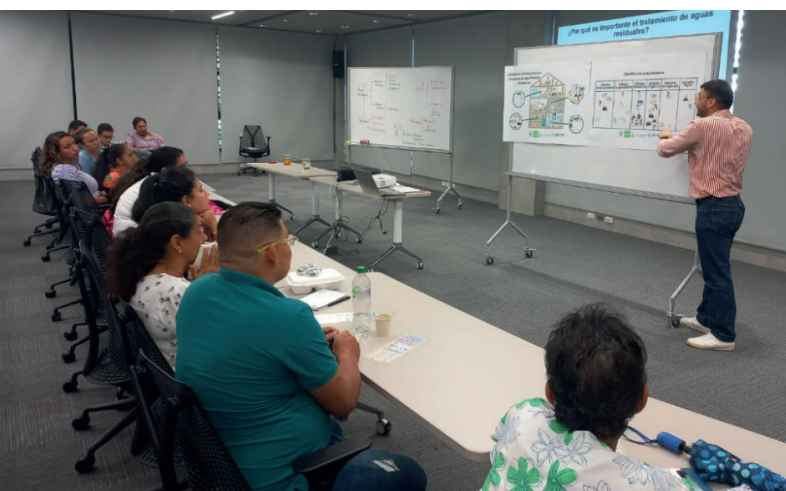
ATS 3.1. Preparación

Siga las indicaciones establecidas en el Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 1 (ver Anexo D). Ejecute las labores de coordinación, organización logística y preparación del espacio.

ATS 3.2. Realización del taller I

Siga las indicaciones del Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 1 (ver Anexo D) referidas a los diferentes momentos que componen el taller I: *i)* bienvenida, *ii)* exploración de los conceptos de agua residual, tratamiento descentralizado y niveles de tratamiento, *iii)* explicación del funcionamiento de la herramienta participativa para la selección de SDTAR, *iv)* cierre y conclusiones. Inicie el taller con una actividad para romper el hielo y favorecer un ambiente agradable de trabajo. Cuando exponga contenidos técnicos, utilice diapositivas con poco texto, gráficas claras de fácil lectura y fichas didácticas que permitan a los participantes apropiarse del tema

expuesto (ver *Fotografía 1*). Priorice el uso de actividades individuales y grupales que permitan que los participantes se involucren en el estudio y exposición del tema, facilitando la apropiación del conocimiento. Estimule a las personas a trabajar en grupos con sus compañeros para resolver problemas, plantear preguntas o planear exposiciones de los temas tratados.



Fotografía 1. Dinamizador ofrece realimentación al grupo motor, utilizando material didáctico

ATS 4. Taller formativo II: Socialización de tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento

ATS 4.1. Preparación

Siga las indicaciones establecidas en el Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 2 (ver Anexo E) para la preparación del taller sobre las tecnologías con potencial aplicación en el asentamiento, resultantes de la Fase III del Bloque Técnico. Ejecute las labores de coordinación, organización logística y preparación del espacio.

ATS 4.2. Realización del taller II

Siga las indicaciones del Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 2 (ver Anexo E) referidas a los diferentes momentos que componen el taller II: *i*) preparación del espacio y bienvenida, *ii*) repaso de los conceptos básicos sobre SDTAR, *iii*) explicación de los objetivos de los trenes de tratamiento des-

centralizados de aguas residuales; *iv*) exposición del concepto de trenes de tratamiento de AR; *v*) socialización de las tecnologías con potencial aplicación en el asentamiento; *v*) repaso del concepto de trenes de tratamiento de aguas residuales, *vi*) identificación de condicionantes locales del territorio para la selección de SDTAR, *vii*) cierre y conclusiones.

Inicie el taller con una actividad para romper el hielo y favorecer un ambiente agradable de trabajo. Cuando exponga contenidos técnicos, utilice diapositivas con poco texto, gráficas claras de fácil lectura, modelos tridimensionales y fichas didácticas que permitan a los participantes apropiarse del tema expuesto. Priorice el uso de actividades individuales y grupales que permitan que los participantes se involucren en el estudio y exposición del tema, facilitando la apropiación del conocimiento. Estimule a las personas a trabajar en grupos con sus compañeros para resolver problemas, plantear preguntas o planear exposiciones de los temas tratados (ver Figura 8).



Fotografía 2. Grupo motor construyendo trenes de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas usando material didáctico con el apoyo de dos dinamizadores

ATS 5. Taller formativo III: socialización de los procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento

ATS 5.1. Preparación

Siga las indicaciones establecidas en el Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 3 (ver Anexo F) para la preparación del taller sobre los procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento. Ejecute las labores de coordinación y organización logística.

ATS 5.2. Realización del taller III

Siga las indicaciones del Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 3 (ver Anexo F) referidas a los diferentes momentos que componen el taller II: *i)* preparación del espacio y bienvenida, *ii)* repaso de los conocimientos sobre el funcionamiento de tecnologías de tratamiento con potencial de aplicación en el asentamiento, *iii)* explicación de requerimientos, procesos y costos de operación y mantenimiento de cada tecnología; *iv)* exposición de los costos de operación y mantenimiento de cada tecnología; *v)* cierre y conclusiones.

Inicie el taller con una actividad para romper el hielo y favorecer un ambiente agradable de

trabajo. Cuando exponga contenidos técnicos, utilice diapositivas con poco texto, gráficas claras de fácil lectura, videos y fichas didácticas que permitan a los participantes apropiarse del tema expuesto. Priorice el uso de actividades individuales y grupales que permitan que los participantes se involucren en el estudio y exposición del tema, facilitando la apropiación del conocimiento (ver *Fotografía 3*). Estimule a las personas a trabajar en grupos con sus compañeros para resolver problemas, plantear preguntas o planear exposiciones de los temas tratados.



Fotografía 3. Integrante del grupo motor expone a sus compañeros/as el resultado de una actividad sobre la complejidad de operación y mantenimiento tecnologías de saneamiento

5.2 FASE II – Foro de selección participativa del Sistema Descentralizado de Tratamiento de Aguas Residuales para el asentamiento

A diferencia de los métodos tradicionales de toma de decisiones donde estas suelen recaer en un pequeño grupo de expertos, la selección participativa busca la inclusión activa de quienes serán afectados o beneficiados por la tecnología. En correspondencia con esto, la Fase II del Bloque Participativo, denominada “foro de selección participativa del SDTAR”, fomenta un debate fundamentado entre los miembros del grupo motor para seleccionar de manera consensuada sobre el tren tecnológico más adecuado para el contexto del asentamiento humano no planificado. El proceso de aprendizaje en los talleres I, II y III proporciona a la comunidad un conocimiento básico que les permite tomar dicha decisión de manera informada, favoreciendo la sostenibilidad y éxito de la implementación de los trenes tecnológicos. En el Anexo G se detalla el protocolo para desarrollar esta actividad. Al respecto, tenga en cuenta las siguientes actividades:

5.2.1. Actividades Tipo I

ATI 19. DAP para el asentamiento humano no planificado (ver, ATP 15.2).

ATI 20. CAP en el asentamiento (Suscriptor/mes) (ver, ATP 15.3).

ATI 21. SDTAR con potencial aplicación en el asentamiento (ver, ATP 16.2).

5.2.2. Actividades Tipo S

ATS 6. Foro de selección participativa

ATS 6.1 Preparación

Siga las indicaciones establecidas en el Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 4 (ver Anexo G) para la preparación del foro de selección participativa. Ejecute las labores de coordinación y organización logística.

ATS 6.2. Realización del foro de selección participativa

Siga las indicaciones del Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo 3 (ver Anexo F) referidas a los diferentes momentos que componen el taller II: *i*) preparación del espacio y bienvenida, *ii*) repaso de los conocimientos sobre el funcionamiento de tecnologías de tratamiento con potencial de aplicación en el asentamiento, *iii*) explicación requerimientos, procesos y costos de operación y mantenimiento de cada tecnología; *iv*) exposición de los costos de operación y mantenimiento de cada tecnología; *v*) cierre y conclusiones.

Inicie el taller con una actividad para romper el hielo favoreciendo un ambiente favorable y confiable para las personas que participan. Cuando exponga contenidos técnicos, utilice diapositivas con poco texto, gráficas claras de fácil lectura. Para las actividades de toma de decisiones emplee formularios sencillos y tarjetas de selección con: *i*) información relevante sobre los SDTAR para que sea tenida en cuenta por las personas participantes y *ii*) un espacio para valorar los SDTAR de acuerdo con los siguientes criterios: "Potenciales Impactos Ambientales"; "Costos asociados"; "Complejidad Operativa"; y "Calidad del efluente". Promueva la toma de decisiones informada, tanto a nivel individual, como a nivel colectivo (en subgrupos y en el grupo motor, en planaria). Incentive la participación del grupo motor: la expresión de opiniones y argumentos, así como la formulación de preguntas al equipo implementador (ver Fotografía 4). Modere la discusión, resolviendo dudas y encontrando puntos afines entre las opiniones expuestas hasta lograr un consenso entre los participantes sobre la decisión a tomar. Responda a las dudas que se puedan presentar de forma clara y sencilla. Asegúrese de que las personas participantes entiendan los procedimientos de toma de decisión y que toman una elección consensuada.



Fotografía 4. Miembros del grupo motor realizando el proceso de votación individual mediante tarjetas de selección impresas

Al finalizar el foro, presente los resultados de las evaluaciones realizadas, tanto la votación individual como la votación colectiva, ubicando los trenes potenciales en una escala del más conveniente al menos conveniente, según los datos procesados. Indique la alternativa de tratamiento seleccionada por la comunidad del asentamiento humano no planificado.

5.2 FASE III – Divulgación de decisiones

La Fase III del Bloque Participativo corresponde al proceso de divulgación de la selección del SDTAR a los habitantes del asentamiento humano no planificado. Esto garantiza que los miembros de la comunidad estén informados y puedan comprender las decisiones tomadas por el grupo motor y sus eventuales impactos. Además, promueve la transparencia y fortalece la confianza entre los líderes comunitarios, los miembros de la comunidad y afianza relacionales con la institución ejecutora del proyecto. En este nivel debe realizarse la entrega de material informativo como cartillas con la información más relevante so-

bre la tecnología. En el Anexo G encuentran en detalle las actividades y herramientas pedagógicas para desarrollar esta fase, que incluye dos niveles: *i*) taller de ensayo con el grupo motor y *ii*) divulgación comunitaria de decisiones.

5.3.1. Actividades Tipo S

ATS 7. Taller de ensayo

ATS 7.1 Preparación

Siga las indicaciones establecidas en el Protocolo del Taller de Ensayo para la Divulgación Comunitaria de Decisiones (ver Anexo G). Ejecute las labores de coordinación y organización logística.

ATS 7.2. Realización del taller de ensayo

Siga las indicaciones del Protocolo del Taller de Ensayo para la Divulgación Comunitaria de Decisiones (ver Anexo G) referidas a los diferentes momentos que componen el proceso: *i*) preparación del espacio y bienvenida, *ii*) establecimiento de acuerdos, *iii*) desarrollo del ensayo de la socialización comunitaria, *iv*) cierre y conclusiones. Entregue al grupo motor un guion y material informativo sobre el proceso de selección y el SDTAR seleccionado. Comparta con el grupo motor material visual de apoyo que las personas participantes puedan usar para presentar la información con mayor facilidad a la comunidad. Invite a los miembros del grupo motor a ensayar frente al equipo implementador la presentación del proceso y de sus resultados a la comunidad, enfatizando en la socialización del tren de tratamiento de AR seleccionado y las características por las cuales fue seleccionado (ver *Fotografía 5*). Asegúrese de que las personas participantes comprenden el contenido que van a divulgar a la comunidad. Solucione cualquier duda que puedan presentar. Finalmente, acuerde con el grupo motor la fecha, hora y lugar de realización de la reunión pública. Indique a continuación la fecha, hora y lugar concertados.



Fotografía 5. Miembros del grupo motor ensayan la actividad de divulgación comunitaria de decisiones

ATS 8. Divulgación comunitaria de decisiones

ATS 8.1 Preparación

Invite a los miembros del grupo motor a que utilicen diferentes medios de comunicación para convocar al mayor número de habitantes del asentamiento con el fin de socializar el proceso de selección participativa del tren de tratamiento de AR y las razones por las cuáles es la opción más conveniente para la comunidad. Recuérdeles repasar el guion y comunicar cualquier duda que puedan tener sobre el mismo. Invítelos a apropiarse del contenido del material informativo entregado en el taller de ensayo. Prepare un material informativo resumen (p.ej., una cartilla o plegable) a ser entregado a las personas que asistan a la divulgación comunitaria de decisiones.

ATS 8.2. Realización de la divulgación comunitaria de decisiones

El día de la reunión, apoye al grupo motor en el desarrollo de las actividades logísticas necesarias para la socialización comunitaria (p.ej., acondicionamiento del espacio, instalación de equipos de proyección o de sonido, etc.). Acompañe al grupo motor en la recepción y bienvenida de las personas asistentes. Entregue el material informativo con el resumen del contenido que va a exponer el grupo motor. Permita que el grupo motor lidere la reunión, pero apóyelo en la exposición de los contenidos, clarificando cualquier aspecto que no haya sido expuesto de manera correcta o suficientemente comprensible (ver Fotografía 6). Esté atento a responder a las preguntas de los asistentes. Al finalizar, agradezca a los asistentes por su participación en la reunión y a los integrantes del grupo motor por su activa implicación en la selección del SDTAR.



Fotografía 6. Divulgación comunitaria de decisiones liderado por el grupo motor

ATS 8.3. Cierre del proceso

La Fase III del Bloque Participativo cierra el proceso metodológico de selección participativa del SDTAR. Para finalizar, organice con las personas que integran el grupo motor una reunión de cierre para conocer su evaluación del proceso y agradecer su participación. Entregue al grupo motor un material informativo tipo cartilla con un resumen del desarrollo y principales resultados del proceso.

Referencias

- Andersson, K., Dickin, S., & Rosemarin, A. (2016). Towards “Sustainable” Sanitation: Challenges and Opportunities in Urban Areas. *Sustainability*, 8(12), 1289. <https://doi.org/10.3390/SU8121289>
- Brault, G., Brault, J.-M., Buchauer, K., & Gambrell, M. (2022). Wastewater treatment and reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options WASTEWATER TREATMENT AND REUSE WATER GLOBAL PRACTICE. www.worldbank.org/gwsp
- Burgos, S., Koifman, R. J., Espinoza, R. M., & Curi, J. A. (2011). Tipologías residenciales en comunidades chilenas en condiciones de precariedad habitacional. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 29(1), 32–40. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892011000100005>
- Carvalho, C., & Netto, V. M. (2023). Segregation within segregation: Informal settlements beyond socially homogenous areas. *Cities*, 134, 104152. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2022.104152>
- CDMB. (2014). Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Subcuenca Río de Oro. .
- CEDEX. (2022). Selección de Tecnologías de Tratamiento. <https://www.cedex.es/comunicacion/noticias/publicada-nuwa-guia-seleccion-tecnologias-tratamiento>
- CENTA. (2021). Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/guia-tecnica-para-la-seleccion-y-diseno-de-lineas-de-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Chirisa, I., Bandaiko, E., Matamanda, A., & Mandisvika, G. (2017). Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe). *Applied Water Science*, 7(3), 1069–1078. <https://doi.org/10.1007/S13201-016-0377-4/TABLES/2>
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2002). CONPES 3177—Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales.

- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2005). CONPES 3386—Plan de acción para focalización de los subsidios para servicios públicos domiciliarios.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2018). CONPES 3918—Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2020). CONPES 4004—Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales.
- Geetha Varma, V., Jha, S., Himesh Karthik Raju, L., Lalith Kishore, R., & Ranjith, V. (2022). A review on decentralized wastewater treatment systems in India. *Chemosphere*, 300, 134462.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134462>
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., & Ohlson, D. (2012). Structured Decision Making: A Practical Guide to Environmental Management Choices. *Structured Decision Making: A Practical Guide to Environmental Management Choices*, 1–299.
<https://doi.org/10.1002/9781444398557>
- Hafeez, A., Shamair, Z., Shezad, N., Javed, F., Fazal, T., Rehman, S. ur, Bazmi, A. A., & Rehman, F. (2021). Solar powered decentralized water systems: A cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125717.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125717>
- Hosseini, A., Finn, B. M., & Momeni, A. (2023). The complexities of urban informality: A multi-dimensional analysis of residents' perceptions of life, inequality, and access in an Iranian informal settlement. *Cities*, 132, 104099.
<https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2022.104099>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. In C.-L. Hwang & K. Yoon (eds). *Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol 186 (pp. 58–191). Springer.,
https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- IDEAM–UTP – CINARA. (2005). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domésticas SELTAR. .

- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Oleja, A., Niwagaba, C. B., Kansiime, F., & Lens, P. N. L. (2010). Selection of sustainable sanitation technologies for urban slums — A case of Bwaise III in Kampala, Uganda. *Science of The Total Environment*, 409(1), 52–62. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2010.09.032>
- Koottatep, T., Connelly, S., Pussayanavin, T., Khamyai, S., Sangchun, W., Sloan, W., & Polprasert, C. (2020). 'Solar septic tank': evaluation of innovative decentralized treatment of blackwater in developing countries. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 10(4), 828–840. <https://doi.org/10.2166/WASHDEV.2020.168>
- Li, Z., Yang, T., Huang, C. S., Xu, C. Y., Shao, Q., Shi, P., Wang, X., & Cui, T. (2018). An improved approach for water quality evaluation: TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach. *Ecological Indicators*, 89, 356–364. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.02.014>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Resolución 799. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS).
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). Resolución 330. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS .
- Nazim, M., Wali Mohammad, C., & Sadiq, M. (2022). A comparison between fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods to software requirements selection. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10851–10870. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.04.005>
- Riera, P. (1994). Manual de valoración contingente. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.
- Spuhler, D., Germann, V., Kassa, K., Ketema, A. A., Sherpa, A. M., Sherpa, M. G., Maurer, M., Lüthi, C., & Langergraber, G. (2020). Developing sanitation planning options: A tool for systematic consideration of novel technologies and systems. *Journal o..f*

Environmental Management, 271, 111004.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111004>

Spuhler, D., Scheidegger, A., & Maurer, M. (2018). Generation of sanitation system options for urban planning considering novel technologies. *Water Research*, 145, 259–278.
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2018.08.021>

United Nations. (2014). Proposal for Sustainable Development Goals .: Sustainable Development Knowledge Platform.
<https://sustainabledevelopment.un.org/focussdgs.html>

United Nations. (2019). The Sustainable Development Goals Report.
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/>

Valdés, M. (2017). Ciudades sostenibles en el posconflicto en Colombia: Cartagena, Bogotá, Medellín, Bucaramanga. Friedrich-Ebert-Stitung (FESCOL), Foro Nacional Ambiental.

van Buuren, J. (2010). SANitation C Hoice Involving Stakeholders – A participatory multi – criteria method for drainage and sanitation system selection in developing cities Applied in ho chi minh city, Vietnam, SENSE – Research School for Scoio – economic and Natural Sciences of the Environment. Wageningen University, p. 440.

Von Sperling, M., Augusto, C., & Chernicharo, L. (2006). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions VOLUME ONE. www.iwapublishing.com

Wilderer, P. A., & Schreff, D. (2000). Decentralized and centralized wastewater management: A challenge for technology developers. *Water Science and Technology*, 41(1), Article 1.
<https://doi.org/10.2166/wst.2000.0001>

WWAP. (2017). The United Nations world water development report 2017: wastewater, the untapped resource. The United Nations World Water Development Report.
[Http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource](http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource)



A

nexos

Anexo A.

Ejemplo de aplicación de la metodología Fuzzy-Topsis

A continuación, se presenta un ejemplo del procedimiento seguido para aplicar el método **Fuzzy-TOPSIS**, tomando como referencia la metodología propuesta por Chen (2000)³².

El punto de partida es la **matriz caracterizada** de trenes de tratamiento aplicables a asentamientos no planificados. Estas matrices se normalizan empleando las siguientes expresiones:

$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right)$ donde $c_j^* = \max_i \{c_{ij}\}$ para criterios cuya función de deseabilidad sea maximizar.

$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^*}, \frac{b_j^-}{b_{ij}^*}, \frac{c_j^-}{a_{ij}^*} \right)$ donde $a_j^- = \min_i \{a_{ij}\}$ para criterios cuya función de deseabilidad sea minimizar.

Como cálculo tipo para el criterio de facilidad de operación y mantenimiento (función de deseabilidad maximizar) para la alternativa TS+FAFA se tiene:

$$\tilde{r}_{11} = \left(\frac{2}{4}, \frac{3}{4}, \frac{4}{4} \right) = (0.50, 0.75, 1.00)$$

La matriz de decisión normalizada aparece a continuación:

³² Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), Article 1. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)

Criterio	Técnico														
	Facilidad de operación y mantenimiento	Consumo de energía	Eficiencia de remoción						Coliformes totales						
			SST	DBO	DQO	NT	PT	Coliformes totales							
Desecabilidad	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max		
Alternativa	Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
T5	10,53%	14,97%	21,32%	7,46%	10,17%	13,90%	1,6%	2,4%	3,3%	1,6%	2,4%	3,3%	1,6%	2,4%	3,3%
T5	0,50	0,75	1,00	1,00	0,50	0,33	0,63	0,79	0,95	0,42	0,61	0,79	0,44	0,64	0,83
T8	0,50	0,75	1,00	1,00	0,50	0,33	0,63	0,79	0,95	0,42	0,61	0,79	0,44	0,64	0,83
T10	0,50	0,75	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T11	0,50	0,75	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T12	0,25	0,50	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T13	0,25	0,75	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T24	0,25	0,50	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T25	0,25	0,50	0,75	0,50	0,33	0,25	0,91	0,95	1,00	0,91	0,93	0,95	0,90	0,92	0,94
T28	0,25	0,75	0,75	0,50	0,33	0,25	0,89	0,95	1,00	0,89	0,92	0,95	0,89	0,92	0,94
T29	0,25	0,75	0,75	0,50	0,33	0,25	0,91	0,95	1,00	0,91	0,93	0,95	0,90	0,92	0,94
T30	0,25	0,25	0,50	0,25	0,20	0,20	0,89	0,95	1,00	0,91	0,95	1,00	0,89	0,94	1,00
T31	0,25	0,25	0,50	0,25	0,20	0,20	0,89	0,95	1,00	0,91	0,95	1,00	0,90	0,95	0,97

Criterio	Económico				Ambiental																				
	CAPEX		OPEX		Potencial de reúso de biosólidos	Potencial de recuperación de energía	Potencial de reúso de agua tratada	Olores				Ruidos				Integración paisajística				GEI (Gases efecto invernadero)					
	Min	Max	Min	Max				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max						
Subcriterio	Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo				Peso ponderado relativo				Peso ponderado relativo									
Deseabilidad	Min	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max				Max				Max									
Alternativa	Min	Max	Min	Max	Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo	Peso ponderado relativo				Peso ponderado relativo				Peso ponderado relativo									
TS/TI+FAFA	8.52%	11.84%	16.69%	16.80%	7.18%	11.62%	18.34%	6.08%	10.02%	16.19%	5.20%	8.43%	13.81%	1.00%	1.65%	2.75%	1.00%	1.65%	2.75%	1.00%	1.65%	2.75%	1.00%	1.65%	2.75%
TS/TI+FAFA+CL	0.90	0.68	0.54	0.77	0.63	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.33	0.25	0.20	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.20
T8	0.84	0.63	0.50	0.93	0.68	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.33	0.25	0.20	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.20
T10	1.00	0.75	0.60	1.00	0.77	0.63	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T11	0.93	0.69	0.55	0.93	0.68	0.54	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T12	1.00	0.75	0.60	1.00	0.77	0.63	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T13	0.93	0.69	0.55	0.93	0.68	0.54	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T24	1.00	0.75	0.60	0.83	0.67	0.56	0.50	0.75	1.00	0.80	1.00	0.40	0.60	0.80	0.20	0.20	0.33	0.25	0.20	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.33
T25	0.93	0.69	0.55	0.78	0.60	0.94	0.50	0.75	1.00	0.80	1.00	0.50	0.80	1.00	0.20	0.20	0.33	0.25	0.20	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.33
T28	1.00	0.75	0.60	1.00	0.77	0.63	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T29	0.93	0.69	0.55	0.78	0.60	0.94	0.50	0.75	1.00	0.80	1.00	0.50	0.80	1.00	0.20	0.20	0.33	0.25	0.20	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.33
T30	0.94	0.43	0.36	0.63	0.42	0.31	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
T31	0.52	0.41	0.34	0.60	0.39	0.29	0.50	0.75	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20

Una vez calculada la matriz de decisión normalizada se realiza el cálculo de la matriz de decisión normalizada ponderada, utilizando la siguiente formula:

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_i = (a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2)$$

Como cálculo tipo \tilde{V}_{11}

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{11} \times w_1 = (0.50, 0.75, 1.00) \otimes (0.10, 0.14, 0.21) = (0.50 * 0.10, 0.75 * 0.14, 1.00 * 0.21) = (0.05, 0.11, 0.21)$$

A continuación, se encuentra la matriz de decisión normalizada ponderada:

Criterio		Técnico																							
Subcriterio	Facilidad de operación y mantenimiento	Consumo de energía						Eficiencia de renovación						SST	DBO		DQO		NT		PT		Coliformes		
		Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max		Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med
Alternativa	T5/TI+FAFA	10.53%	14.9%	21.3%	7.46%	10.1%	13.9%	1.69%	2.40%	3.39%	1.69%	2.40%	3.39%	1.69%	2.40%	3.39%	1.69%	2.40%	3.39%	1.69%	2.40%	3.39%	1.69%	2.40%	3.39%
		0.05	0.11	0.21	0.07	0.05	0.05	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	1.69%	2.40%	3.39%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T8/TI+FAFA+CL	0.05	0.11	0.21	0.07	0.05	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	1.69%	2.40%	3.39%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
	T10/TI+FP	0.05	0.11	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T11/TI+FP+CL	0.05	0.11	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T12/TI+CBR	0.03	0.07	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T13/TI+CBR+CL	0.03	0.07	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T24/FAFA+CBR	0.03	0.07	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T25/FAFA+CBR+CL	0.03	0.07	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T28/FAFA+FP	0.03	0.11	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T29/FAFA+FP+CL	0.03	0.11	0.16	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	T30/AE	0.03	0.04	0.11	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
	T31/AE+CL	0.03	0.04	0.11	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03

Criterio	Económico				Ambiental														
	CAPEX		OPEX		Potencial de reuso de biosólidos			Potencial de recuperación de energía			Potencial reuso de agua tratada			Índice de impacto ambiental					
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Olores	Ruidos	Integración paisajística	GEI (Gases efecto invernadero)			
Desabilidad																			
Alternativa	Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo		Peso ponderado relativo			Peso ponderado relativo			Peso ponderado relativo			Peso ponderado relativo			Peso ponderado relativo		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	
	8.52%	11.84%	6.69%	8.58%	11.92%	16.80%	7.18%	11.62%	18.34%	6.08%	10.02%	16.19%	5.20%	8.43%	13.91%	1.00%	1.65%	2.75%	
	T5																		
	TS/TI+FAFA	0.08	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.04	0.09	0.18	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.01	0.03	
	TS/TI+FAFA+CL	0.07	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.03	0.07	0.14	0.00	0.00	
	TI+FP	0.09	0.10	0.11	0.09	0.09	0.11	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00	
	TI+FP+CL	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.11	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.03	0.07	0.14	0.00	0.00	
	TI+CBR	0.09	0.10	0.11	0.09	0.09	0.11	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00	
	TI+CBR+CL	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.11	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.03	0.07	0.14	0.00	0.00	
	FAFA+CBR	0.09	0.10	0.11	0.07	0.08	0.09	0.04	0.09	0.18	0.05	0.10	0.16	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00	
	FAFA+CBR+CL	0.08	0.09	0.10	0.07	0.07	0.08	0.04	0.09	0.18	0.05	0.10	0.16	0.03	0.07	0.14	0.00	0.00	
	FAFA+FP	0.09	0.10	0.11	0.07	0.08	0.09	0.04	0.09	0.18	0.05	0.10	0.16	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00	
FAFA+FP+CL	0.08	0.09	0.10	0.07	0.07	0.08	0.04	0.09	0.18	0.05	0.10	0.16	0.03	0.07	0.14	0.00	0.00		
AE	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00		
AE+CL	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.04	0.08	0.14	0.00	0.00		

Una vez realizado el cálculo de la matriz normalizada ponderada se procede a computar la solución ideal positiva difusa (A^*) y la solución ideal negativa difusa (A^-) a través de la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \tilde{v}_3^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \text{ donde } \tilde{v}_j^* = \max_i \{v_j\}$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \tilde{v}_3^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \text{ donde } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_j\}$$

Como cálculo tipo, para el criterio facilidad de operación y mantenimiento se tiene:

$$A^* = (0.05, 0.11, 0.21)$$

$$A^- = (0.03, 0.04, 0.11)$$

A continuación, se encuentran las soluciones ideales positivas y negativas para el caso de estudio:

Técnico																
		Eficiencia de remoción														
		Consumo de energía		SST	DBO	DQO	NT	PT	Coliformes							
		Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max					
A+	0.05	0.11	0.21	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
A-	0.03	0.04	0.11	0.07	0.05	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01

Ambiental																							
		Índice de impacto ambiental																					
		Olores		Ruidos		Integración paisajista		GEI															
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max														
A+	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.09	0.18	0.05	0.10	0.16	0.04	0.08	0.14	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	
A-	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.11	0.04	0.09	0.18	0.01	0.02	0.06	0.01	0.03	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01

Una vez determinadas la solución ideal positiva difusa (A^*) y la solución ideal negativa difusa (A^-) para cada criterio j , se calcula la distancia ideal positiva y negativa para cada alternativa i respecto a las soluciones ideales calculadas previamente. Para este procedimiento se usa la siguiente fórmula:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \text{ donde } i=1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \text{ donde } i=1, 2, \dots, m$$

Como cálculo tipo se tiene que la distancia a la solución positiva para el criterio facilidad de operación y mantenimiento para la alternativa T5 está definida por:

$$d_{11}^+ = \sqrt{\frac{1}{3}[(0.05-0.05)^2+(0.11-0.11)^2+(0.21-0.21)^2]}=0.00$$

De esta manera se tiene que la distancia a la solución ideal de la primera alternativa se obtiene a través de:

$$d_{11}^+ = 0.00+0.04+0.00+0.01+0.01+0.02+0.02+0.02+0.03+0.04+0.00+0.07+0.04+0.00+0.01+0.00+0.00=0.32$$

A continuación, se presentan tablas con cálculos de distancia a la solución ideal negativa y positiva para cada alternativa:

Subcriterio		Criterio															d+	
		Técnico					Económico					Ambiental						
		Facilidad de operación y mantenimiento	Consumo de energía	Eficiencia de remoción				Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento	Potencial de reúso de biosólidos	Potencial de recuperación de biogás	Potencial de reúso de agua tratada	Índice de impacto ambiental					
		SST	DBO	DQO	NT	PT	Coliformes							Clores	Ruidos	Integración paisajista	Gas efecto invernadero (GEI)	
TS/TF+FAFA	T5	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.07	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.32
TS/TF+FAFA+CL	T8	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.07	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.25
TF+FP	T10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.07	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.27
TF+FP+CL	T11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.22
TF+CBR	T12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27
TF+CBR+CL	T13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23
FAFA+CBR	T24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
FAFA+CBR+CL	T25	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
FAFA+FP	T28	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
FAFA+FP+CL	T29	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
AE	T30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.21
AE+CL	T31	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16

Subcriterio		Criterio														d-
		Técnico							Económico			Ambiental				
		Facilidad de operación y mantenimiento	Consumo de energía	Eficiencia de remoción				Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento	Potencial de reuso de biosólidos	Potencial de recuperación de biogases	Potencial de reuso de agua tratada	Índice de impacto ambiental			
		SST	DBO	DOO	NT	PT	Coliformes					Olores	Ruidos	Integración paisajista	Gas efecto invernadero (GEI)	
TS/TI+FAFA	T5	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
TS/TI+FAFA+CL	T8	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
TI+FP	T10	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
TI+FP+CL	T11	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
TI+CBR	T12	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
TI+CBR+CL	T13	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
FAFA+CBR	T24	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
FAFA+CBR+CL	T25	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
FAFA+FP	T28	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
FAFA+FP+CL	T29	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
AE	T30	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
AE+CL	T31	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25

Finalmente, se calcula el coeficiente de proximidad de cada para la clasificación de las distintas alternativas aplicando la siguiente formula:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

Como cálculo tipo se tiene para la alternativa T5:

$$CC_i = \frac{0.10}{0.32 + 0.12} * 100 = 23.11$$

A continuación, se encuentran los coeficientes de cercanía calculados para cada alternativa con su respectiva clasificación:

Alternativa		CC	Clasificación
TS/TI+FAFA	T5	23.11	12
TS/TI+FAFA+CL	T8	39.11	9
TI+FP	T10	36.98	10
TI+FP+CL	T11	49.13	6
TI+CBR	T12	34.34	11
TI+CBR+CL	T13	46.02	8
FAFA+CBR	T24	52.85	5
FAFA+CBR+CL	T25	63.92	2
FAFA+FP	T28	54.47	4
FAFA+FP+CL	T29	66.05	1
AE	T30	48.92	7
AE+CL	T31	61.39	3

Anexo B. Ecuaciones para el predimensionamiento de las unidades operacionales

Rejillas

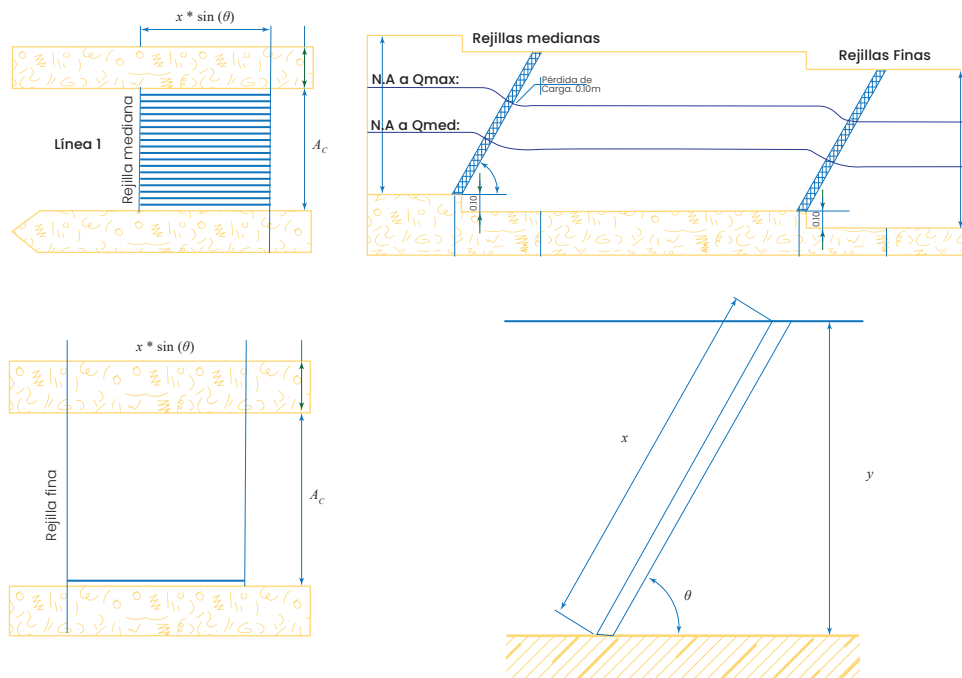


Figura B1. Esquema general de las rejillas de cribado

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)³³

1. Dimensionamiento de rejillas medianas

a. Área útil de la rejilla³⁴

$$A_u = Q_{max} / V_{paso}$$

Ecuación Rj 1

Dónde:

A_u : Área útil de agua que pasa por las rejillas [m²]

Q_{max} : Caudal máximo que pasa por las rejillas [m³/s]

V_{paso} : Velocidad de paso [m/s]

³³ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

³⁴ Se determina también para Q_{med}

b. Relación de ocupación de las rejillas

$$R = \frac{S}{S + a}$$

Ecuación Rj 2

Dónde:

S : Separación de las barras, rejillas medianas [mm]

a : Ancho de las barras, rejillas medianas [mm]

c. Sección del canal

$$S_c = \frac{A_u}{R}$$

Ecuación Rj 3

Dónde:

S_c : Sección del canal [m²]

A_u : Área útil de agua que pasa por las rejillas [m²]

R : Relación de ocupación

d. Ancho del canal³⁵

$$A_c = \frac{S_c}{h_{max}}$$

Ecuación Rj 4

Dónde:

A_c : Ancho del canal [m]

S_c : Sección del canal [m²]

h_{max} : Altura de lámina de agua [m]

e. Altura lámina de agua a Qmed

$$h_{med} = \frac{S_c}{A_c}$$

Ecuación Rj 5

Dónde:

h_{med} : Altura de lámina de agua para Qmed por línea [m]

A_c : Ancho del canal [m]

S_c : Sección del canal [m²]

³⁵ Se determina también para Qmed

f. Longitud de la barra

$$x = y / \sin\theta$$

Ecuación Rj 6

Dónde:

 x : Longitud de la barra [m] y : Altura total del canal de rejillas [m] θ : Ángulo de inclinación de las rejillas [°]**g. Número de barras rejillas medianas**

$$\text{No Barras} = \frac{A_c}{\frac{a + S}{1000}}$$

Ecuación Rj 7

Dónde:

 A_c : Ancho del canal [m] a : ancho de las barras medianas [mm] S : separación de las barras medianas [mm]**2. Dimensionamiento de rejillas finas****a. Número de barras rejillas finas**

$$\text{No Barras} = \frac{A_c}{\frac{a + S}{1000}}$$

Ecuación Rj 8

Dónde:

 A_c : Ancho del canal [m] a : ancho de las barras finas [mm] S : separación de las barras finas [mm]**b. Velocidad de paso³⁴**

$$V_{\text{paso}} = \frac{Q}{A_u}$$

Ecuación Rj 9

$$A_u = A_c h - (ah) \text{ No barras}$$

Ecuación Rj 10

Dónde:

 V_{paso} : Velocidad de paso entre las rejillas [m/s]

Q : Caudal [m^3/s]³⁶

A_u : Área útil [m^2]

A_c : Ancho del canal [m]

h : Altura de la lámina de agua [m]³⁷

a : Ancho de la barra [mm]

c. Pérdida de carga en las rejillas

Se determina teniendo en cuenta el paso del agua y el material sólido retenido por las rejillas, originará pérdidas que ocasionarán una disminución en el nivel de agua. De acuerdo con experiencias en la operación de plantas de tratamiento de AR municipal se tiene que la pérdida de carga en la rejilla con limpieza manual es de 0.10 m.

d. Material retenido en la rejilla

$$V_{RS} = Q_{rej} * f$$

Ecuación Rj 11

Dónde:

V_{RS} : Volumen de residuos sólidos retenidos [m^3/d]

Q_{rej} : Qmax del agua que pasa en el sistema de rejillas [m^3/s]

f : Factor de retención³⁸

³⁶ Se chequea con QMax y Qmed

³⁷ Se chequea con QMax y Qmed

³⁸ 15m/m³

Desarenador

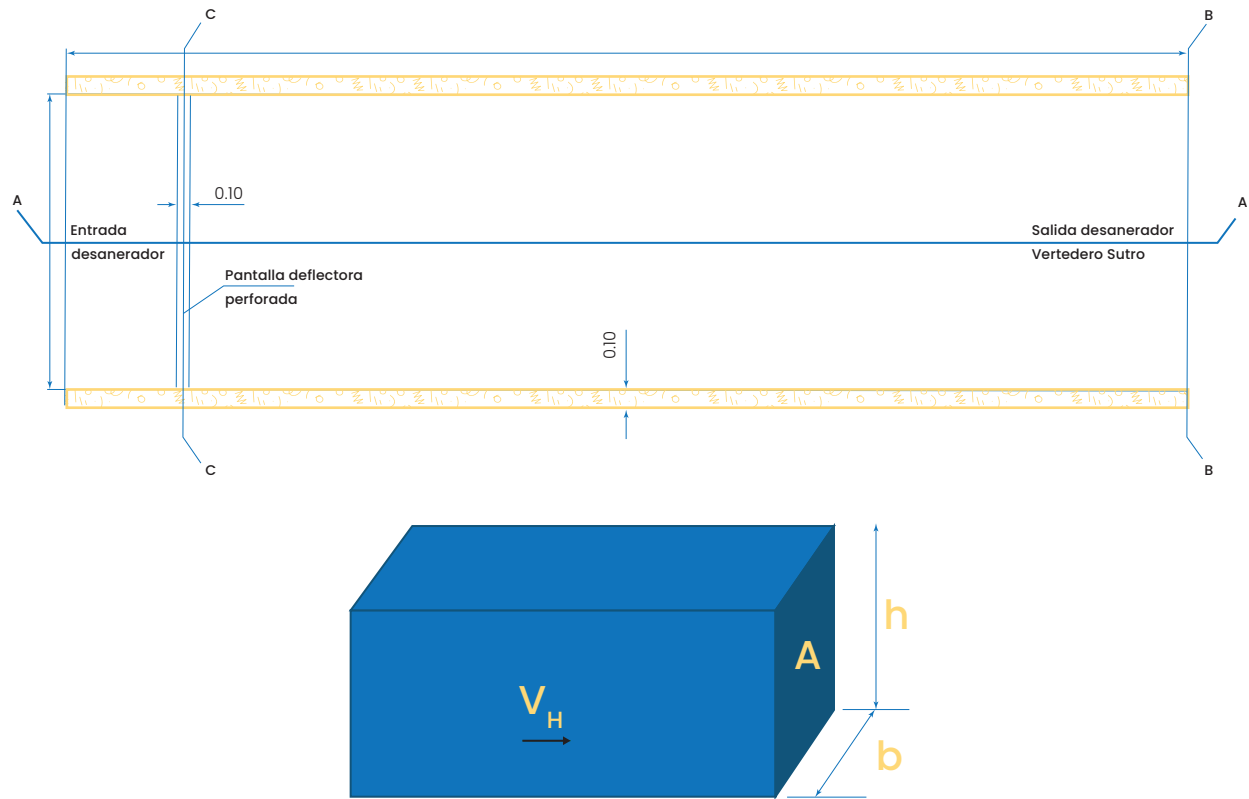


Figura B2. Esquema general de un desarenador

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)³⁹

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Área transversal

$$A = (Q_{max})/Vh$$

Ecuación D 1

Dónde:

A : Área transversal [m²]

Q_{max} : Caudal [m³/s]

Vh : Velocidad horizontal [m/s]

³⁹ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

b. Ancho del desarenador

$$A = b \cdot h$$

Ecuación D 2

Dónde:

A : Área transversal [m²]

b : Ancho [m]

h : Altura lámina de agua [m]

c. Longitud del desarenador

$$L = 15 \cdot h$$

Ecuación D 3

Dónde:

L : Longitud del desarenador [m]

h : Lámina de agua adoptada [m]

2. Pantalla deflectora

a. Área total de los orificios

$$ATO = Q_{max}/V_p$$

Ecuación D 4

Dónde:

ATO : Área total de los orificios [m²]

Q_{max} : Caudal de diseño máximo [m³/s]

V_p : Velocidad de paso [m/s]

b. Número de orificios

$$NO = \frac{ATO}{AO}$$

Ecuación D 5

Dónde:

NO : Número de orificios

ATO : Área total de orificios [m²]

AO : Área que ocupa un orificio⁴⁰[m²]

⁴⁰ 0.005m²

C. Separación entre orificios

$$E_f = (A_t - (n_f * \emptyset)) / n_f$$

Ecuación D 6

Dónde:

A_t : Altura total desarenador [m]

E_f : Espaciamiento entre filas

n_f : Número de filas

\emptyset : Diámetro de los orificios [m]

3. Zona de salida

a. Caudal que sale del Vertedero sutro

$$Q = 2.74 \sqrt{abv} (H - a/3)$$

Ecuación D 7

Dónde:

a : Altura mínima de la base del vertedero [m]

b_v : Ancho de la base del vertedero [m]

H : Altura de la lámina de agua [m]⁴¹

b. Ancho de la base del vertedero

$$b_v = 0.70 * b$$

Ecuación D 8

Dónde:

b_v : Ancho de la base del vertedero [m]

b : Ancho del vertedero [m]

c. Paredes del vertedero

$$x = b * (1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{y/a})$$

Ecuación D 9

Dónde:

a : Altura mínima de la base del vertedero [m]

b : Ancho de la base del vertedero [m]

4. Tolva de acumulación de arena⁴²

⁴¹ La altura mínima de la base del vertedero Sutró (a), es un valor adoptado, que puede ser inicialmente 0.05m según las recomendaciones de OPS (2005).

⁴² Forma trapezoidal.

a. Tasa de producción de arena

$$Tpa = Qmax * Mr$$

Ecuación D 10

Dónde:

Tpa : Tasa de producción de arenas [m³/d]

$Qmax$: Caudal de diseño máximo [m³/s]

Mr : material retenido [mL arena/m³]

b. Volumen de la tolva

$$Vt = Tpa * Tr$$

Ecuación D 11

Dónde:

Vt : volumen de la cámara de acumulación [m³]

Tpa : Tasa de producción de arenas [m³/d]

Tr : Tiempo de retiro [d]

c. Área transversal de la tolva

$$At = \left(\frac{As + Ai}{2} \right) * h$$

Ecuación D 12

Dónde:

At : Área trasversal de la tolva [m²]

As : Ancho superior (base mayor) [m]

Ai : Ancho inferior (base menor) [m]

h : Altura de la tolva [m]

d. Largo de la tolva

$$l = Vt / At$$

Ecuación D 13

Dónde:

l : Largo de la tolva de acumulación de arena [m]

At : Área trasversal de la tolva [m²]

Vt : Volumen de la tolva [m³]

e. Tubería de evacuación

$$Q_e = V_t * T_e$$

Ecuación D 14

Dónde:

Q_e : Caudal de evacuación de arenas [m³/s]

V_t : Volumen de la tolva [m³]

T_e : Tiempo de evacuación [min]

f. Diámetro tubería de evacuación

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{Q_e}{\pi * V_e}}$$

Ecuación D 15

Dónde:

\varnothing : Diámetro de tubería de evacuación [m]

Q_e : Caudal de evacuación [m³/s]

V_e : Velocidad de evacuación [m/s]

Trampa de grasas

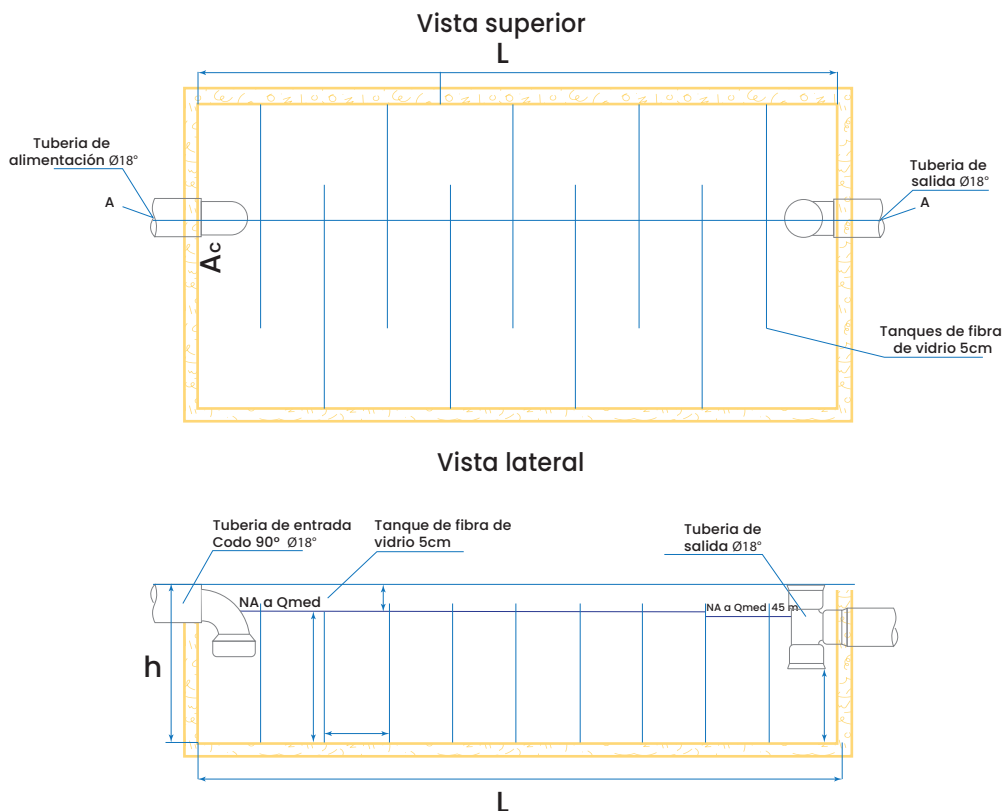


Figura B3. Esquema general de una trampa de grasas

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁴³

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen de la trampa de grasas

$$V = Q_{max} * TRH$$

Ecuación TG 1

Dónde:

V : Volumen de la trampa de grasa [m³]

Q_{max} : Caudal de diseño [m³/s]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [s]

⁴³ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

b. Área superficial de la trampa de grasas

$$A_{sup} = V * h$$

Ecuación TG 2

Dónde:

A_{sup} : Área superficial [m²]

V : Volumen de la trampa de grasa [m³]

h : Altura útil [m]

c. Ancho de la trampa de grasas

$$A_c = \sqrt{A_{sup} / X}$$

Ecuación TG 3

Dónde:

A_c : Ancho de la trampa de grasa [m]

A_{sup} : Área superficial [m²]

X : Valor adoptado de la relación largo ancho

d. Largo de la trampa de grasas

$$L = x * A_c$$

Ecuación TG 4

Dónde:

L : Longitud de la trampa de grasa [m]

A_c : Ancho de la trampa de grasa [m]

x : Valor adoptado de la relación largo ancho

e. Velocidad ascendente

$$V_{asc} = Q_{max} / A_s$$

Ecuación TG 5

Dónde:

V_{asc} : velocidad ascensional [mm/s]

Q_{max} : Caudal de diseño [m³/s]

A_s : Área superficial [m²]

f. Chequeo TRH

$$TRH = V / Q_{max}$$

Ecuación TG 6

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulica [s]

Q_{max} : Caudal de diseño [m^3/s]

V : Volumen de la trampa de grasa [m^3]

g. Número de tabiques

$$N_t = LT / (St + Gr)$$

Ecuación TG 7

Dónde:

N_t : Número de tabiques

L_t : Largo trampa de grasas [m]

S_t : Separación entre tabiques [m]

Gr : Grosor tabique [m]

Tanque séptico

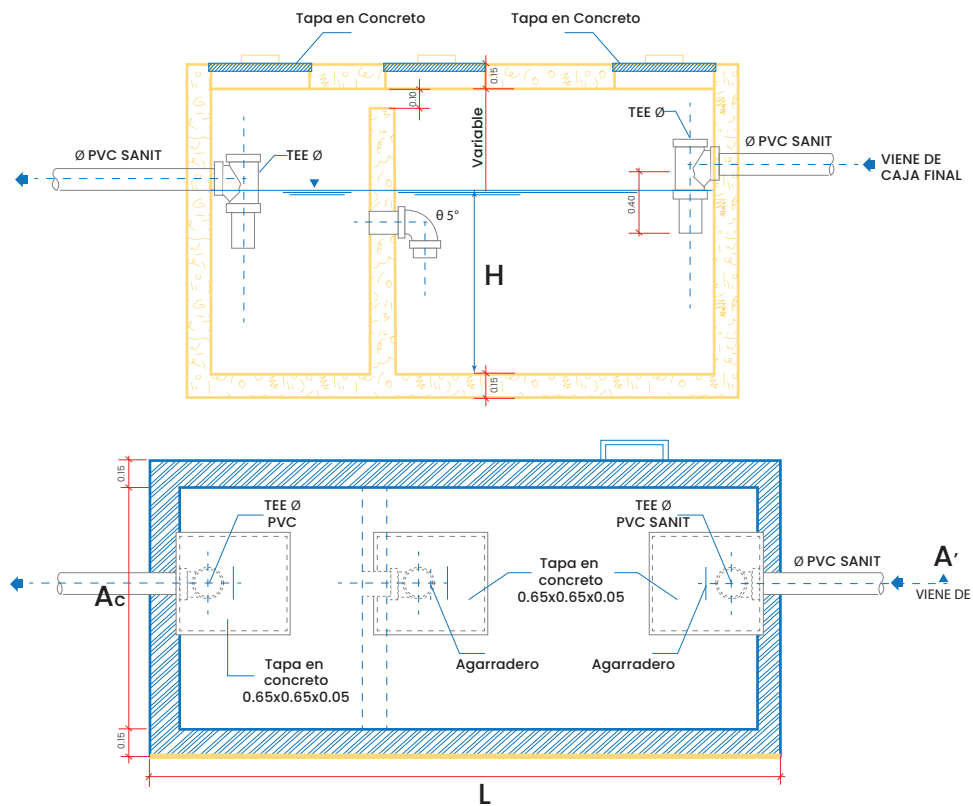


Figura B4. Esquema general de un tanque séptico

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁴⁴

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = 1.2 - 0.3 \log(Q_{med})$$

Ecuación TS 1

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

Q_{med} : Caudal medio de diseño [L/d]

⁴⁴ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

b. Volumen de sedimentación

$$V_s = Q_{med} / 1000 * TRH$$

Ecuación TS 2

Dónde:

V_d : Volumen de sedimentación [m³]

V_{al} : Volumen de almacenamiento de lodo [m³]

c. Tiempo de digestión de sólidos

$$T_d = 30 * (1.035)^{35 - T}$$

Ecuación TS 3

Dónde:

T_d : Tiempo de digestión [m³]

T : Temperatura ambiente [°]

d. Tasa máxima de utilización de DBO₅ al día

$$TDBO_5 = 6.67 * (1.035)^{T - 35}$$

Ecuación TS 4

Dónde:

$TDBO_5$: Tasa máxima de utilización de DBO₅ al día

T : Temperatura ambiente [°]

e. Tiempo de retención celular mínimo

$$T_c = \frac{1}{Y * TDBO_5}$$

Ecuación TS 5

Dónde:

T_c : Tiempo de retención celular [d⁻¹]

$TDBO_5$: Tasa máxima de utilización de DBO₅ al día

Y : Coeficiente de producción celular [mg de células/ mg OD utilizado]

f. Volumen de almacenamiento de lodo

$$V_{al} = 0.04 \text{ o } 0.06 * P * T_{ac}$$

Ecuación TS 6

Dónde:

V_{al} : Volumen de almacenamiento de lodo [m³]

P : Población a servir

T_{ac} : Tiempo de acumulación de lodo en el tanque [d]

g. Volumen de digestión

$$V_d = \frac{0.5 * P * T_d}{1000}$$

Ecuación TS 7

Dónde:

V_d : Volumen de digestión [m^3]

P : Población a servir

T_d : Tiempo de digestión [m^3]

h. Volumen de flotantes

$$V_f = 0.4 * V_{al}$$

Ecuación TS 8

Dónde:

V_f : Volumen de flotantes [m^3]

V_{al} : Volumen de almacenamiento de lodo [m^3]

i. Volumen total

$$V_t = V_s + V_d + V_{al} + V_f$$

Ecuación TS 9

Dónde:

V_t : Volumen de total del tanque séptico [m^3]

V_s : Volumen de sedimentación [m^3]

V_d : Volumen de digestión [m^3]

V_f : Volumen de flotantes [m^3]

V_{al} : Volumen de almacenamiento de lodo [m^3]

j. Área del tanque

$$A = V_t / H$$

Ecuación TS 10

Dónde:

A : Área del tanque [m^2]

V_t : Volumen de total del tanque séptico [m^3]

H : Profundidad útil del tanque [m^3]

k. Ancho del tanque

$$A_c = \sqrt{A/x}$$

Ecuación TS 11

Dónde:

A_c : Ancho del tanque [m]

A : Área del tanque [m²]

X : relación largo ancho [m]

l. Largo del tanque

$$L = x * A_c$$

Ecuación TS 12

Dónde:

L : Largo del tanque [m]

A_c : Ancho del tanque [m]

x : relación largo ancho [m]

m. Localización del bafle

$$L_b = 2L / 3$$

Ecuación TS 13

Dónde:

L_b : Localización del bafle [m]

L : Largo del tanque [m]

Clarificador primario

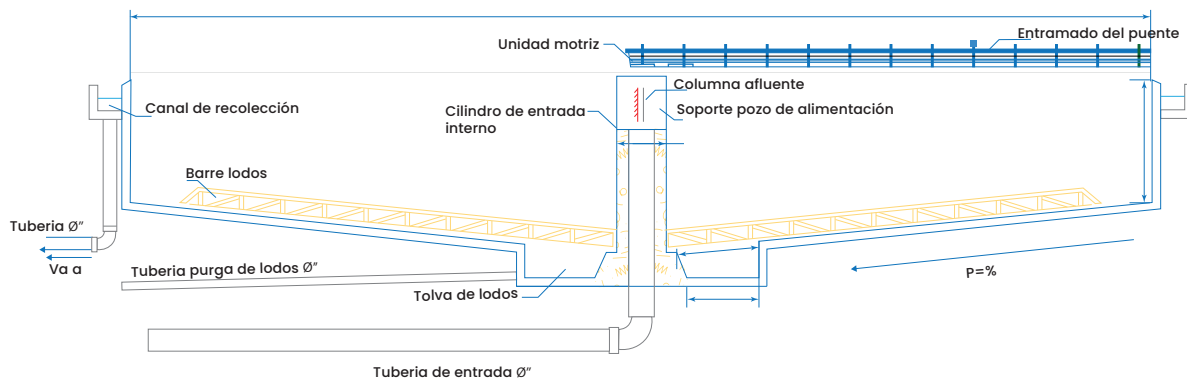


Figura B5. Esquema general de un clarificador primario

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁴⁵

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen del clarificador

$$V = Q_{med} * TRH$$

Ecuación C 1

Dónde:

V : Volumen [m³]

TRH : Tiempo de Retención Hidráulico [h]

Q_{med} : Caudal medio de Agua residual [m³/h]

b. Chequeo del TRH con QMax

$$TRH = V * Q_{max}$$

Ecuación C 2

Dónde:

TRH : Tiempo de Retención Hidráulico [h]

V : Volumen [m³]

Q_{max} : Caudal máximo de agua residual [m³/h]

⁴⁵ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

c. Área del clarificador

$$A = V / h$$

Ecuación C 3

Dónde:

A : Área del clarificador [m²]

V : Volumen [m³]

h : Profundidad útil [m]

d. Diámetro del clarificador

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Ecuación C 4

Dónde:

\varnothing : Diámetro del clarificador [m]

A : Área del clarificador [m²]

2. Dispositivo de entrada

a. Altura del cilindro

$$h_i = \text{Relacione altura del dispositivo de entrada} * h$$

Ecuación C 5

Dónde:

h_i : Altura cilindro [m]

h : Profundidad útil [m]

b. Diámetro del cilindro

$$\varnothing_i = 0.1 * \varnothing$$

Ecuación C 6

Dónde:

\varnothing_i : Diámetro del dispositivo de entrada [m]

\varnothing : Diámetro del clarificador [m]

c. Diámetro de la tubería de entrada

$$\varnothing_t = \sqrt{\frac{4 * Q_{max}}{v * \pi}}$$

Ecuación C 7

Dónde:

\varnothing_t : Diámetro de la tubería de entrada [in]

Q_{max} : Caudal máximo de Agua residual [m³/s]

v : Velocidad adoptada para evitar sedimentación

3. Estructura de salida⁴⁶

a. Longitud perimetral

$$L_p = \varnothing * \pi$$

Ecuación C 8

Dónde:

L_p : Longitud perimetral [m]

\varnothing : Diámetro del clarificador [m]

b. Longitud del vertedero

$$L_v = \frac{Q_{med}}{CV}$$

Ecuación C 9

Dónde:

L_v : Longitud del vertedero [m]

CV : Carga sobre el vertedero [m³/m*h]

c. Longitud de espacios del vertedero

$$L_e = L_p - L_v$$

Ecuación C 10

Dónde:

L_e : Longitud de espacios vacíos del vertedero [m]

L_p : Diámetro de la tubería de entrada [m]

L_v : Longitud del vertedero [m]

d. Longitud unitaria de cada vertedero

$$L_{uv} = H * 2$$

Ecuación C 11

Dónde:

L_{uv} : Longitud unitaria de cada vertedero [m]

H : Altura del vertedero [m]

⁴⁶ Cada unidad debe contar con un canal perimetral con el cual se recoja el agua clarificada proveniente de vertederos triangulares.

e. Número de vertederos

$$N_v = L_v / L_{uv}$$

Ecuación C 12

Dónde:

N_v : Número de vertedero

L_v : Longitud del vertedero [m]

L_{uv} : Longitud unitaria de cada vertedero [m]

f. Longitud de separación entre cada vertedero

$$A_e = L_e / N_v$$

Ecuación C 13

Dónde:

A_e : Separación entre cada vertedero [m]

L_e : Longitud de espacios vacíos del vertedero [m]

N_v : Número de vertedero

g. Tubería salida del efluente

$$\phi_{Tef} = \sqrt{\frac{4 * Q_{max}}{v * \pi}}$$

Ecuación C 14

Dónde:

ϕ_{Tef} : Diámetro tubería efluente vertedero [in]

Q_{max} : Caudal máximo de agua residual [m³/s]

v : Velocidad de salida en la tubería del efluente [m/s]

4. Recolección

a. Reducción de la concentración de Sólidos Suspendidos

$$K(\%) = \left[1 + \frac{T - 10}{200}\right] * \frac{SS}{6} * (1 - e^{-1.82 * TRH})$$

Ecuación C 15

Dónde:

K : Reducción de la concentración de Sólidos Suspendidos [%]

T : Temperatura promedio ambiente [°]

SS : Concentración de Sólidos Suspendidos afluente [mg/L]

TRH : Tiempo de Retención Hidráulico [h]

b. Reducción de la concentración de Sólidos Suspendidos

$$Q_{Lodo} = (K * SS * Q_{med}) / (1020 * CI)$$

Ecuación C 16

Dónde:

Q_{Lodo} : caudal de lodo producido [m³/h]

K : Porcentaje de reducción de sólidos suspendidos [%]

SS : Concentración de Sólidos Suspendidos afluente [mg/L]

Q_{med} : Caudal medio de diseño para cada unidad [m³/h]

CI : Concentración de sólidos en el lodo de purga adoptado [%]

1020 : Factor de conversión multiplicado por la densidad del agua

c. Volumen de lodo

$$V_{lodo} = Q_{lodo} * Trt$$

Ecuación C 17

Dónde:

V_{lodo} : Volumen de lodo producido [m³]

Q_{lodo} : caudal de lodo [m³/h] [%]

Trt : Tiempo de retención en la tolva [h]

d. Volumen de la tubería de salida

$$V_t = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

Ecuación C 18

Dónde:

V_t : Volumen de la tubería de salida [m³]

D : Diámetro de la tubería de entrada + grosor de muros [m]

h : Altura de la tolva [m]⁴⁷

e. Volumen de la tolva de lodo

$$V_{Tolva} = V_{lodo} + V_t$$

Ecuación C 19

Dónde:

V_{Tolva} : Volumen de la tolva [m³]

⁴⁷ Valor asumido. Se propone dimensionar una tolva en forma de cono truncado.

V_{Lodo} : Volumen de lodo producido [m³]

V_t : Volumen de la tubería de salida [m³]

f. Dimensiones de la tolva de lodo⁴⁸

$$V_{Tolva} = \frac{\pi * h (R^2 + r^2 + R * r)}{3}$$

Ecuación C 20

Dónde:

v_{Tolva} : Volumen de la tolva [m³]

R : Radio mayor [m]

r : Radio menor [m]

h : Altura de la tolva [m]⁴⁹

5. Purga de lodo

a. Caudal de purga

$$Q_{purga} = V_{lodo} / T_{purga}$$

Ecuación C 21

Dónde:

Q_{purga} : Caudal de purga [m³/d]

V_{lodo} : Volumen de lodo producido [m³]

T_{purga} : Tiempo requerido de purga [min]

b. Tubería de evacuación de lodo

$$\varnothing_{Te} = \sqrt{\frac{4 * Q_{purga}}{\pi * v_e}}$$

Ecuación C 22

Dónde:

\varnothing_{Tef} : Diámetro tubería evaluación del lodo [in]

Q_{purga} : Caudal de purga [m³/s]

v_e : Velocidad de salida de lodo en la purga [m/s]

⁴⁸ Se obtiene a través de interacción.

⁴⁹ Valor asumido. Se propone dimensionar una tolva en forma de cono truncado.

Filtro anaerobio

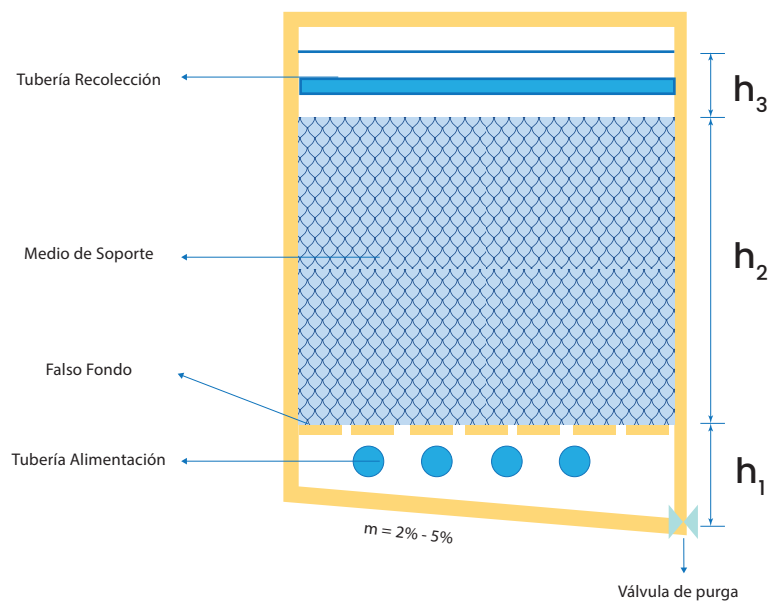


Figura B6. Esquema general de un filtro anaerobio

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁵⁰

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen del filtro

$$V = Q_{med} * TRH$$

Ecuación FA 1

Dónde:

V : Volumen del reactor [m^3]

Q_{med} : Caudal medio [m^3/h]

TRH : Tiempo de retención hidráulica [h]

b. Volumen del medio de soporte

$$V_m = V / EV$$

Ecuación FA 2

⁵⁰ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Dónde:

V_m : Volumen del medio de soporte [m³]

V : Volumen del reactor [m³]

EV : Porcentaje de vacíos [%]

c. Área del filtro

$$A = V_m / h_2$$

Ecuación FA 3

Dónde:

A : Área del filtro [m²]

V_m : Volumen del medio de soporte [m³]

h_2 : Altura del medio de soporte [m]

Nota

Varias investigaciones recomiendan modulación para $A > 800 \text{ m}^2$ ⁵¹

d. Largo y ancho del filtro

$$L = \frac{A_p * 20}{1.8}$$

Ecuación FA 4

$$An = \frac{A_p}{1.8 * 10}$$

Ecuación FA 5

Dónde:

L : Largo del filtro [m]

A_p : Área de punto de alimentación [m²]

An : Ancho del filtro [m]

e. Chequeo del TRH

$$TRH = L * An * h_2 * EV / Q_{med}$$

Ecuación FA 6

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulica [d]

L : Largo del filtro [m]

⁵¹ Se determina el largo y ancho del reactor en función del número de módulos definidos.

A_n : Ancho del filtro [m]

h_2 : Altura del medio de soporte [m]

EV : Porcentaje de vacíos [%/100]

Q_{med} : Caudal medio [m^3/d]

2. Diseño alimentación

a. Puntos de alimentación

$$N_{modulo} = L * A_n / A_{puntoAlimentación}$$

Ecuación FA 7

$$N_{línea} = N_{modulo} / NL$$

Ecuación FA 8

Dónde:

$N_{línea}$: Número de puntos por la línea de alimentación

N_{modulo} : Número de puntos por cada módulo

NL : Número de línea de alimentación

Nota

definir número de líneas de alimentación según las dimensiones del filtro⁵². Por tanto, se requiere definir el caudal de cada línea ($Q_{línea}$).

b. Distancia entre puntos de alimentación

$$L_{puntos} = L - dist_{alimentación_pared} / NL$$

Ecuación FA 9

Dónde:

L_{puntos} : Distancia entre puntos de alimentación [m]

$dist_{alimentación_pared}$: Distancia alimentación-pared [m]⁵³

NL : Número de línea de alimentación

c. Diámetro línea de alimentación

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * Q_{línea}}{V * \pi}}$$

Ecuación FA 10

Dónde:

\varnothing : Diámetro de la línea de alimentación [in]

⁵² Para el diseño de la zona de alimentación es necesario lograr una buena distribución del agua residual en la sección transversal al flujo. Por tanto, es necesario repartirla en un determinado número de líneas mediante múltiples difusores.

⁵³ Valor sugerido (0.5 + 0.5) m

$Q_{línea}$: Caudal de cada línea [m³/d]

V : Velocidad en la tubería [m/s]

d. Inclinación de la tubería de alimentación

$$Q = \frac{1.486}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Ecuación FA 11

Dónde:

Q : Caudal a tubo lleno [m³/s]

N : Rugosidad de la tubería

A : Área a tubo lleno [m²]

R : Radio hidráulico [m]

S : pendiente de la tubería [m/m]⁵⁴

3. Diseño del falso fondo

Para el diseño del falso fondo se plantea el uso de placas de cemento de 1.0 m x 1.0 m, y 0.08 m de espesor con orificios de 0.025 m de diámetro y separación entre ellos de 0.15 m, según lo recomendado en la literatura⁵⁵

$$N_{placas} = AF_{modulación}$$

Ecuación FA 12

Dónde:

N_{placas} : Caudal a tubo lleno

$AF_{modulación}$: Área del filtro/ Número de modulaciones

4. Diseño de recolección

$$Sor = \frac{\frac{\pi}{2} * r}{N_{orificios}}$$

Ecuación FA 13

Dónde:

Sor : separación entre orificios en la sección transversal de la tubería

Fuente

Para la recolección se recomienda que el número de líneas sea igual al número de líneas de alimentación; además, se sugiere que sea una tubería con orificios perforados de 0.025 m de diámetros separados cada 0.15 m. ^{4,5}

⁵⁴ A partir de iteraciones y las relaciones Q_{real}/Q y V_{real}/V para cada pendiente se chequea la velocidad en la tubería.

⁵⁵ Foresti et al., (1999); Chernicharo et al., (2017).

Reactor UASB

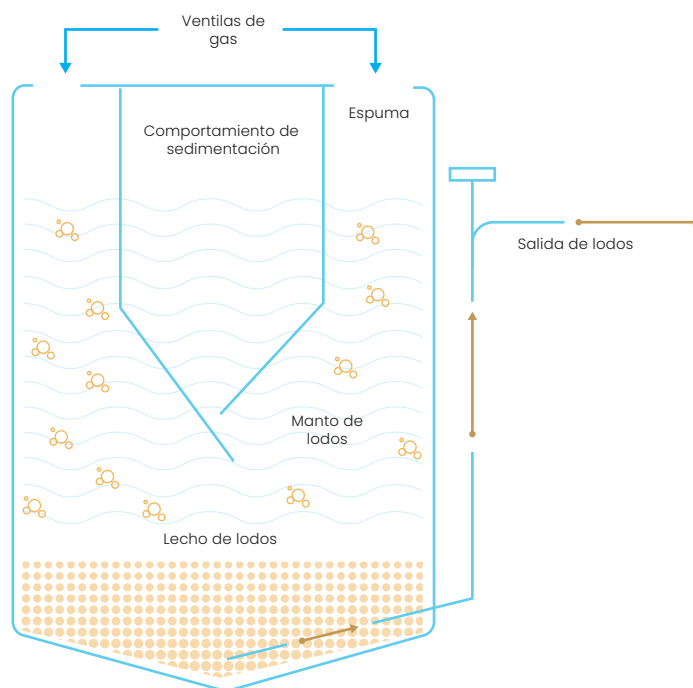


Figura B7. Esquema general de un reactor UASB

Fuente

Adaptado de Brault et al. (2022)⁵⁶

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen del reactor

$$Q_{med} = \frac{V}{TRH}$$

Ecuación UASB 1

Dónde:

Q_{med} : caudal de diseño [m^3/s]

V : Volumen reactor [m^3/s]

TRH : tiempo de retención hidráulico [m/s]

⁵⁶ Brault, J.-M., Buchauer, K., & Martin, G. (2022). Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

b. Ancho del reactor

$$An = (Nc * acam + Ns * ased)$$

Ecuación USAB 2

Dónde:

An : An: Ancho del reactor [m]

Nc : Numero de campanas

Ns : Número de sedimentadores

$acam$: Área de campana [m²]

$ased$: Área de sedimentadores [m²]

c. Área del reactor

$$Ar = \frac{V}{H}$$

Ecuación USAB 3

Dónde:

Ar : Área del reactor [m²]

V : Volumen reactor [m³]

H : Profundidad reactor [m]

d. Longitud del reactor

$$L = \frac{Ar}{An}$$

Ecuación USAB 4

Dónde:

L : Longitud del reactor [m]

Ar : Área del reactor [m²]

An : Ancho del reactor [m]

e. Área de paso y ancho de abertura

$$\text{Área paso total} = \frac{Q_{max}}{\text{Velocidad paso}^{57}}$$

Ecuación USAB 5

$$\text{ancho} = \frac{A(ab)^{58}}{L}$$

Ecuación USAB 6

⁵⁷ Esta área depende de la velocidad generada, la cual se recomienda que sea ≤ 2.5 m/h.

⁵⁸ Corresponde al área de paso total entre el número de sedimentadores.

Dónde:

$A(ab)$: Área de paso por sedimentador

L : Longitud del reactor [m]

f. Cálculo de $h1$ (zona de sedimentación)

$$x = \frac{(\text{ancho sedimentador} - \text{ancho abertura})}{2}$$

Ecuación USAB 7

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{h1}{x}$$

Ecuación USAB 8

$$h1 = (\tan \alpha) (x)$$

Ecuación USAB 9

Dónde:

$h1$: Altura zona de sedimentación 1 [m]

α : Angulo de inclinación [°]

g. Altura de la lámina de agua en la zona de alimentación

$$La = h1 + h2$$

Ecuación USAB 10

Dónde:

La : lámina de agua en el sedimentador [m]

$h1$: Altura zona de sedimentación 1 [m]

$h2$: Altura zona de sedimentación 2 [m]

h. Chequeo de la altura en el sedimentador

$$\frac{La}{H} \cong 30\%H^{59}$$

Ecuación USAB 11

Dónde:

La : lámina de agua en el sedimentador [m]

H : Profundidad reactor [m]

i. Deflector

$$Ad = \text{ancho abertura} + 2 \text{ Traslape}$$

Ecuación USAB 12

Dónde:

Ad : Ancho del deflector [m]

⁵⁹ Se debe garantizar alrededor de un 30% en la zona de sedimentación.

j. Altura del deflector

$$\tan \alpha = \frac{h \text{ deflector}}{\frac{\text{ancho deflector}}{2}}$$

Ecuación USAB 13

Dónde:

$h \text{ deflector}$: Alto del deflector [m]

k. Separación entre la pantalla inclinada y el deflector

$$S = \tan \alpha * \frac{\text{ancho abertura}}{2}$$

Ecuación USAB 14

Dónde:

$S \text{ deflector}$: Separación entre la pantalla y deflector [m]

2. Zona de alimentación

a. Número de puntos de alimentación

$$N^{\circ} \text{ Puntos} = \frac{A_r}{\text{ÁreaPunto}}$$

Ecuación UASB 15

Dónde:

A_r : Área del reactor [m²]

ÁreaPunto : Área de alimentación de cada punto

b. Número de puntos de alimentación por sedimentador

$$N^{\circ} \text{ Puntos por sedimentador} = \frac{N^{\circ} \text{ Puntos}}{N^{\circ} \text{ de sedimentadores}}$$

Ecuación UASB 16

c. Diámetro tubería de alimentación

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_{med}}{\pi * v}}$$

Ecuación UASB 17

Dónde:

d : Diámetro de tubería

Q_{med} : Caudal [m³/s]

v : Velocidad [m/s]

d. Diámetro tubería de alimentación a los sedimentadores

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_{med} / N^{\circ} \text{ de sedimentadores}}{\pi * v}}$$

Ecuación UASB 18

Dónde:

d : Diámetro de tubería

Q_{med} : Caudal [m^3/s]

v : Velocidad [m/s]

e. Diámetro tubería de alimentación a los sedimentadores por punto de alimentación

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_{sed} * N^{\circ} \text{ de puntos}}{\pi * v}}$$

Ecuación UASB 19

Dónde:

d : Diámetro de tubería

Q_{sed} : Caudal de sedimentación [m^3/s]

v : Velocidad [m/s]

$N^{\circ} \text{ de puntos}$: número de puntos en el sedimentador

Laguna Anaerobia

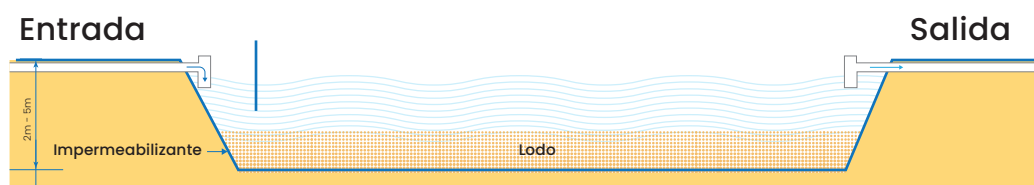


Figura B8. Esquema general de una laguna anaerobia

Fuente
Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁶⁰

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Carga orgánica volumétrica

$$COV = \frac{C * Q_{med}}{V}$$

Ecuación LA 1

Dónde:

COV : Carga orgánica volumétrica [g/m^3d]

Q_{med} : Caudal de agua residual medio [m^3/d]

C : Concentración de DBO_5 afluente [g/m^3]

V : Volumen de la laguna [m^3]

T (Temperatura) [°C]	Carga orgánica volumétrica (COV) [$g/m^3 d$]	Reducción DBO_5 %
< 10	100	40
10 a 20	20T - 100	2T + 20
20 a 25	10T + 100	2T + 20
> 25	350	70

⁶⁰ Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

b. Área

$$A = \frac{V}{h \text{ útil}}$$

Ecuación LA 2

Dónde:

 A : Área de la laguna [m²] V : Volumen de la laguna [m³] $h \text{ útil}$: Altura útil de la laguna [m]

Parámetro	Rango
Borde libre (F)	1-3 Ha; F= 0.5-1
	3 Ha; F= (log A) ^{1/2} -1
Talud (n)	1-3 m (interno)
	1.5-2.0 m (externo)
h útil	2.0-5.0 m

c. Chequeo del TRH

$$TRH^{61} = \frac{V}{Q_{med}}$$

Ecuación LA 3

Dónde:

 TRH : Área de la laguna [d] V : Volumen de la laguna [m³] Q_{med} : Caudal de agua residual [m³/d]**d. Longitud transversal de la laguna y longitud de fondo**

$$LT = L + 2nF$$

Ecuación LA 4

$$Lm = L - 2nD$$

Ecuación LA 5

Dónde:

 L : Longitud transversal de la laguna [m]

⁶¹ Si el TRH < 1, recalcular volumen.

L_T : Longitud total de la sección transversal de la laguna [m]

L_m : Longitud del fondo de la laguna en su sección transversal [m]

D : Profundidad [m]

n : Valor adoptado para el talud

F : Borde libre [m]

e. Sección longitudinal de la laguna

$$V = \frac{[(L*W) + (L-2n*D)(W-2n*D) + 4(L-nD)(W-nD)]}{\frac{D}{6}}$$

Ecuación LA 6

Dónde:

V : Volumen real de Laguna Anaerobia [m³]

W : Longitud de sección longitudinal de la laguna [m]

D : Profundidad [m]

n : Valor adoptado para el talud

L : Longitud de la sección transversal [m]

2. Estructura de entrada

a. Tubería de entrada

$$\phi = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}}$$

Ecuación LA 7

Dónde:

ϕ : Diámetro de la tubería [m]

Q : Caudal de diseño [m³]

v : Velocidad en tubería [m/s]

b. Estructura de medición de caudal

$$Q = 0.533 * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * \mu * h^{2.5}$$

Ecuación LA 8

Dónde:

Q : Caudal de diseño [m³]

θ : Angulo del Vertedero [°]

Dónde:

μ : coeficiente experimental 0.6 [m/s]

h : Tirante de agua vertedero [m]

3. Estructura de salida

a. Vertedero rectangular de recolección

$$q = 0.0567 h^{3/2}$$

Ecuación LA 9

Dónde:

q : Caudal que pasa por el vertedero [L/s]

h : altura del agua en la unidad [m]

b. Tubería de salida

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Ecuación LA 10

Dónde:

ϕ : Diámetro de la tubería [m]

Q : Caudal de diseño [m³]

v : Velocidad en tubería [m/s]

4. Purga de lodos

a. Porcentaje de volumen de la laguna o volumen de tolva

$$r = \frac{(n * COV * S)}{(DBO_5)}$$

Ecuación LA 11

Dónde:

n : Periodo de mantenimiento en años [año]

r : Porcentaje de volumen de la laguna o volumen de tolva de relación [%]

DBO_5 : Se refiere a DBO_5 per cápita

S : constante que depende de la temperatura T

COV : Carga Orgánica Volumétrica [g DBO_5 /m³ d]

b. Volumen de tolva

$$V_{Tolva} = r * V$$

Ecuación LA 12

Dónde:

V_{Tolva} : Volumen de la tolva [m³]

V : Volumen de la laguna [m³]

r : Porcentaje de volumen de la laguna o volumen de tolva de relación [%]

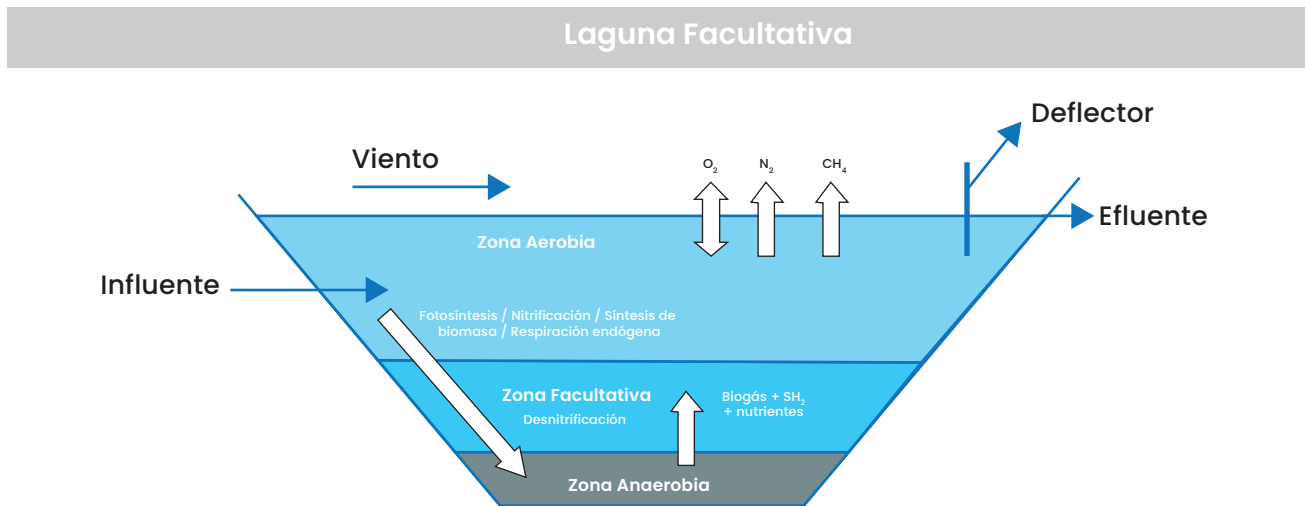


Figura B9. Esquema típico de una laguna facultativa

Fuente

Adaptado de Ortega de Miguel (2010)⁶²

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Carga superficial

$$\lambda_s = 250 * (1.085)^{T-20}$$

Ecuación LF 1

Dónde:

λ_s : Carga Orgánica superficial [KgDBO₅/Ha d]

T: Temperatura media mensual mínima del aire [°]

b. Área de la laguna

$$A_f = \frac{10LQ_{med}}{\lambda_s}$$

Ecuación LF 2

Dónde:

A_f : Área de la laguna [m²]

L: DBO₅ corregida por evaporación de laguna anaerobia (mg/L)

λ_s : Carga Orgánica superficial [KgDBO₅/Ha d]

⁶² Ortega de Miguel, E. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

c. Volumen de la laguna

$$V = Af * Z$$

Ecuación LF 3

Dónde:

V : Volumen de la laguna [m³]

Af : Área de la laguna [m²]

Z : Profundidad de la laguna [m]

d. Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = V / Q$$

Ecuación LF 4

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

Q : Caudal efluente [m³/d]

V : Volumen de la laguna [m³]

e. Ancho de la laguna

$$Bprom = \sqrt{Af / x}$$

Ecuación LF 5

Dónde:

$Bprom$: Ancho promedio de la laguna en [m]

Af : Área de la laguna [m²]

x : Relación largo ancho

f. Largo promedio de la laguna

$$Lprom = Aprom / Bprom$$

Ecuación LF 6

Dónde:

$Lprom$: Largo promedio de la laguna [m]

$Aprom$: Ancho promedio de la laguna [m]

$Bprom$: Ancho promedio de la laguna en [m]

g. Área superficial de la laguna

$$Asup = Lsup * Bsup$$

Ecuación LF 7

Dónde:

A_{sup} : Área superficial de la laguna [m²]

L_{sup} : Largo promedio de la laguna [m]

B_{sup} : Ancho superior de la laguna [m]

h. Ancho inferior de la laguna

$$B_{inf} = B - Z$$

Ecuación LF 8

Dónde:

B_{inf} : Ancho inferior de la laguna [m]

B : Ancho promedio de la laguna [m]

Z : Talud la laguna [m]

i. Largo inferior de la laguna

$$L_{inf} = L - Z$$

Ecuación LF 9

Dónde:

L_{inf} : Largo inferior de la laguna [m]

L : Largo promedio de la laguna [m]

Z : Talud la laguna [m]

j. Caudal efluente

$$Q_e = Q_i - 0.001 * A * ev$$

Ecuación LF 10

Dónde:

Q_e : Caudal efluente [m³/d]

Q_i : Caudal afluyente [m³/d]

A : Área de la laguna [m²]

ev : evaporación [mm/d]

2. Eficiencia de la unidad

a. Remoción de coliformes fecales. Factor de dispersión adimensional

$$d = \frac{\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B}}{N(mamparas+1)} \div \left(-0.26118 + 0.25392 * \left(\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B} \right) + 1.0136 * \left(\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B} \right)^2 \right)$$

Ecuación LF 11

Dónde:

d : Factor de dispersión adimensional

$Nmamparas$: Número de mamparas

B : Ancho promedio de la laguna [m]

b. Coeficiente de reducción bacteriana

$$Kb = 0.841 * (1.075)^{T-20}$$

Ecuación LF 12

Dónde:

Kb : Coeficiente de decaimiento bacteriano [d^{-1}]

T : Temperatura del agua [°]

c. Constante a ⁶³

$$a = \sqrt{1 + 4Kb * TRH * d}$$

Ecuación LF 13

Dónde:

Kb : Coeficiente de decaimiento bacteriano [d^{-1}]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

d : Factor de dispersión adimensional

d. Coliformes fecales en el efluente

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 * a * \exp^{1-a/2d}}{(1+a)^2}$$

Ecuación LF 14

$$Ne = \frac{Nf}{No} * Na$$

Ecuación LF 15

$$Necor = \frac{Ne * Qi}{Qe}$$

Ecuación LF 16

⁶³ Se sustenta por medio de la expresión de Wehner & Wilhem.

Dónde:

Q_e : Caudal efluente [m^3/d]

Q_i : Caudal afluente [m^3/d]

N_f/N_o : Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente

a : Constante a

d : Factor de dispersión adimensional

N_e : Coliformes fecales efluentes [NMP/100 mL]

N_a : Coliformes fecales afluente [NMP/100 mL]

N_{ecor} : Coliformes fecales corregidos por evaporación [NMP/100 mL]

e. Concentración de la DBO_5 en el efluente

$$K_f = 1.2 / (1.085)^{35-T}$$

Ecuación LF 17

$$DBO_{5\text{ efluente}} = \frac{DBO_{5\text{ afluente}}}{K_f * TRH + 1}$$

Ecuación LF 18

$$E = (DBO_{5\text{ afluente}} - DBO_{5\text{ efluente}}) / DBO_{5\text{ afluente}}$$

Ecuación LF 19

Dónde:

K_f : Constante de decaimiento a una determinada temperatura [d^{-1}]

T : Temperatura del agua [$^{\circ}$]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

$DBO_{5\text{ afluente}}$: DBO_5 en al afluente [mg/L]

$DBO_{5\text{ efluente}}$: DBO_5 en al efluente [mg/L]

Laguna Aireada

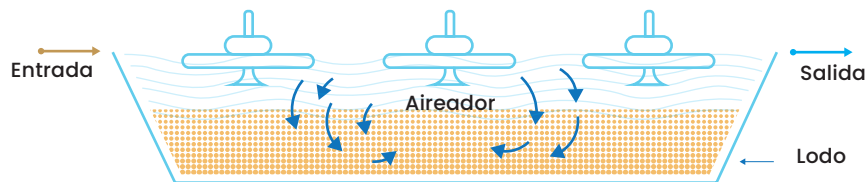


Figura B10. Esquema general de una laguna aireada

Fuente

Adaptado de Brault et al. (2022)⁶⁴

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen de la laguna

$$V = Q * TRH$$

Ecuación LAi 1

Dónde:

V : Volumen de la laguna [m^3]

Q : Caudal medio [m^3/d]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

b. Área de la laguna

$$A = V / H$$

Ecuación LAi 2

Dónde:

A : Área de laguna [m^2]

V : Volumen de la laguna [m^3]

H : Profundidad útil de la laguna [m]

⁶⁴ Brault, J.-M., Buchauer, K., & Martin, G. (2022). Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

c. Largo y ancho de la laguna

$$V = (L * An + (L - 2sH) * (An - 2sH) + 4(L - sH)(An - sH))^{d/6} \quad \text{Ecuación LAi 3}$$

Dónde:

V : Volumen de la laguna [m³]

L : Largo de la laguna [m]

An : Ancho de la laguna [m]

s : Factor horizontal del talud

H : Profundidad útil de la laguna [m]

Nota:
el largo se determina como una ecuación cuadrática

d. Temperatura del agua

$$T_w = \frac{A * f * T_a + Q * T_i}{A * f + Q} \quad \text{Ecuación LAi 4}$$

Dónde:

T_w : Temperatura de la laguna [°]

T_a : Temperatura ambiente [°]

T_i : Temperatura del agua a tratar [°]

f : constante⁶⁵

Q : Caudal [m³/d]

A : Área de laguna [m²]

e. Dependencia de la constante k en función de la temperatura

$$K = k_{20} * (1.035)^{T_w - 20} \quad \text{Ecuación LAi 5}$$

Dónde:

k_{20} : constante para 20°⁶⁶

T_a : Temperatura ambiente [°]

T_w : Temperatura de la laguna [°]

⁶⁵ Se sugiere 0.5 (Méndez y Días 2009).

⁶⁶ $k_{20} = 7$

2. Concentración del DBO₅ en el efluente

$$S = \frac{1+Kb*TRH}{Y*K*TRH} * S_0$$

Ecuación LAi 6

Dónde:

S : Concentración del DBO₅ en el efluente [mg/L]

S_0 : Concentración del DBO₅ en el afluente [mg/L]

Kb : Constante de respiración endógena en base al oxígeno [d⁻¹]

k : Constante de velocidad de remoción de DBO cuando se aplica el modelo cinético de Grau [d⁻¹]⁶⁷

3. Capacidad de los aireadores

a. Requerimiento de oxígeno

$$R = 1.5 * (S_0 - S) * Q / 1000$$

Ecuación LAi 7

Dónde:

R : Requerimiento de oxígeno [kg O₂ d⁻¹]

S_0 : Concentración del DBO₅ en el afluente [mg/L]

S : Concentración del DBO₅ en el efluente [mg/L]

Q : Caudal [m³/d]

⁶⁸1,5 kg O₂ (kg DBO remov.)⁻¹

b. Potencia del difusor

$$P = R / 24N$$

Ecuación LAi 8

Dónde:

P : Potencia del difusor [kW]

R : Requerimiento de oxígeno [kg O₂ d⁻¹]

N : Eficiencia de transferencia de oxígeno [kg O₂ kW⁻¹]

⁶⁷ $K=9,67 \text{ d}^{-1}$

⁶⁸ El requerimiento de oxígeno puede estimarse asumiendo que se necesitan 1,5 kgO₂ por cada kg de DBO₅ removido, (1,5 kg O₂ (kg DBO remov.)⁻¹).

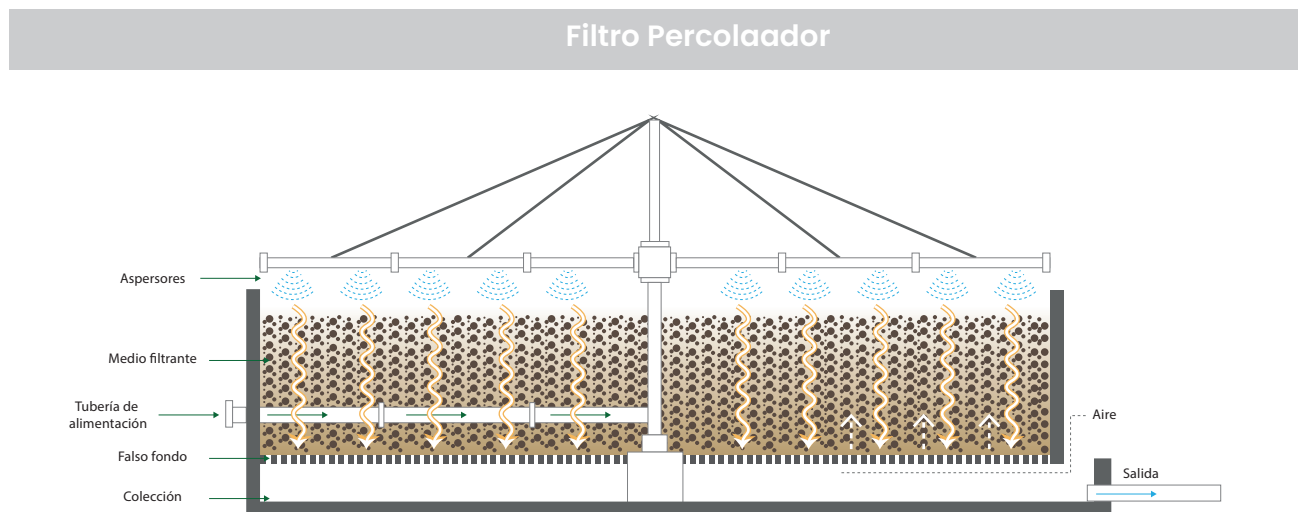


Figura B11. Esquema de un filtro percolador

Fuente
Adaptado de Brault et al. (2022)⁶⁹

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Área del reactor

$$A = \frac{Q_{med}}{CH}$$

Ecuación FP 1

Dónde:

A : Área del filtro [m²]

Q_{med} : Caudal medio [m³/d]

CH : Carga hidráulica [m³/m²día]

b. Diámetro del reactor

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Ecuación FP 2

Dónde:

A : Área del filtro [m²]

D : Diámetro del filtro percolador [m]

⁶⁵ Brault, J.-M., Buchauer, K., & Martin, G. (2022). Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

c. Volumen del reactor

$$V = (A * h) / (\%EV)$$

Ecuación FP 3

Dónde:

V : Volumen del filtro [m³]

A : Área del filtro [m²]

h : Altura útil del filtro percolador [m]

$\%EV$: Porcentaje de espacios vacíos [%]

2. Ventilación⁷⁰

a. Perímetro

$$P = \pi * D$$

Ecuación FP 4

Dónde:

P : Perímetro [m]

D : Diámetro [m]

b. Área de ventilación

$$Av = Rv * P$$

Ecuación FP 5

Dónde:

Av : Área de ventilación [m²]

P : Perímetro m

Rv : Relación de ventilación [m²/m³]⁷¹

c. Número de ventanas

$$NV = (Av) / (A)$$

Ecuación FP 6

Dónde:

NV : Número de ventanas [m²]

Av : Área de ventilación [m²]

A : Área de cada ventana [m²]

⁷⁰ La ventilación de tipo natural a través de ventanas ubicadas en la zona media del filtro, 50 cm debajo de del borde libre, teniendo en cuenta que los primeros centímetros de la parte superior estarán influenciados por el paso del viento natural del ambiente.

⁷¹ 0.1 m² de ventilación por cada 3 a 4.6 m de perímetro.

d. Separación horizontal entre ventanas

$$D_t = Ab * N_v \quad \text{Ecuación FP 7}$$

$$Sh_v = (P - D_t) / (N_v) \quad \text{Ecuación FP 8}$$

Dónde:

D_t : Distancia total [m]

Ab : Ancho de cada ventana [m]

N_v : Número de ventanas [m²]

Sh_v : Separación horizontal entre ventanas [m]

P : Perímetro del filtro [m]

3. Sistema de drenaje

a. Volumen total del filtro

$$V_{total} = V + V_D \quad \text{Ecuación FP 9}$$

Dónde:

V_{total} : Volumen total del filtro percolador [m³]

V : Volumen del filtro [m³]

V_D : Volumen de drenaje [m³]⁷²

b. Altura de la zona de drenaje

$$hd = V_D / A \quad \text{Ecuación FP 10}$$

Dónde:

hd : Altura de drenaje [m]

V_D : Volumen de drenaje [m³]

A : Área del filtro [m²]

4. Falso fondo⁷³

a. Número de placas

⁷² El volumen de la zona de drenaje oscila entre el 15 – 20% del volumen total del filtro.

⁷³ Constituido por placas perforadas de concreto que representan en total el 20% del área superficial del filtro. El diámetro de los orificios por facilidad de construcción se sugiere que sea de 1", grosor de la placa de 10 cm y forma cuadrada con un largo de 0.8 m por facilidades de manejo en la etapa constructiva.

$$No. Placas = A / Ap$$

Ecuación FP 11

Dónde:

A : Área del filtro [m²]

Ap : Área de cada placa [m²]

b. Distribución de los orificios en la placa

$$Ao = \frac{\pi * Do}{2}$$

Ecuación FP 12

$$No = \frac{Ap}{Do + Deo}$$

Ecuación FP 13

Dónde:

Ao : Área de cada orificio [m²]

Do : Diámetro del orificio [m]

No : número de orificios

Ap : Ancho de la placa [m]

Do : Diámetro de los orificios [m]

Deo : Distancia entre orificios [m]

5. Canal de recolección

a. Área transversal

$$A = Q / V$$

Ecuación FP 14

Dónde:

Q : Caudal máximo de cada unidad [m³/s]

V : Velocidad [m/s]

b. Longitud

$$L = D$$

Ecuación FP 15

Dónde:

L : Longitud del canal [m]

D : Diámetro del filtro [m]

6. Sistema de alimentación

a. Longitud de cada brazo

$$Lb = \frac{D - Da}{2}$$

Ecuación FP 16

Dónde:

Lb : Longitud de cada brazo [m]

D : Diámetro del filtro [m]

Da : Diámetro de alimentación [m]

b. Caudal de cada brazo

$$Qb = Qmax / Nb$$

Ecuación FP 17

Dónde:

Qb : Caudal de alimentación de cada brazo

$Qmax$: Caudal máximo de diseño [m^3/s]

Nb : Número de brazos

c. Frecuencia de rotación

$$n = \frac{(1+r) * CH}{(Nb * sk)}$$

Ecuación FP 18

Dónde:

n : Frecuencia de rotación

CH : carga hidráulica [$m^3/m^2.día$]

Nb : Número de brazos

sk : Cantidad de líquido aplicado [$mm/rotación$]⁷⁴

Kg DBO ₅ /m ³ d	sk mm/rotación
0.25	10 a 30
0.50	15 a 45
1	30 a 90
2	40 a 120
3	60 a 180
4	80 a 240

⁷⁴ Relación DBO₅ con SK.

7. Producción de lodos

a. Cantidad de lodo

$$Plodo = Y * (Lo - Le)$$

Ecuación FP 19

Dónde:

$Plodo$: Producción de lodo [Kg SST/d]

Y : coeficiente de rendimiento bruto [Kg SST/Kg DBO₅]

Lo : Carga en el afluente del filtro [Kg DBO₅/d]

Le : Carga en el efluente del filtro [Kg DBO₅/d]

Contactor Biológico Rotativo (CBR)

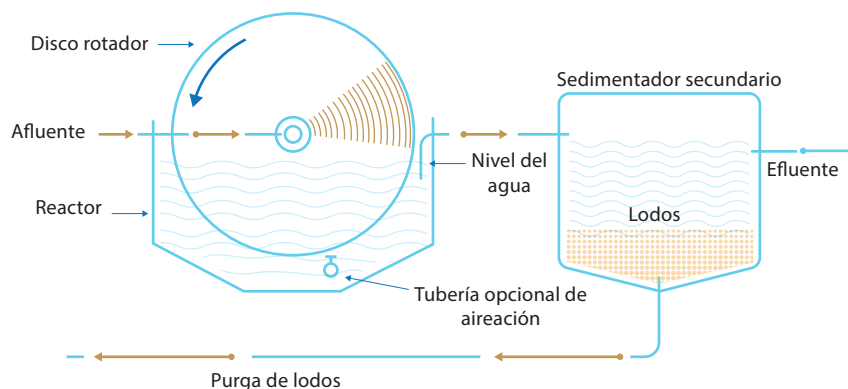


Figura B12. Esquema de un contactor biológico rotativo

Fuente

Adaptado de Brault et al. (2022)⁷⁵

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Carga superficial aplicada

$$CH = SDBO_5 * Qd$$

Ecuación BD 1

Dónde:

CH : Carga superficial aplicada [g/d]

Qd : Caudal de diseño [m³/s]

$SDBO_5$: Demanda Biológica de oxígeno soluble [mg/L]

b. Área del disco requerida

$$Ad = CH / CHa$$

Ecuación BD 2

Dónde:

Ad : Área del disco [m²]

CH : Carga superficial aplicada [g/d]

CHa : Carga superficial asumida en la primera etapa [g/m²d]

⁷⁵ Brault, J.-M., Buchauer, K., & Martin, G. (2022). Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

c. Número de ejes

$$N_e = A_d / A_e$$

Ecuación BD 3

Dónde:

N_e : Número de ejes

A_d : Área del disco [m²]

A_e : Área determinada por eje [m²/eje]

d. Altura lámina de agua

$$A_l = D * \frac{D}{d} + B_L$$

Ecuación BD 4

Dónde:

A_l : Altura lámina de agua [m]

D : Diámetro asumido del disco [m]

$\frac{D}{d}$: Factor de diámetros

B_L : Borde libre fondo [m]

e. Ancho del reactor

$$A_r = L_d + B_{La} * 2$$

Ecuación BD 5

Dónde:

A_r : Ancho del reactor [m]

L_d : Longitud del disco [m]

B_{La} : Borde libre lateral [m]

f. Profundidad del reactor

$$P_r = V_e / A_r * A_l$$

Ecuación BD 6

Dónde:

P_r : Profundidad del reactor [m]

V_e : Volumen requerido por eje [m³]

A_r : Ancho del reactor [m]

A_l : Altura lámina de agua [m]

g. Volumen del reactor

$$V = Al * Ar * Pr$$

Ecuación BD 7

Dónde:

V : Volumen requerido del reactor [m³]

Pr : Profundidad del reactor [m]

Ar : Ancho del reactor [m]

Al : Altura lámina de agua [m]

h. Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = Qd / V$$

Ecuación BD 8

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulico [h]

V : Volumen requerido del reactor [m³]

Qd : Caudal de diseño [m³/h]

i. Volumen diario de lodo

$$VI = SSTe * Qd / 1000$$

Ecuación BD 9

Dónde:

VI : Volumen de lodo diario [Kg/d]

$SSTe$: Concentración de sólidos suspendidos en el efluente [mg/L]

Qd : Caudal de diseño [m³/h]

2. Número de líneas y etapas

a. Ejes por líneas

$$El = Ne * Net$$

Ecuación BD 10

Dónde:

El : Ejes por línea

Ne : Número de ejes

Net : Número de etapas

b. Número de ejes totales

$$Et = El * NI$$

Ecuación BD 11

Dónde:

Et : Ejes totales

El : Ejes por línea

NI : Número de líneas

c. Caudal por línea

$$Ql = Qd * 24 / NI$$

Ecuación BD 12

Dónde:

Ql : Ejes totales [m^3/d]

Qd : Caudal de diseño [m^3/h]

NI : Número de líneas

3. Chequeo de carga orgánica

a. Carga orgánica primera etapa

$$CO = SDBO_5 * Ql * 24 / Ae * El$$

Ecuación BD 13

Dónde:

CO : Carga orgánica primera etapa [$gDBO_5$ soluble/ m^2d]

Ql : Caudal por línea [m^3/d]

Ae : Área determinada por eje [m^2/eje]

El : Ejes por línea

$SDBO_5$: Demanda Biológica de oxígeno soluble [mg/L]

b. Carga orgánica promedio

$$COp = SDBO_5 * Ql * 24 / Ae * El * Net$$

Ecuación BD 14

Dónde:

COp : Carga orgánica promedio [$gDBO_5$ soluble/ m^2d]

Ql : Caudal por línea [m^3/d]

Ae : Área determinada por eje [m^2/eje]

Ei: Ejes por línea

SDBO₅: Demanda Biológica de oxígeno soluble [mg/L]

Net: Número de etapas

c. Carga hidráulica

$$CH = Ei * 24 / Ae * Net * El$$

Ecuación BD 15

Dónde:

CH: Carga hidráulica [m³/m²d]

Ei: Gasto de diseño por línea [m³/s]

Net: Número de etapas

El: Ejes por línea

Ae: Área determinada por eje [m²/eje]

Reactor secuencial por tandas (SBR)

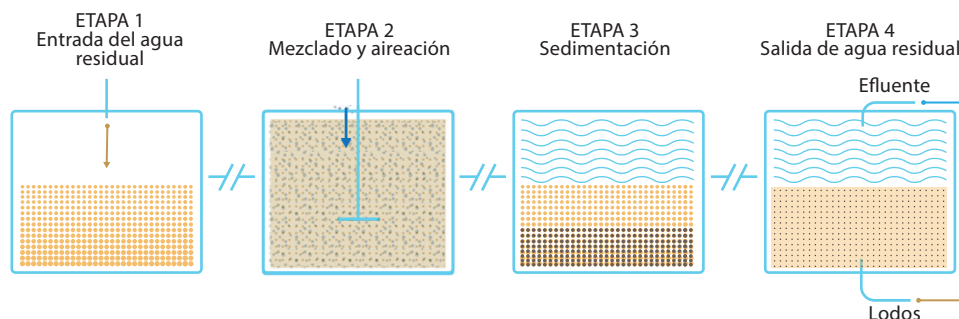


Figura B13. Esquema de un reactor secuencial por Tandas

Fuente

Adaptado de Brault et al. (2022)⁷⁶

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen del reactor

$$V = Q_{med} * TRH$$

Ecuación SBR 1

Dónde:

V : Volumen del reactor [m³]

Q_{med} : Caudal afluente [m³/d]

TRH : Tiempo de retención (fase aerobia, intermedia y anóxica) [d]

b. Área del reactor

$$A = V / H$$

Ecuación SBR 2

Dónde:

A : Área del reactor [m²]

V : Volumen del reactor [m³]

H : Profundidad del reactor [m]⁷⁷

⁷⁶ Brault, J.-M., Buchauer, K., & Martin, G. (2022). Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

⁷⁷ Se determina por iteración y se chequea con el volumen del reactor.

c. Largo y Ancho del reactor

$$L = An = \sqrt{A}$$

Ecuación SBR 3

Dónde:

L : Largo del reactor [m]

A : Área del reactor [m²]

An : Ancho del reactor [m]

d. Carga másica en el reactor

$$CM = \frac{So * Q_{med}}{V * X}$$

Ecuación SBR 4

Dónde:

CM : Carga másica [Kg DBO d⁻¹ / Kg SSLM]

Q_{med} : Caudal medio del afluente [m³/d]

So : DBO₅ afluente [kg/L]

V : Volumen del reactor [m³]

X : Concentración del licor mezcla [kg/L]

e. Coeficiente estequiométrico que expresa Kg O₂/Kg DBO₅ eliminada

a en función de la carga másica

Carga Másica (Kg DBO/d/kg SSLM)	α (Kg O ₂ /kg DBO eliminada)
1	0.5
0.7	0.5
0.5	0.5
0.4	0.53
0.3	0.55
0.2	0.59
0.1	0.65
0.05	0.66

f. Oxígeno de síntesis

$$O_2 \text{ síntesis} = a * R * So$$

Ecuación SBR 5

Dónde:

$O_2 \text{ síntesis}$: Oxígeno requerido para síntesis celular [Kg O_2/m^3]

a : Coeficiente estequiométrico [Kg $O_2/Kg \text{ DBO}_5$]

R : Eficiencia del reactor [%]

S_o : DBO_5 afluente [mg/L]

g. Respiración endógena

$$Re = b * V * X$$

Ecuación SBR 6

Dónde:

Re : Respiración endógena [Kg O_2/d]

b : Coeficiente cinético que define el desarrollo de la respiración endógena [d^{-1}]

X : Concentración del licor mezcla [mg/L]

V : Volumen del reactor [L]

h. Requerimiento de O_2 total

$$O2t = O_2 \text{ síntesis} + Re$$

Ecuación SBR 7

Dónde:

$O2t$: Oxígeno total [Kg O_2/d]

$O_2 \text{ síntesis}$: Oxígeno requerido para síntesis celular [Kg O_2/m^3]

Re : Respiración endógena [Kg O_2/d]

i. Área del difusor

$$Ad = \pi * r^2$$

Ecuación SBR 8

Dónde:

Ad : Área del difusor [m^2]

r : Radio de cada difusor

j. Eficacia de la transferencia de oxígeno

$$E = \text{Eficiencia del difusor}^{78} * H$$

Ecuación SBR 9

Dónde:

E : Eficacia de transferencia de oxígeno [%]

H : Profundidad del reactor [m]

⁷⁸ Se determina en catálogos.

k. Número de difusores

$$Nd = \text{Flujo de aire por difusor}^{79} * H * C$$

Ecuación SBR 10

Dónde:

Nd : Número de difusores

H : Profundidad del reactor [m]

C : Valor que se itera hasta chequear el flujo másico de aire

⁷⁹ Se obtiene de catálogo.

Laguna de maduración

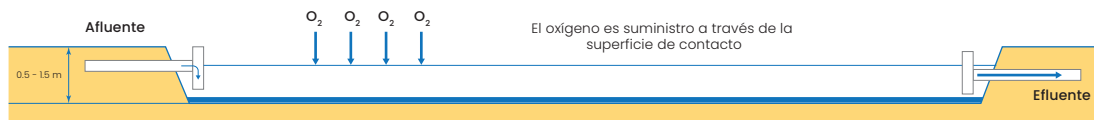


Figura B14. Esquema típico de una laguna de maduración

Fuente
Tomado de MVCT (2021)⁸⁰

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Volumen de la laguna

$$V = Q * TRH$$

Ecuación LM 1

Dónde:

V : Volumen de [m³]

Q : Caudal medio [m³/d]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

b. Área de la laguna

$$A = V / H$$

Ecuación LM 2

Dónde:

A : Área de la laguna [m²]

V : volumen de la laguna [m³]

H : Profundidad útil de la laguna [m]

c. Ancho promedio de la laguna

$$B = \sqrt{A / x}$$

Ecuación LM 3

Dónde:

B : Ancho promedio de la laguna [m]

A : Área de la laguna [m²]

x : Relación largo ancho [m]

⁸⁰ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) (2021). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS): TÍTULO E. Tratamiento de Aguas Residuales. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico.

d. Largo promedio de la laguna

$$L = A / B$$

Ecuación LM 4

Dónde:

L : Relación largo ancho [m]

B : Ancho promedio de la laguna [m]

A : Área de la laguna [m²]

e. Ancho superior de la laguna

$$B_{sup} = B + Z$$

Ecuación LM 5

Dónde:

B_{sup} : Ancho superior de la laguna [m]

B : Ancho promedio de la laguna [m]

Z : Talud la laguna [m]

f. Largo superior de la laguna

$$L_{sup} = L + Z$$

Ecuación LM 6

Dónde:

L_{sup} : Largo superior de la laguna [m]

L : Largo de promedio de la laguna [m]

Z : Talud la laguna [m]

g. Área superficial de la laguna

$$A_{sup} = L_{sup} * B_{sup}$$

Ecuación LM 7

Dónde:

A_{sup} : Área superficial de la laguna [m²]

L_{sup} : Largo promedio de la laguna [m]

B_{sup} : Ancho superior de la laguna [m]

h. Ancho inferior de la laguna

$$B_{inf} = B - Z$$

Ecuación LM 8

Dónde:

B_{inf} : Ancho inferior de la laguna [m]

B : Ancho promedio de la laguna [m]

Z : Talud de la laguna [m]

i. Largo inferior de la laguna

$$L_{inf} = L - Z$$

Ecuación LM 9

Dónde:

L_{inf} : Largo inferior de la laguna [m]

L : Largo promedio de la laguna [m]

Z : Talud la laguna [m]

j. Caudal efluente

$$Q_e = Q_i - 0.001 * A * ev$$

Ecuación LM 10

Dónde:

Q_e : Caudal efluente [m³/d]

Q_i : Caudal afluente [m³/d]

A : Área de la laguna [m²]

ev : evaporación [mm/d]

2. Eficiencia de la unidad

a. Remoción de coliformes fecales. Factor de dispersión adimensional

$$d = \frac{\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B}}{(Nmamparas+1)} \div \left[-0.26118 + 0.25392 * \left(\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B} \right) + 1.0136 * \left(\frac{L * 0.7 * (Nmamparas+1)}{B} \right)^2 \right]$$

Ecuación LM 11

Dónde:

d : Factor de dispersión adimensional

$Nmamparas$: Número de mamparas

B : Ancho promedio de la laguna [m]

b. Coeficiente de reducción bacteriana

$$Kb = 0.841 * (1.075)^{T-20}$$

Ecuación LM 12

Dónde:

Kb : Coeficiente de decaimiento bacteriano [d^{-1}]

T : Temperatura del agua [$^{\circ}$]

c. Constante a^{81}

$$a = \sqrt{1 + 4Kb * TRH * d}$$

Ecuación LM 13

Dónde:

Kb : Coeficiente de decaimiento bacteriano [d^{-1}]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

d : Factor de dispersión adimensional

d. Coliformes fecales en el efluente

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 * a * \exp^{1-a/2d}}{(1+a)^2}$$

Ecuación LM 14

$$Ne = \frac{Nf}{No} * Na$$

Ecuación LM 15

$$Necor = \frac{Ne * Qi}{Qe}$$

Ecuación LM 16

Dónde:

Qe : Caudal efluente [m^3/d]

Qi : Caudal afluyente [m^3/d]

Nf/No : Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente

a : Constante a

d : Factor de dispersión adimensional

Ne : Coliformes fecales efluentes [NMP/100 mL]

Na : Coliformes fecales afluyente [NMP/100 mL]

$Necor$: Coliformes fecales corregidos por evaporación [NMP/100 mL]

⁸¹ Se sustenta por medio de la expresión de Wehner & Wilhem.

e. Concentración de la DBO_5 en el efluente

$$Kf = 1.2 / (1.085)^{35-T} \quad \text{Ecuación LM 17}$$

$$DBO_{5 \text{ efluente}} = \frac{DBO_5 \text{ efluente}}{Kf * TRH + 1} \quad \text{Ecuación LM 18}$$

$$E = (DBO_5 \text{ afluente} - DBO_5 \text{ efluente}) / DBO_5 \text{ afluente} \quad \text{Ecuación LM 19}$$

Dónde:

Kf : Constante de decaimiento a una determinada temperatura [d^{-1}]

T : Temperatura del agua [$^{\circ}$]

TRH : Tiempo de retención hidráulico [d]

$DBO_5 \text{ afluente}$ DBO_5 en al afluente [mg/L]

$DBO_5 \text{ efluente}$ DBO_5 en al efluente [mg/L]

Humedal subsuperficial de flujo horizontal

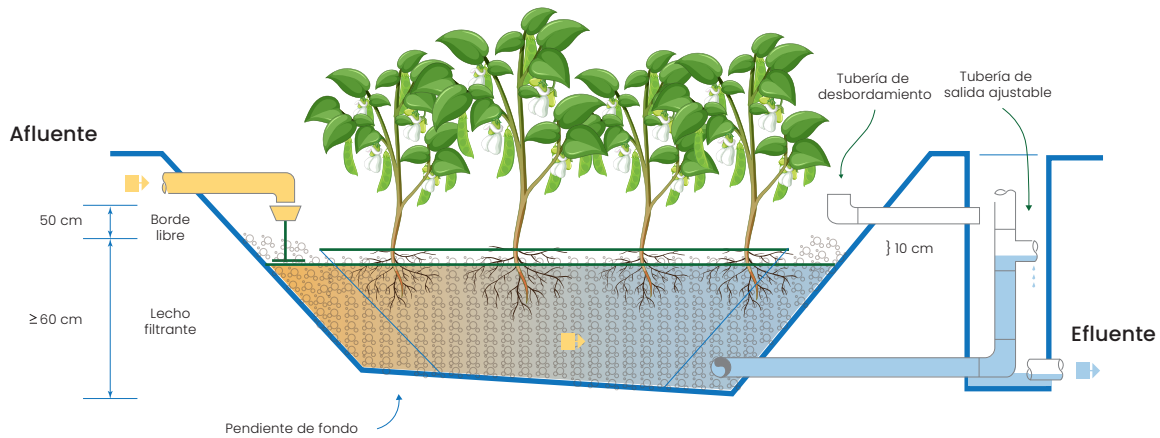


Figura B15. Humedales artificiales de flujo horizontal

Fuente

Tomado de Dotro et al. (2021)⁸²

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Cinética de orden 1

$$\frac{dC}{dt} = -K_v C$$

Ecuación HHS 1

Dónde:

$\frac{dC}{dt}$: Tasa de variación de la concentración del contaminante con respecto al tiempo [mg/L*d]

C : Concentración del contaminante [mg/L]

K_v : Constante de cinética de primer orden [d⁻¹]

b. Área del humedal

$$s = \frac{Q}{K_a} * \ln[C_0/C_1]$$

Ecuación HHS 2

Dónde:

S : Área del humedal [m²]

Q : Caudal medio [m³/d]

K_a : Constante de biodegradación para DBO₅ [m/d]

⁸² Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., & Stein, O. (2017). *Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands*.

C_o : Concentración DBO_5 en el afluente [mg/L]

CI : Concentración DBO_5 en el efluente [mg/L]

c. Chequeo de la carga orgánica

$$C_s = \frac{Q * C_o}{s}$$

Ecuación HHS 3

Dónde:

C_s : Chequeo de la carga orgánica [g DBO_5 / m^2d]

C_o : Concentración DBO_5 afluente [mg/L]

Q : Caudal medio [m^3/d]

s : Área del humedal

d. Capacidad del sistema para remover Nitrógeno amoniacal

$$CI = \frac{C_o}{e^{(s * ka / Q)}}$$

Ecuación HHS 4

Dónde:

CI : Concentración de amonio [mg/L]

s : Área del humedal [m^2]

ka : Constante de biodegradación para DBO_5 [mg/d]

Q : Caudal medio [m^3/d]

e. Área de la sección transversal

$$AS = \frac{Q}{K_s * S_0}$$

Ecuación HHS 5

Dónde:

AS : Área sección transversal del humedal [m^2]

Q : Caudal medio [m^3/d]

K_s : Conductividad hidráulica [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$]

S_0 : Gradiente hidráulico o pendiente [m/m]

f. Ancho del humedal

$$An = \frac{AS}{h}$$

Ecuación HHS 6

Dónde:

An : Ancho del humedal [m]

AS : Área sección transversal del humedal [m^2]

h : Altura del humedal [m]

g. Largo del humedal

$$L = \frac{s}{An}$$

Ecuación HHS 7

Dónde:

L : Largo del humedal [m]

s : Área del humedal [m²]

An : Ancho del humedal [m]

Humedal subsuperficial de flujo vertical

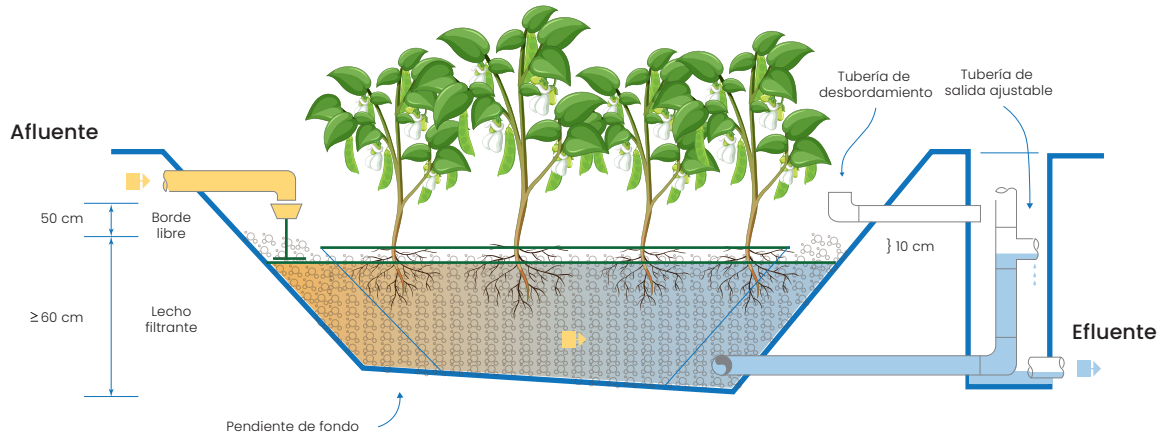


Figura B16. Humedales subsuperficiales de flujo vertical

Fuente

Tomado de Dotro et al. (2021)⁸³

1. Dimensionamiento de la unidad

a. Cálculo de Kt

$$Kt = k_{20} * (1.06)^{T-20}$$

Ecuación HSV 1

Dónde:

k_{20} : Constante de temperatura (a 20° C) para humedales subsuperficiales [d⁻¹]

Kt : Coeficiente corregido a la temperatura de operación [d⁻¹]

T : Temperatura [°C]

b. Cálculo de área superficial

$$A_s = \frac{Q (LnCo - LnC)}{Kt * h * n}$$

Ecuación HSV 2

Dónde:

A_s : Área superficial del humedal [m²]

Q : Caudal de diseño [m³/d]

Co : Concentración afluente de DBO₅ [mg/L]

C : Concentración efluente de DBO₅ [mg/L]

⁸³ Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., & Stein, O. (2017). *Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands*.

K_t : Coeficiente corregido a la temperatura de operación [d^{-1}]

h : Profundidad del humedal [m]

n : Porosidad del lecho de material del humedal [%]

c. Ancho del humedal

$$An = \sqrt{\frac{As}{x}}$$

Ecuación HSV 3

Dónde:

An : Ancho del humedal [m]

As : Área superficial del humedal [m^2]

x : Relación largo ancho

d. Largo del humedal

$$L = x / An$$

Ecuación HSV 4

Dónde:

L : Largo del humedal [m]

An : Ancho del humedal [m]

x : Relación largo ancho

e. Área transversal del humedal

$$At = h * An$$

Ecuación HSV 5

Dónde:

At : Área transversal [m^2]

h : Profundidad del humedal [m]

An : Ancho del humedal [m]

f. Tubería salida del efluente

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Ecuación HSV 6

Dónde:

\emptyset : Diámetro de la tubería [m]

Q : Caudal de diseño [m^3]

v : Velocidad en tubería [m/s]

Referencias

- Adhikari, J. R., & Lohani, S. P. (2019). Design, installation, operation and experimentation of septic tank – UASB wastewater treatment system. *Renewable Energy*, 143, 1406–1415. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.04.059>
- Augustos de Lemos Chernicharo, C., & Von Sperling, M. (2005). Biological wastewater treatment in warm climate regions (p. 857). IWA publishing
- Cortés, F., Treviño, a. & Tomasini, A. (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilización. Mexico
- Chernicharo C. (2007). Princípio do tratamento biológico de águas residuais: Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária y Ambiental (DESA). Universidade Federal de Minas Gerais. Volume 5, 2da edición. Brasil
- EPA. Design Manual Municipal Wastewater Stabilization Ponds
- Foresti, E., Florêncio, L., Van Haandel, A., Zaiat, m. & Cavalcanti, P. (1999). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. *Fundamentos do tratamento anaeróbio*. PROSAB, Rio de Janeiro, 29–51.
- García J., Aguirre P., Mujeriego R., Huang Y., Ortiz L. y Bayona, J. M. (2004). Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Wat. Res.*, 38, 1669–1678.
- Kadlec, R.H. y Knight, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press Boca Raton, 893 pp
- Mara, D. & Pearson H. (1998). Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries. *Lagoon technology international*. VolumenIra Edición. p: 45, 57, 68. Leeds, Inglaterra.
- Mendez, C. & Marrero, A. (2006). *Lagunas diseño, operación y control*
- Orozco, A. 2005. *Bioingeniería de aguas residuales*, ACODAL.
- Romero, R. J. A. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*, Tercera edición Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Scholz, M. (2016). Primary Treatment. *Wetlands for Water Pollution Control*, 27–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00006-X>

Van Haandel, A. C., & Marais, G. (1999). O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. In O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação (pp. xiii-472). <https://www.cec.uchile.cl/~leherrer/BT53A/SBR/sbrdise.htm#DisSB>

Anexo C.

Modelo de encuesta de Disponibilidad a Pagar

Desarrollo de estrategias para la selección de alternativas de manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos

Encuestador/a por favor, diligencie la siguiente información antes de iniciar la encuesta:

Nombre encuestador/a: _____

Código de referencia: _____ Fecha: _____ Comunidad: _____

Introducción indicativa (consentimiento informado)

Buenos días/tardes señor/a, mi nombre es _____ Represento a la [Nombre de la Institución].

Estamos realizando una encuesta con el fin de seleccionar la alternativa más conveniente para el manejo de aguas residuales generadas en [Indicar nombre del asentamiento]. Esta información nos servirá para tener en cuenta su opinión y conocimiento en la construcción colectiva del manejo de las aguas residuales en su comunidad.

Nos gustaría pedirle unos minutos de su tiempo para hacerle algunas preguntas. Por favor, tenga en cuenta que su participación es totalmente voluntaria y puede optar por retirarse en cualquier momento. La información que usted suministre será anónima y solo será utilizada para los objetivos del proyecto

¿Está de acuerdo?

- a) Sí (continúe en sección A)
- b) No (termine la encuesta)

Encuestador/a: "voy a iniciar preguntándole algunos datos relacionados con las características tuyas como persona habitante de esta comunidad".

SECCIÓN A- CARACTERÍSTICAS SOCIECONÓMICAS ENCUESTADO/A (no lea esto)

A01. ¿Es usted el/la jefe de hogar??

- a) Sí (Pase a la pregunta A03)
- b) No (Pase a la siguiente pregunta)

A02. ¿Cuál es su parentesco con el jefe de hogar?

- a) Esposo/esposa
- b) Madre/Padre
- c) Hija / hijo
- d) Hermana / hermano
- e) Otro familiar. ¿Cuál? _____

<p>A03. ¿En qué rango de edad se encuentra?</p> <p>a) 18 a 30 años b) 31 a 40 años c) 41 a 50 años d) 51 a 60 años e) Mayor de 60 años</p>	<p>A04. Sexo del encuestado</p> <p>a) Masculino b) Femenino c) Otro</p>
<p>A05. ¿Cuál es su estado civil actual?</p> <p>a) Soltero (a) b) Casado (a) c) Unión libre d) Separado (a) e) Viudo (a)</p>	<p>A06. ¿Hasta qué año estudió usted?</p> <p>a) No estudió b) Primaria incompleta c) Primaria completa d) Secundaria incompleta e) Secundaria completa f) Técnico g) Tecnólogo h) Universitario</p>
<p>A07. ¿Está usted realizando una actividad productiva actualmente?</p> <p>a) Sí (vaya a A08) b) No (vaya A07.1)</p> <p>A07.1 ¿Desde hace cuánto tiempo está sin empleo?</p> <p>Días _____ Meses _____ Años _____</p> <p>A07.2 ¿Desde hace cuánto tiempo está sin empleo?</p> <p>Días _____ Meses _____ Años _____</p> <p>(Siga a la pregunta A10)</p>	<p>A08. ¿Cuál es su ocupación actual?</p> <p>a) Jornalero b) Agricultor c) Hacendado d) Empleado público (profesor, empleado alcaldía y oficina pública, policía) e) Empleado (trabaja en una empresa, oficina, negocio privado) f) Comerciante (dueños de tiendas, restaurantes, cafeterías, etc.) g) Otro. ¿Cuál? _____</p> <p>A09. ¿Cuál es su ocupación actual?</p> <p>a) Permanentemente b) Algunas veces a la semana c) Esporádicamente</p>
<p>A10. ¿Cuál es el ingreso mensual promedio de su vivienda?</p> <p>a) Menos de 100 mil b) 100-600 mil c) 600 mil - 1 millón d) 1 millón - 2 millones e) Más de 2 millones f) Sin ingresos</p>	<p>A11. La vivienda en que reside es:</p> <p>a) En arriendo b) Comprada c) Predio cedido o heredado d) Otro ¿Cuál? _____</p>

<p>A12. ¿Hace cuánto reside en la comunidad?</p> <p>a) Menos de 6 meses b) 6 meses - 12 meses c) 1 año - 5 años d) 5 años - 10 años e) 10 años- 15 años f) Más de 15 años</p>	<p>A13. ¿Cuántas personas residen en la vivienda?</p> <p>_____</p> <p>A14. ¿Cuántos niños menores de 5 años?</p> <p>_____</p>
---	---

A15. ¿Con cuáles servicios domiciliarios cuenta su vivienda? (por favor, rellene la siguiente tabla marcando "X" frente al servicio. En la columna Tarifa coloque el valor mensual, aproximado. Cuando señale que sí, por favor describa brevemente la forma en que la persona accede al servicio en la columna Observaciones)

Servicio	Si	No	Tarifa / mes	Observaciones
Agua potable			\$	
Alcantarillado			\$	
Recolección de residuos sólidos			\$	
Energía			\$	
Gas domiciliario			\$	
Alumbrado público			\$	
Internet			\$	
Telefonía móvil u hogar			\$	

Encuestador/a: "Ahora le voy a preguntar su opinión y conocimiento sobre el manejo de aguas residuales en la comunidad".

SECCIÓN B- Percepción sobre el problema de aguas residuales (no lea esto)

B01. En escala de 1 a 5, ¿en qué condiciones se encuentran las escorrentías y quebradas que pasan por su comunidad hasta [Indicar nombre de la fuente superficial más cercana]? Tenga en cuenta que 1 es "nada contaminado" y 5 "muy contaminado".

1 0 2 0 3 0 4 0 5 0

B02. ¿Considera que en su comunidad hay un problema en el manejo de las aguas residuales?

- a) Sí
- b) No
- c) No sabe

B02.1 ¿Cuál diría que es el principal problema?

B03. ¿Considera importante que en su comunidad se realice el tratamiento de aguas residuales?

- a) Sí (Pase a la pregunta B03.1)
- b) No (Pase a la pregunta B03.1)
- c) No sabe

B03.1 ¿Por qué?

Encuestador/a: "Existen diversas soluciones para realizar un manejo adecuado de las aguas residuales. A continuación, le preguntaré su opinión sobre algunas de ellas y sobre sus posibles impactos."

SECCIÓN C- Aceptación de una planta de tratamiento de aguas residuales (no lea esto)

C01. Si fuera posible construir una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad ¿Estaría de acuerdo con que se construyera?

- A) Si (Pase a la pregunta C01.1)

B) No (Pase a la pregunta C01.1)

C) No sabe

C01.1. ¿Por qué?

C02. ¿Qué organización o institución opina usted que podría ser la más apropiada para la administración de una planta de tratamiento de aguas residuales en su comunidad?

- a) Empresa prestadora de servicios públicos
- b) Organización comunitaria
- c) Otro _____

C03. ¿Por qué razón opina que esta organización o institución es la más apropiada?

- a) Capacidad técnica para realizar la prestación del servicio
- b) Calidad en la prestación del servicio
- c) Tradición en la prestación de servicios públicos
- d) Otra _____

Encuestador/a: "Existen diversas soluciones para realizar un manejo adecuado de las aguas residuales. A continuación, le preguntaré su opinión sobre algunas de ellas y sobre sus posibles impactos."

SECCIÓN D- CAPACIDAD DE PAGO (no lea esto)

D01. En el escenario hipotético de que se construya una planta de tratamiento de aguas residuales de su comunidad ¿Estaría dispuesto a pagar \$15,000 por el servicio de tratamiento de las aguas residuales?

- a) Sí (pasar a la pregunta D02)
- b) No (pasar a la pregunta D05)

D02. ¿Estaría dispuesto a pagar \$18,000?

- a) Sí (pasar a la pregunta D03)
- b) No (pasar a la pregunta D05)

D03. ¿Estaría dispuesto a pagar \$21,000?

- a) Sí (pasar a la pregunta D04)
- b) No (pasar a la pregunta D05)

D04. Teniendo en cuenta sus respuestas anteriores ¿cuánto sería lo máximo que estaría dispuesto/a pagar por el tratamiento de aguas residuales de su hogar?

D05. ¿Por qué no está dispuesto a pagar ningún valor por el tratamiento de las aguas residuales?

- a) No cuenta con el dinero suficiente para pagar
- b) El gobierno debe pagar por este tipo de servicios
- c) No le preocupa el tema de las aguas residuales
- d) Preferiría pagar por solucionar otro tipo de problemas
- e) No cree que una planta de tratamiento vaya a solucionar el problema de las aguas residuales
- f) Otra _____

D06. ¿Por qué está dispuesto a pagar este valor?

- a) Tiene dinero suficiente para pagar
- b) El problema de las aguas residuales es crítico para su comunidad
- c) Cree que una planta de tratamiento ayudará a solucionar el problema de las aguas residuales
- d) Otra

Encuestador/a: "Esa fue la última pregunta. Muchas gracias por su tiempo y participación. Sus respuestas serán de utilidad para el objetivo de esta investigación".

¡Gracias!

SECCIÓN E – Preguntas para encuestador/a *Por favor, conteste esta sección lo antes posible después de aplicar este cuestionario*

Nombre encuestador/a:		Código de referencia:
Duración de la encuesta: () minutos	Preguntas que fueron difíciles de responder por la persona (colocar los códigos o palabras clave):	
Proporcione sus comentarios acerca de la encuesta realizada:		

Anexo D.

Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo I

TÍTULO DEL PROTOCOLO

Taller 1 - Sistemas descentralizados de tratamiento de agua residual doméstica.

INTRODUCCIÓN

En el marco del análisis participativo de la gestión sostenible del agua residual generada en asentamientos periurbanos no planificados, el objetivo del protocolo es explorar con el grupo motor del asentamiento los siguientes conceptos: agua residual, tratamiento de agua residual y tratamiento descentralizado. Además, se propone socializar la metodología participativa de selección de trenes de tratamiento de agua residual doméstica. Después del taller, los/as participantes contarán con conocimientos básicos que les ayudarán a interpretar el funcionamiento general de un sistema de tratamiento de agua residual. El taller facilitará que los participantes conozcan sobre los potenciales trenes de tratamiento que se pueden aplicar en el asentamiento para tratar el agua residual doméstica.

DESTINATARIOS

Líderes comunitarios que conforman el grupo motor del asentamiento.

DURACIÓN

150 minutos.

OBJETIVOS

- Afianzar conceptos básicos sobre el saneamiento de aguas residuales.
- Afianzar conceptos asociados a los sistemas de tratamiento de agua residual doméstica.
- Comprender el funcionamiento de la herramienta participativa para la selección de trenes de tratamiento de aguas residuales domésticas.

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Figura D-1 se puede observar el resumen del procedimiento:





Figura D-1. Flujograma del proceso del taller de formación.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación	Coordinación del taller (2 semanas antes)	<p>i. Organice los aspectos clave para la realización del taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Defina el lugar, fecha y hora de la reunión para confirmar la reserva del espacio. b. Invite al grupo motor a participar, indicando a sus integrantes el lugar, fecha y hora de la reunión. c. Confirme la participación de los integrantes del grupo motor. d. De ser necesario, solicite la autorización de ingreso de los participantes de la reunión al espacio acordado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Directorio de integrantes del grupo motor • Datos completos de los participantes del taller
	Organización logística (2 semanas antes)	<p>ii. Realice la solicitud administrativa de los recursos necesarios para la realización del taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Transporte y alimentación. b. Elementos de papelería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto estimado para la realización del taller

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
		<p>c. Impresión de los materiales requeridos.</p> <p>d. Otros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de solicitud de recursos
Momento I	<p>Preparación del espacio</p> <p>(15 minutos)</p>	<p>iii. Disponga de los materiales y espacio para la realización del taller:</p> <p>a. Organice el espacio para la realización del taller: disponga en "U" o en círculo las sillas y mesas, frente al telón de proyección.</p> <p>b. Prepare y conecte los equipos requeridos para la proyección: computador, proyector, cable HDMI, cargador, extensión o papelógrafo.</p> <p>c. Ordene los materiales requeridos: registro de asistencia, formatos de las actividades, recursos didácticos u otro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas y sillas de trabajo • Proyector • Papelógrafo o tablero acrílico • Marcadores • Formato de asistencia • Materiales de las actividades
	<p>Bienvenida</p> <p>(10 minutos)</p>	<p>iv. Reciba a los participantes de la reunión:</p> <p>a. Guíe a los participantes al lugar de la reunión.</p> <p>b. Registre su asistencia e invítelos a tomar asiento.</p> <p>v. Cuando todos los participantes hayan llegado:</p> <p>a. Agradezca su participación en las actividades del proyecto.</p> <p>b. Recuerde de modo breve los objetivos del proyecto y la línea de tiempo ubicando específicamente el momento presente.</p> <p>c. Presente la agenda de actividades programadas, ubicando las fechas específicas de la encuesta, y los talleres de aprendizaje que vendrán a continuación con su temática respectiva.</p> <p>d. Recuerde brevemente el propósito del taller. Presente la agenda de la sesión. Resalte que, para iniciar, se realizará una actividad rompe-hielo.</p> <p>e. Inicie con una actividad rompe-hielo como "¿Quién quiere ser millonario?".</p> <p>f. Divida a los participantes que conformen equipos con las personas de su propia comunidad.</p> <p>g. Separe físicamente los equipos y coloque una pelota en un lugar equidistante de todos ellos.</p> <p>h. Muestre la pelota e indique a cada equipo que, cuando sepan la respuesta a la pregunta planteada, una persona previamente designada debe acercarse a agarrar la pelota. Nadie puede dar la respuesta si no tiene la pelota en su poder. Cada equipo debe designar a una persona</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de asistencia • Registro fotográfico • Pelota • Diapositivas con las preguntas para la actividad • Premio para el equipo ganador

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		<p>encargada de tomar la pelota cada vez. Insista en que sólo el equipo que tenga la pelota responderá.</p> <p>i. Realice la actividad, cuente los puntos de cada equipo y entregue un premio al equipo ganador.</p>	
	<p>Afianzar el concepto de saneamiento del agua residual</p> <p>(40 minutos)</p>	<p>vi. Inicie el taller con las actividades dedicadas a fomentar la apropiación del concepto de aguas residuales domésticas.</p> <p>a. Pregunte a las personas asistentes: “¿Qué son y qué contienen las aguas residuales domésticas?” Apunte en el papelógrafo o tablero las respuestas que reciba. Clarifique el concepto y mencione componentes que no hayan sido referidos por las personas participantes.</p> <p>b. Indique que es importante conocer los componentes de las aguas residuales que salen de los hogares. Pida a los participantes que se reúnan en subgrupos y asigne un miembro del equipo implementador para que dinamice cada subgrupo.</p> <p>c. Entregue a cada subgrupo el Formato D-1 que consiste en una cartelera con la imagen del corte transversal de una casa y un conjunto de calcomanías con representaciones de posibles contaminantes del agua residual doméstica (ARD).</p> <p>d. Pida a los dinamizadores que muestren las partes de la casa y las calcomanías e instruyan a los participantes en la realización de la actividad. Los dinamizadores llamarán la atención sobre cada una de las habitaciones de la casa. También mostrará las calcomanías a los participantes. Luego les pedirá que, entre todos, indiquen en qué habitaciones se producen las aguas residuales, pegando en ellas las calcomanías que correspondan a los residuos generados. Por ejemplo, se puede preguntar a los participantes: “En la cocina: ¿qué residuos se producen que se desechan junto con el agua que sale del hogar?”, e ir pegando en la cartelera las calcomanías relacionadas con los residuos sólidos, el aceite de cocina, etc. Si los participantes mencionan contaminantes que no están representados en las calcomanías, el dinamizador apuntará su nombre con un marcador, directamente en la cartelera. Luego, pasará a la siguiente habitación y repetirá el procedimiento hasta haber recorrido todas las habitaciones de la casa.</p> <p>e. Una vez que hayan finalizado todos los subgrupos, pida a cada uno que exponga una de las habitaciones a los demás. Invite a todos los participantes a complementar el ejercicio de sus compañeros, si lo consideran necesario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Papelógrafo • Calcomanías con imágenes de los contaminantes de las aguas residuales • Marcadores de tablero • Formato D-1: Contaminantes generados en nuestro hogar

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		<p>f. A continuación, exponga los conceptos básicos de las aguas residuales domésticas: ¿qué son? ¿cuáles son sus principales componentes?.</p>	
		<p>vii. Para profundizar en lo aprendido en la actividad anterior, desarrolle la actividad sobre los sólidos presentes en el agua residual:</p> <p>a. Invite a dos voluntarios del público para ayudar a realizar la actividad.</p> <p>b. Pida a la persona voluntaria que agregue en dos vasos de agua diferentes sólidos: en el primero, azúcar y en el segundo, alpiste y piedritas. Pida a la persona que, con un palito, revuelva el agua. A continuación, llame la atención sobre la diferencia entre sólidos disueltos y sólidos suspendidos y sedimentables.</p> <p>c. Presente los principales componentes de las aguas residuales domésticas, partiendo de la diferenciación de los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables. Defina también la materia orgánica, los nutrientes, los microorganismos, los patógenos y los demás contaminantes (materia inorgánica).</p> <p>d. Entregue a los subgrupos el Formato D-2, que consiste en una tabla de clasificación de los sólidos contaminantes.</p> <p>e. Pida a los subgrupos que ubiquen los tipos de sólidos contaminantes que se producen en el hogar (Formato D-1) en la tabla de clasificación de sólidos. Pida a los dinamizadores de cada subgrupo que acompañen el desarrollo de la actividad y solucionen cualquier duda.</p> <p>f. Pida a cada uno de los subgrupos que exponga una o dos columnas de la tabla de clasificación de sólidos. Invite a los demás participantes a que complementen lo expuesto por el grupo.</p> <p>g. Resuma los resultados de la actividad y llame la atención sobre la cantidad de contaminantes que se producen en los domicilios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos transparentes • Agua • Azúcar • Piedritas • Alpiste • Formato D-2: Tabla de clasificación de los sólidos contaminantes • Calcomanías de imágenes de los contaminantes de las aguas residuales
	<p>Afianzar el concepto de sistema de tratamiento de agua residual doméstica (20 minutos)</p>	<p>viii. Continúe con el concepto de sistema de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>a. Muestre una imagen de una persona tomando un vaso de agua contaminada e invite a los participantes a reflexionar alrededor de la siguiente pregunta: “¿Cómo sería un mundo sin agua limpia?”.</p> <p>b. Escriba en el tablero las respuestas, reflexiones e intervenciones, usando palabras clave.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Papelógrafo

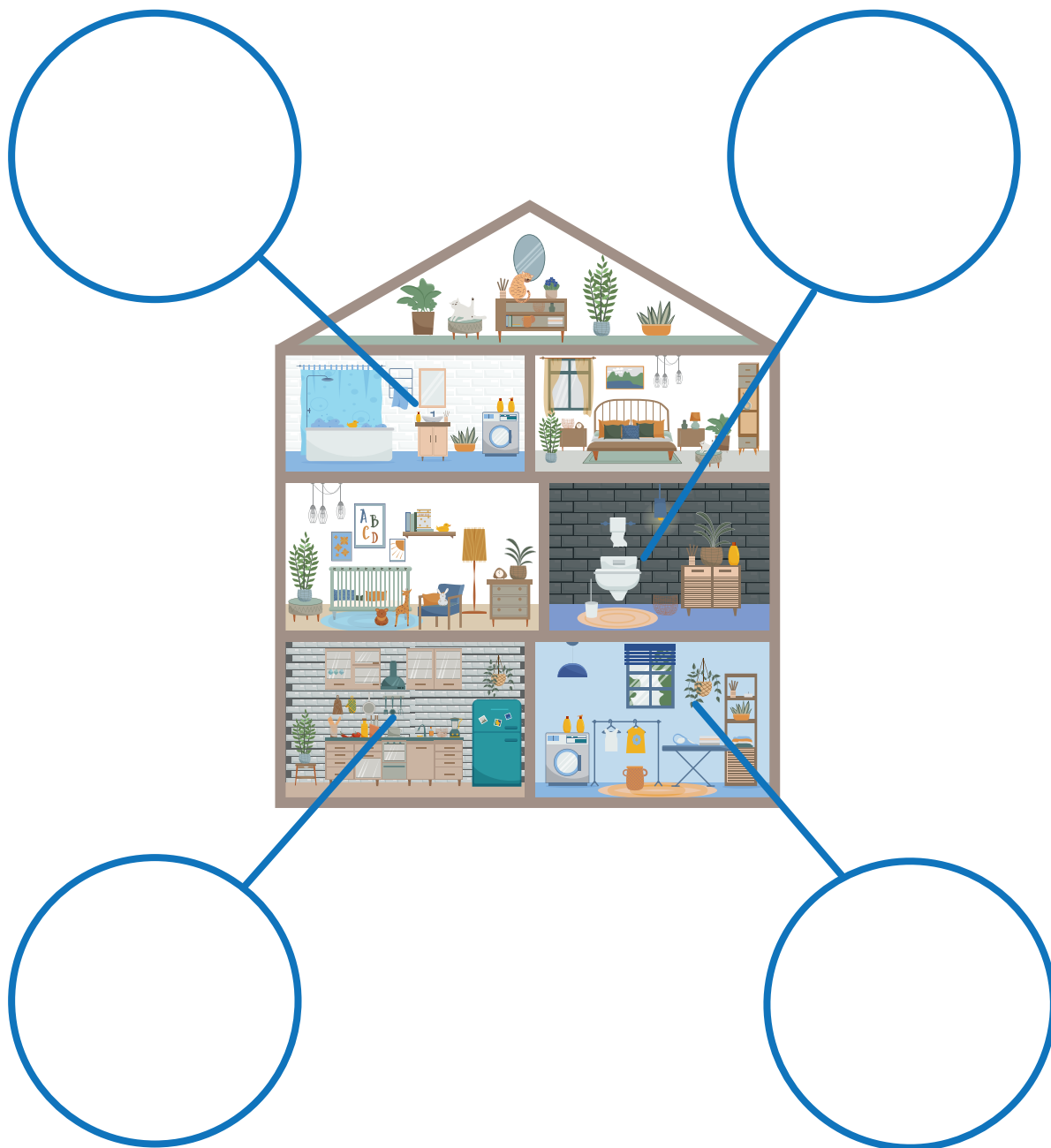
Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		<p>c. Muestre a través de ejemplos locales (p.ej. noticias) los impactos ambientales y en la salud humana de la contaminación del agua en su contexto.</p> <p>d. Resalte la necesidad de realizar esfuerzos para tratar las ARD, con el fin de evitar efectos como los antes mencionados. Exponga el concepto de "sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas".</p> <p>e. Invite a los participantes a recordar qué es un sistema de recolección y transporte de aguas residuales y cómo funciona. Invite a alguien del público a explicar a los demás participantes usando la imagen de referencia expuesta en unas diapositivas o una cartelera visible para todos. Puede usar preguntas orientadoras como las siguientes: "¿Recuerdan dónde empieza el sistema?" "¿Cómo se llama esta parte del sistema?" "¿Con qué otra parte se conecta?" "¿A dónde se conduce el agua residual?".</p> <p>f. Resuma brevemente qué es un sistema de tratamiento de ARD y qué es una tecnología de tratamiento de aguas residuales domésticas.</p> <p>g. Defina qué es un sistema descentralizado de agua residual y describa la diferencia entre sistemas centralizado y descentralizado.</p>	
	<p>Desarrollo de la actividad de etapas de tratamiento de aguas residuales domésticas</p> <p>(40 minutos)</p>	<p>ix. Desarrolle la actividad denominada "etapas de tratamiento de ARD":</p> <p>a. Entregue a cada subgrupo el Formato D-3 que consiste en cuatro (4) tarjetas donde se describen las etapas del sistema de tratamiento de ARD.</p> <p>b. Pida a los participantes de cada subgrupo que, en 7 minutos, preparen una exposición de la etapa que le correspondió, con ayuda del Formato D-3 y de los miembros del grupo técnico (que estarán disponibles para resolver dudas).</p> <p>c. Indique a los equipos que deben elegir a un/a representante para exponer a los demás participantes la etapa que le corresponde de acuerdo con el orden del sistema de tratamiento de ARD.</p> <p>d. Una vez agotado el tiempo de preparación, invite a los/as representantes a pasar adelante y exponer la parte que les correspondió.</p> <p>e. Después de que los/as representantes realizan sus exposiciones, profundice en cada tecnología usando material audiovisual disponible. Finalmente, abra un espacio de preguntas para resolver las dudas de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Material audiovisual sobre cada tecnología de tratamiento de aguas residuales • Papelógrafo o tablero acrílico • Marcadores • Formato D-3: Infografías de etapas del tratamiento de aguas residuales

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 3	<p>Comprender el funcionamiento de los trenes de tratamiento descentralizados de agua residual con potencial de aplicación en el asentamiento</p> <p>(30 minutos)</p>	<p>x. Muestre a los participantes la herramienta participativa de selección de trenes descentralizados de agua residual doméstica (SDTAR). Desarrolle los siguientes momentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Exponga el objetivo de la herramienta resaltando sus principios orientadores. b. Explique en qué consiste cada elemento de la herramienta participativa para la selección de STDAR. c. Resuelva las dudas que puedan surgir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo
Momento 4	<p>Conclusiones y cierre</p> <p>(10 minutos)</p>	<p>xi. Finalmente, realice el cierre de taller.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Invite a los participantes a expresar sus opiniones y apúntelas en el papelógrafo o tablero. b. Haga una síntesis del taller. c. Invite a los participantes a que discutan con sus organizaciones y bases comunitarias los resultados compartidos en el taller. d. Agradezca a los participantes por sus asistencia y participación. e. Solicite el diligenciamiento de la evaluación de la actividad. f. Despida a los participantes. 	

Formato D-1. Contaminantes generados en nuestro hogar

D-1.1 Cartelera

¿Cuáles son los elementos que componen el Agua Residual Doméstica?



D-1.2 Calcomanías



Formato D-2. Tabla de clasificación de los sólidos contaminantes

Clasifica los componentes

Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos	Materia orgánica	Materia inorgánica	Microbiológico

Formato D-3. Infografías de etapas del tratamiento de aguas residuales

Etapa de Tratamiento Preliminar

¿Qué es?

El tratamiento preliminar de aguas residuales es la primera etapa de limpieza antes de la planta de tratamiento. Es una limpieza inicial para preparar el agua para un tratamiento más profundo.

Se eliminan objetos grandes y sólidos: palos, rocas y basura.



¿Por qué es importante?

- ✓ Mejora la eficiencia de la planta de tratamiento.
- ✓ Reduce el riesgo de obstrucciones y daños en los equipos.



Etapa de Tratamiento Preliminar

¿Qué elementos tiene?

- ✓ **Rejilla** → Retiene objetos grandes como rocas, bolsas y palos.



- ✓ **Desarenador** → Remueve arena y partículas pesadas.



- ✓ **Trampa de grasas** → Separa aceites y grasas flotantes.



Etapa de Tratamiento Primario

¿Qué es?

El tratamiento primario es la segunda etapa en el proceso de limpieza del agua residual. Aquí se utiliza la gravedad para separar los sólidos sedimentables del agua, que luego es enviada a la siguiente etapa del proceso de tratamiento.



Sedimentables



Suspendidos y flotantes

¿Qué remueve?

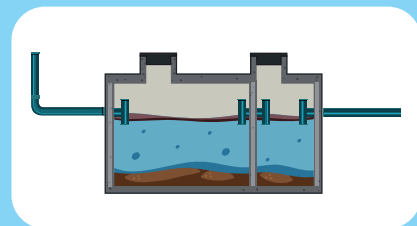
Remueve principalmente sólidos suspendidos y parte de la materia orgánica presente en el agua residual.

Tecnologías populares



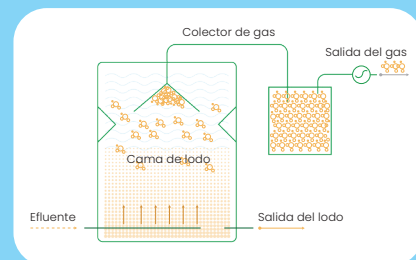
Tanques Sépticos

Son tecnologías que separan las aguas residuales en tres capas dentro de un tanque enterrado. Los sólidos más densos (como lodo, grasas y aceites) se depositan en el fondo o flotan en la superficie, mientras que el agua tratada queda en el medio.



Reactores UASB

Son dispositivos que operan sin oxígeno. Las aguas residuales fluyen hacia arriba a través de una capa de lodo anaeróbico, donde las bacterias descomponen la materia orgánica. Como subproducto genera biogás.



Etapa de Tratamiento Secundario

¿Qué es?

El tratamiento secundario es la tercera etapa principal en el proceso del tratamiento de aguas residuales, justo después del tratamiento primario



¿Qué remueve?

Elimina principalmente contaminantes disueltos, materia orgánica y los sólidos suspendidos más finos que quedan en el agua después del tratamiento primario.

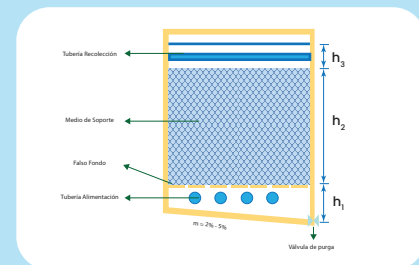
Etapa de Tratamiento Secundario

Tecnologías populares



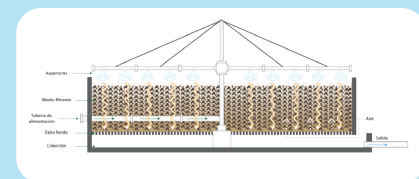
Filtro anaerobio

Son filtros que operan sin oxígeno y emplean materiales porosos para albergar bacterias que descomponen materia orgánica presente en el agua residual.



Filtro percolador

Sistemas que se asemejan a camas compuestas por piedras porosas. Aquí el agua residual se distribuye sobre las piedras y se filtra lentamente a través de ellas. Las bacterias presentes en este material descomponen contaminantes orgánicos del agua.



Etapa de Tratamiento Terciario

¿Qué es?

Constituye la fase final del proceso del tratamiento del agua residual. Aquí se lleva a cabo la reducción de contaminantes como nutrientes y microorganismos patógenos. Este proceso busca que el agua resultante sea más limpia y segura para ser reutilizada en actividades como riego agrícola, o se descarga en el ambiente, causando menos impactos negativos.



¿Qué remueve?

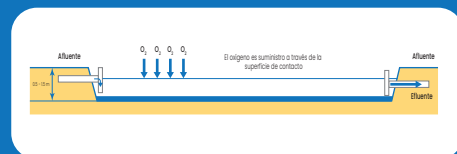
Elimina principalmente patógenos y nutrientes

Tecnologías populares



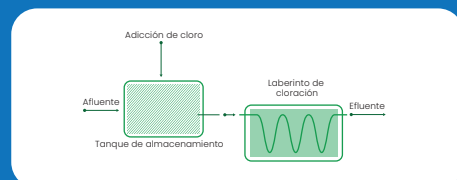
Cloración

Proceso de desinfección del agua a través de la adición controlada de cloro u otros compuestos clorados. El cloro actúa como agente oxidante que elimina microorganismos patógenos presentes en el agua (bacterias, virus y protozoos), ayudando a prevenir enfermedades transmitidas por el agua.



Laguna de Maduración

Son sistemas artificiales que permiten que el agua tratada se estabilice y se depure antes de su liberación al medio ambiente. Estas lagunas proporcionan un entorno donde algunos microorganismos presentes en el agua tratada pueden completar procesos de descomposición de contaminantes.



Anexo E.

Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo II

TÍTULO DEL PROTOCOLO

Socialización de tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento.

INTRODUCCIÓN

La selección de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (SDTAR) es un punto fundamental en la gestión sostenible del agua, especialmente si se considera la creciente demanda de soluciones eficaces, la necesidad de descentralizar infraestructuras y la valoración del reúso del agua en el marco de la economía circular. Este protocolo presenta un taller cuyo objetivo es socializar con el grupo motor los trenes de tratamiento descentralizados de Aguas Residuales Domésticas (ARD) preseleccionados en la Fase III de la herramienta participativa. Al finalizar este taller, las personas participantes contarán con conocimientos básicos que les ayudarán a: i) entender el funcionamiento de los trenes descentralizados de tratamiento de ARD, en términos de objetivo y niveles de tratamiento, ii) Conocer las tecnologías aplicables al caso de estudio

teniendo en cuenta aspectos de operación y mantenimiento, iii) Reconocer los condicionantes locales del territorio que influyen en la selección de tecnologías de tratamiento de ARD.

DESTINATARIOS

Grupo motor del asentamiento.

DURACIÓN

150 minutos.

OBJETIVOS

- Explicar el funcionamiento de tecnologías de tratamiento de ARD con potencial de aplicación en el asentamiento.
- Explorar los objetivos de los diversos trenes de tratamiento descentralizados de agua residual con potencial de aplicación en el asentamiento.
- Identificar condicionantes locales del territorio que influyen en la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Figura E-1 se puede observar el resumen del procedimiento:

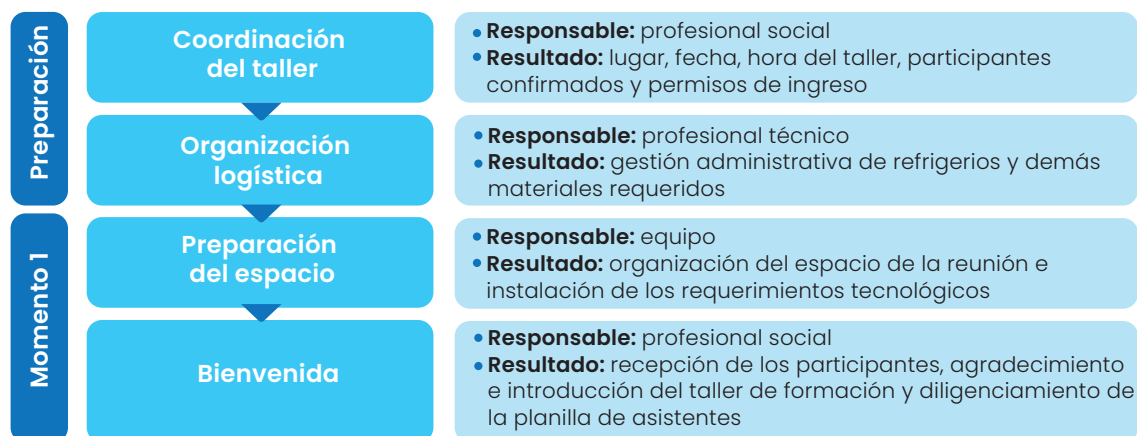




Figura E-1. Flujograma del proceso del taller de formación.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
	Coordinación del taller (2 semanas antes)	i. Organice los aspectos clave para la realización del taller:	<ul style="list-style-type: none"> Directorio de integrantes del grupo motor

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación		<p>a. Lugar, fecha y hora de la reunión: confirme la reserva del espacio y verifique que todas las personas podrán acceder sin restricción.</p> <p>b. Invitación: socialice con el grupo motor el lugar, fecha y hora de la reunión.</p> <p>c. Confirmación: valide la participación de los integrantes del grupo motor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Datos completos de los participantes del taller
	<p>Organización logística</p> <p>(2 semanas antes)</p>	<p>ii. Realice la solicitud administrativa de los recursos necesarios para la realización del taller:</p> <p>a. Transporte y alimentación.</p> <p>b. Elementos de papelería.</p> <p>c. Impresión de los materiales requeridos.</p> <p>d. Otros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto estimado para la realización del taller • Registro fotográfico • Formato de solicitud de recursos
Momento I	<p>Preparación del espacio</p> <p>(15 minutos)</p>	<p>iii. Disponga de los materiales y espacio para la realización del taller:</p> <p>a. Organice el espacio para la realización del taller: disponga de las sillas y mesas en círculo frente al telón de proyección.</p> <p>b. Prepare y conecte los equipos requeridos para la proyección: computador, proyector, cable HDMI, cargador, extensión o papelógrafo.</p> <p>c. Ordene los materiales requeridos: registro de asistencia, actividades, recursos didácticos u otro, de acuerdo con las actividades propuestas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas y sillas de trabajo • Proyector • Telón • Computador • Tablero acrílico • Marcadores • Formato de asistencia • Registro de asistencia
	<p>Bienvenida</p> <p>(10 minutos)</p>	<p>iv. Reciba a los participantes de la reunión:</p> <p>a. Guíe a los participantes al lugar de la reunión.</p> <p>b. Registre su asistencia e invítelos a tomar asiento.</p> <p>v. Cuando todos los participantes hayan llegado:</p> <p>a. Agradezca la disposición de las personas a asistir y participar en las actividades.</p> <p>b. Recuerde brevemente el propósito del taller.</p> <p>c. Inicie con el juego "Stop", para facilitar la integración de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos didácticos • Formato de asistencia • Registro fotográfico • Diapositivas • Tabla de stop • Lápices • Hojas

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
		<ul style="list-style-type: none"> - Entregue lápices y una hoja con el esquema del juego a cada participante. - Explique las reglas del juego. - Escriba una letra inicial en el tablero e inicie el juego. - Repita en dos o tres ocasiones. 	
Momento 2	<p>Afianzar los conceptos básicos de los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales (SDTAR)</p> <p>(30 min)</p>	<p>vi. Inicie el taller:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Recuerde brevemente el objetivo de la selección participativa de SDTAR. b. Divida el grupo de participantes en subgrupos y asígnelos a una mesa con el acompañamiento de un miembro del equipo técnico. c. Entregue a cada subgrupo el Formato E-1 que consiste en un pliego de papel con los niveles de tratamiento, y un grupo de adhesivos con los contaminantes del ARD y los objetivos del tratamiento. d. Pídale a cada subgrupo que, de acuerdo a los aprendizajes que recuerdan del taller anterior, complete la tabla ubicando el objetivo de los niveles de tratamiento y los contaminantes que se van filtrando por cada nivel. Cada subgrupo debe ser acompañado por un miembro del equipo técnico que evaluará los aprendizajes y ayudará a resolver dudas inmediatas para afianzar conocimientos. e. Una vez finalizado completo el cuadro, pida a un representante de cada subgrupo que exponga en plenaria las tablas completas. f. Realice una revisión de las tablas realizadas por la comunidad, reflexionando sobre los aprendizajes, haciendo las correcciones pertinentes. En la diapositiva proyecte una tabla completa realizada por el equipo técnico. g. Concluya con una síntesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas redondas • Diapositivas de apoyo • Formato E-1: Tabla de niveles de tratamiento, contaminantes y objetivos • Adhesivos contaminantes del agua residual y objetivos del tratamiento • Tablero
	<p>Explorar los objetivos de los diversos trenes de tratamiento descentralizados de agua residual con potencial de aplicación en el asentamiento</p> <p>(10 min)</p>	<p>vii. Continúe con la siguiente actividad:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Invite a los participantes a reflexionar sobre el destino u objetivo final del tratamiento de ARD a partir de la pregunta: “¿Qué se puede hacer con las aguas residuales tratadas de su comunidad?” Anote las ideas de los participantes en el tablero. b. Exponga en plenaria los objetivos generales del tratamiento de ARD, explicando qué implica el vertimiento de aguas tratadas y qué implica el reúso de las aguas tratadas. c. Introduzca en este punto el marco normativo colombiano que regula el reúso o vertimiento de las aguas tratadas mediante sistemas de tratamiento de agua. d. Explique otros factores implicados en la reutilización de las aguas tratadas, como los costos y riesgos asociados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tablero • Marcadores • Diapositivas de apoyo

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		d. Resuelva dudas de los participantes.	
	Exponer el concepto de trenes de tratamiento de aguas residuales (10 min)	<p>viii. Continúe con la siguiente actividad:</p> <p>a. Explique el concepto de trenes de tratamiento usando la metáfora de los vagones que conducen a un destino que es el reúso o el vertimiento.</p> <p>b. Explique el alcance de los distintos trenes de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a los niveles que incorporan y los objetivos finales.</p> <p>c. Resuelva las dudas que los participantes tengan al respecto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo
	Socializar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales con potencial de aplicación en el asentamiento. (30 min)	<p>ix. Continúe con la siguiente actividad:</p> <p>a. Entregue fichas impresas donde se sintetice información de cada una de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales preseleccionadas con la aplicación de la herramienta. El Formato E-2 contiene un ejemplo de fichas que pueden construirse.</p> <p>b. Presente cada tecnología de tratamiento de aguas residuales preseleccionada como resultados de la Fase III con la aplicación de la herramienta utilizando modelos tridimensionales proyectados en las diapositivas de apoyo y refiriendo el nivel de tratamiento al que corresponde. Cuando presente cada tecnología pida a los participantes que revisen la ficha correspondiente. Invítelos a leer en voz alta lo que dice la ficha.</p> <p>c. Resuelva dudas del grupo y sintetice de manera comparativa usando una diapositiva en donde se introduzcan aspectos clave a comparar de cada tecnología.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Formato E-2: Fichas impresas de cada tecnología preseleccionada por la herramienta • Imágenes tridimensionales de las unidades operacionales
Afianzar el concepto de trenes de tratamiento de aguas residuales. (30 min)	<p>x. Realice la siguiente actividad:</p> <p>a. Entregue al grupo motor el Formato E-3 Construcción de trenes de tratamiento, que consiste en tres pliegos de papel, cada uno con una tabla por completar donde se ubican niveles de tratamiento y tecnologías asociadas a cada nivel que conectadas forman un tren de tratamiento. Cada grupo de tablas se entrega con un conjunto de adhesivos que contiene imágenes de las tecnologías aplicables a los asentamientos que fueron expuestas anteriormente.</p> <p>b. Pida al grupo motor que combine estas tecnologías para construir tres trenes de tratamiento: el primero, que alcance hasta el nivel primario de tratamiento; el segundo, que alcance hasta el nivel secundario de tratamiento; y el tercero, que alcance hasta el nivel terciario de tratamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Formato E-3: Construcción de trenes de tratamiento de aguas residuales • Adhesivos 	

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
		<p>Un miembro del equipo técnico acompañará a los participantes para resolver dudas. Recuerde a los participantes usar la información de las fichas de cada tecnología entregadas previamente al grupo.</p> <p>d. Pida a un representante del grupo motor que exponga los resultados de uno de los trenes de tratamiento construido en la actividad.</p> <p>e. Sintetice los resultados y resuelva dudas.</p>	
	<p>Identificar condicionantes locales del territorio que influyen en la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>(20 min)</p>	<p>xi. Realice la siguiente actividad:</p> <p>a. Ubique en un lugar visible para todos los participantes el Formato E-4 con el mapa mental de condicionantes del territorio dividido en 4 áreas: sociocultural, socioeconómico, técnico, ambiental.</p> <p>b. Pida a los participantes reflexionar si todas las tecnologías expuestas anteriormente son aplicables a sus contextos.</p> <p>c. Pregunte cuáles son los factores ambientales, sociales económicos, culturales y topográficos o geográficos que caracterizan sus territorios y escriba en el Formato E-4 a modo de lluvia de ideas. Puede preguntar: <i>¿Ustedes creen que las tecnologías vistas son aplicables a sus contextos? ¿Cómo son las condiciones del terreno en sus territorios? ¿Cuál es la capacidad económica de los habitantes de su territorio? ¿Creen que hay disponibilidad de espacios en su territorio para esto? ¿Creen que culturalmente es significativo para los habitantes el tratamiento y reúso de las aguas? ¿Creen que los habitantes pagarían un excedente para poder reusar las aguas?</i></p> <p>d. Recoja las ideas de los participantes e introduzca los elementos de la herramienta de selección diseñada por el equipo de trabajo que permiten tener en cuenta estos factores a la hora de tomar la decisión sobre la tecnología de tratamiento de agua residual más adecuada de acuerdo al contexto.</p> <p>e. Resuelva las dudas que puedan surgir.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato E-4: Mapa mental de condicionantes del territorio • Marcadores • Diapositivas de apoyo
<p>Momento 3</p>	<p>Conclusiones y cierre</p> <p>(10 min)</p>	<p>xii. Para cerrar el taller:</p> <p>a. Resuma los resultados del taller.</p> <p>b. Invite a los participantes a que discutan con sus organizaciones y bases comunitarias los resultados.</p> <p>c. Agradezca a los participantes por su asistencia y participación.</p> <p>d. Recuerde la realización del próximo taller, mencionando su objetivo y fecha de realización.</p> <p>e. Solicite el diligenciamiento de la evaluación de la actividad.</p> <p>f. Despedida de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Papelógrafo • Marcadores • Formato de evaluación

Formato E-1. Tabla de niveles de tratamiento, contaminantes y objetivos

Terciario		
Secundario		
Primario		
Preliminar		
	¿Cuales contaminantes son removidos?	¿Cuál es el objetivo de este nivel de tratamiento?

E-1a. Tabla de niveles de tratamiento, contaminantes y objetivos.

Nutrientes



Sólidos sedimentables



Nutrientes



Sólidos suspendidos



Sólidos disueltos



Materia orgánica



Microorganismos patógenos



Materia inorgánica



Reducir el riesgo de obstrucciones y daños en los equipos

Remoción parcial de contaminantes para realizar vertimiento directo en cuerpos de agua

Remoción parcial de contaminantes, puede utilizarse para vertimiento a través de campos de infiltración

Remoción de contaminantes para el reúso de agua tratada o la disposición final en ecosistemas especiales

E-1b. Adhesivos para la realización de actividad de aprendizaje sobre de niveles de tratamiento

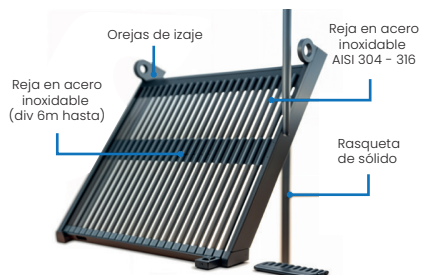
Formato E-2. Ejemplo de fichas impresas de cada tecnología preseleccionada por la herramienta

Rejilla

Nivel de tratamiento preliminar



¿Qué es?



Las rejillas son estructuras con barras o paneles espaciados que permiten el paso del agua, pero retienen los sólidos de mayor tamaño que podrían obstruir o dañar los equipos y procesos posteriores. Estos sólidos pueden ser objetos voluminosos como palos, ramas, plásticos u otros desechos que se encuentran en el agua residual. Las rejillas corresponden al nivel preliminar de tratamiento de agua residual.



¿Cómo funciona?

El agua residual fluye a través de la rejilla y los sólidos grandes quedan atrapados en la superficie, formando una capa, mientras que el agua continúa su flujo hacia etapas posteriores del tratamiento. Periódicamente, los sólidos retenidos son removidos mediante un sistema de limpieza, manual o automático. De esta manera, las rejillas evitan obstrucciones y daños en los equipos y procesos subsiguientes, mejorando la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y reduciendo los costos de mantenimiento.

Mantenimiento de la unidad



Realizar inspecciones visuales periódicas de las rejillas para identificar cualquier obstrucción, acumulación de sólidos o daño en la estructura (limpieza diaria).

Usar herramientas como rastrillos, palas, pinzas o equipos de succión para retirar los sólidos acumulados en la superficie de la rejilla.

Lavar la rejilla con agua potable para remover las impurezas.

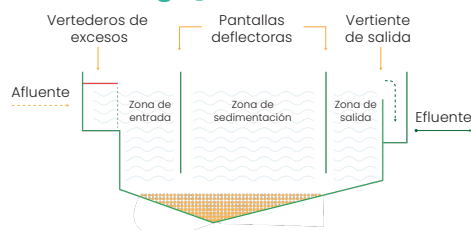
Almacenar en una tolva los residuos voluminosos retenidos en la rejilla. Disponer los residuos con la empresa prestadora del servicio de aseo.

Desarenador

Nivel de tratamiento preliminar



¿Qué es?



Unidad de tratamiento preliminar cuya función es separar los sedimentos más pesados, como arena y grava, del agua residual antes de que ingrese a las etapas posteriores de tratamiento. Estos sedimentos pueden causar obstrucciones y daños en los equipos y procesos de tratamiento si no se eliminan adecuadamente.



¿Cómo funciona?

Un desarenador funciona mediante un proceso de sedimentación por gravedad. El agua ingresa al desarenador y se desacelera, permitiendo que los sedimentos se asienten en el fondo. El desarenador puede incluir deflectores o sistemas de remanso para dirigir el flujo del agua y mejorar la sedimentación. El agua clarificada, con menos sedimentos, se recoge en la parte superior y se dirige hacia las etapas posteriores del tratamiento. Los sedimentos acumulados en el fondo se remueven periódicamente mediante compuertas de drenaje o sistemas de raspado o succión.

Mantenimiento de la unidad



Cada dos semanas se comprobará el correcto funcionamiento y estanqueidad de las compuertas ubicadas en los canales desarenadores, que permiten derivar el caudal de aguas residuales hacia el canal que se encuentre en operación.

Las labores de retirada de las arenas dependerán de los dispositivos con los que cuenten los desarenadores para este fin.

Las arenas depositadas en el fondo de los canales que no cuenten con sistema de limpieza se retirarán manualmente al menos una vez por semana para evitar su compactación y minimizar la generación de olores desagradables.

En ocasiones, las arenas extraídas se depositan en lechos de secado.

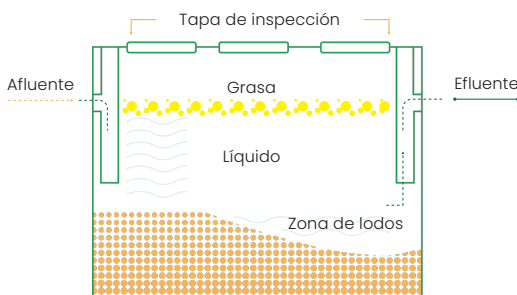
Almacenar en una tolva los residuos retenidos y disponerlos con la empresa prestadora del servicio de aseo.

Trampa de grasas

Nivel de tratamiento preliminar



¿Qué es?



Es una operación unitaria de tratamiento preliminar utilizada para retener grasas, aceites y sólidos grasos presentes en las aguas residuales antes de que ingresen al sistema de tratamiento. Este dispositivo evita obstrucciones en las tuberías y problemas ambientales al separar las grasas del agua mediante la flotación. Las grasas capturadas se mantienen en la trampa hasta su limpieza, asegurando un funcionamiento eficiente del sistema de tratamiento de aguas residuales.



¿Cómo funciona?

Cuando las aguas residuales ingresan a la trampa, el flujo se ralentiza, lo que permite que las grasas y aceites más livianos floten hacia la superficie. Estos flotantes se acumulan en la parte superior de la trampa, mientras que el agua más limpia y libre de grasas continúa su recorrido hacia el alcantarillado o la planta de tratamiento. Las grasas retenidas se mantienen en la trampa hasta su extracción periódica.

Operación y mantenimiento



La trampa de grasas debe limpiarse diariamente para evitar la acumulación excesiva de grasa y garantizar su funcionamiento adecuado.

Durante el proceso de limpieza, es importante retirar y desechar correctamente los residuos acumulados en la trampa. Esto puede requerir el uso de herramientas especiales, como espátulas para raspar y remover los residuos de manera efectiva.

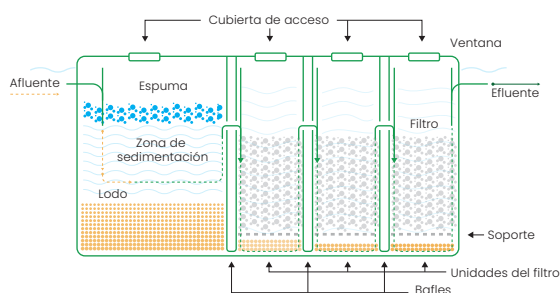
Se deben revisar los componentes como las tapas y los sellos para asegurarse de que estén en buenas condiciones y que no hayan fugas.

Filtro Anaerobio Ascendente (FAFA)

Nivel de tratamiento primario



¿Qué es?



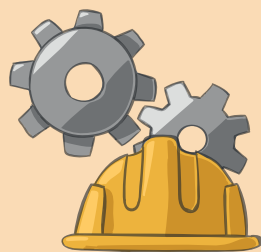
El FAFA es una unidad operacional de nivel de tratamiento primario constituido por un reactor anaerobio con deflectores de altura entre 1 y 3 m y con biomasa adherida a un medio de soporte (e.j., grava, rocas, cenizas o rosetas) con alta superficie específica de contacto. En el FAFA se realiza el proceso de oxidación de la materia orgánica por acción de microorganismos adheridos al material de soporte y que entra en contacto con el agua residual. La población por servir en asentamientos va hasta 500 habitantes, aunque puede ser utilizado con poblaciones mayores a 1000 habitantes.



¿Cómo funciona?

El agua residual fluye desde la parte inferior del filtro hacia arriba, atravesando el medio filtrante que proporciona un sustrato para el crecimiento de bacterias anaerobias. A medida que el agua asciende, las bacterias anaerobias adheridas al medio filtrante degradan la materia orgánica presente en el agua residual, transformándola en biogás y productos finales estables. El medio filtrante también ayuda a retener los sólidos suspendidos y permite la formación de una biopelícula rica en bacterias. El agua tratada se recoge en la parte superior del filtro y puede ser descargada como efluente tratado.

Operación de la unidad



El período de arranque del FAFA oscila entre 6 y 9 meses debido al periodo de aclimatación de los microorganismos.

Se debe evitar la obstrucción del sustrato filtrante. Para ello es muy importante el correcto funcionamiento del tratamiento preliminar y del tratamiento primario, para evitar que llegue al filtro una cantidad excesiva de materia en suspensión.

Monitoreo diario de parámetros fisicoquímicos como pH, SST en el afluente y efluente de la unidad y de biogás. Así mismo, de manera trimestral es necesario el monitoreo de DQO y DBO.

Mantenimiento de la unidad



Monitoreo semanal de la cantidad de lodos en el FAFA.

Remoción del lodo al menos una vez al año. Verificar dispositivos de entrada, válvulas y demás accesorios al menos 1 vez a la semana para prevenir obstrucciones.

Las labores de operación y mantenimiento en este tipo de filtros se orientan principalmente a evitar la obstrucción del sustrato filtrante. Para ello, es muy importante asegurar el correcto funcionamiento del tratamiento preliminar y primario, evitando que llegue al filtro una cantidad excesiva de materia en suspensión.

Realizar inspecciones regulares de las estructuras del filtro para detectar posibles daños, fugas u obstrucciones de manera semestral.

Implementar medidas para controlar los olores generados por el filtro, lo que podría hacerse con barreras vivas.

La manipulación del lodo debe realizarse con medidas de seguridad (guantes, tapabocas) debido al riesgo asociado a su manipulación ya que los tanques sépticos se localizan debajo de la superficie terrestre.

Durante la limpieza, el FAFA no debe lavarse por completo pues esto dificultaría la operación del reactor.

El agua residual procedente del lavado de los FAFA se conduce nuevamente al ingreso del sistema de tratamiento.

Una vez por semana se debe extraer material flotante, erradicando también el material algal que también se haya podido desarrollar.

Nota

*DQO : Demanda Química de Oxígeno

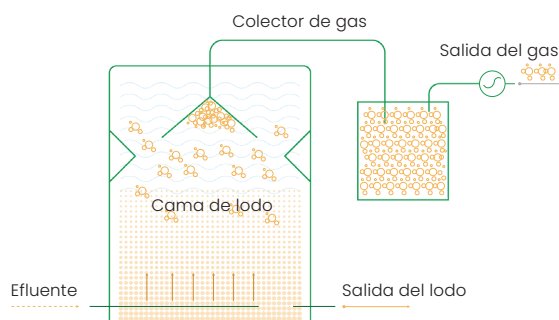
**DBO : Demanda Bioquímica de Oxígeno

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

Nivel de tratamiento secundario



¿Qué es?



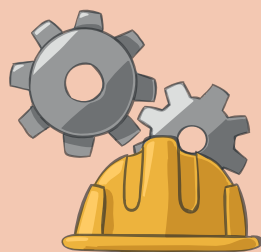
El Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) es una tecnología anaerobia de nivel de tratamiento primario y/o secundario y está recomendado para poblaciones mayores a 1000 habitantes. El UASB es un reactor de mezcla completa que cuenta con un manto de lodos y un dispositivo separador gas-sólido-líquido (SGSL). Producto del proceso anaerobio se obtiene metano y agua residual con restricciones de calidad para riego. El UASB se caracteriza por presentar una alta eficiencia de remoción de sólidos.



¿Cómo funciona?

En el UASB, el agua residual fluye en dirección ascendente desde el fondo del reactor y entra en contacto con lodo granular. Como consecuencia del metabolismo anaerobio se genera biogás que circula al interior del reactor aportando a la formación y mantenimiento de los gránulos. El biogás generado asciende transportando agua y sólidos de abajo hacia arriba del reactor y por lo tanto en el SGL, el sólido se devuelve al fondo del reactor y el gas se captura en forma de cono invertido en la parte superior del dispositivo.

Operación de la unidad



El período de arranque del reactor puede variar de 4 a 6 meses si no se utilizan inóculos. Sin embargo, si se emplean inóculos de otros reactores anaerobios, este tiempo puede reducirse a 2 o 3 semanas.

Monitoreo diario de los niveles de gas dentro del reactor, ya que el exceso de gas puede acumularse y afectar la eficiencia del proceso.

Monitoreo diario de sólidos suspendidos, temperatura y pH en el afluente y efluente del reactor.

Verificación diaria de dispositivos de alimentación del reactor.

Monitoreo semanal de la calidad y cantidad de los lodos.

Mantenimiento de la unidad



Purga del lodo cada 3 a 6 meses.

Monitoreo trimestral del afluente y efluente del reactor en términos de pH, DQO, DBO, SST y demás parámetros solicitados por la normativa.

Realizar inspecciones regulares de la estructura del reactor para asegurarse de que no haya fugas ni daños en las tuberías o en otras partes del sistema.

Es importante desgasificar el reactor para eliminar el exceso de gases, especialmente metano, que pueden afectar la eficiencia del tratamiento y la seguridad del sistema.

Semanalmente se procederá a la eliminación de natas en el interior del separador trifásico.

Semanalmente se procederá a eliminar la capa de materias flotantes de la superficie de la zona de sedimentación.

Cada semana se revisará que el sistema de recogida de aguas tratadas, como vertederos y tubos perforados, funcione correctamente.

La limpieza de las canaletas de recolección de las aguas tratadas se recomienda se realice cada semana.

La manipulación del lodo debe realizarse con medidas de seguridad (guantes, tapabocas) debido al riesgo asociado a su manipulación.

La remoción de natas debe realizarse semanalmente.

Nota

*DQO : Demanda Química de Oxígeno

**DBO : Demanda Bioquímica de Oxígeno

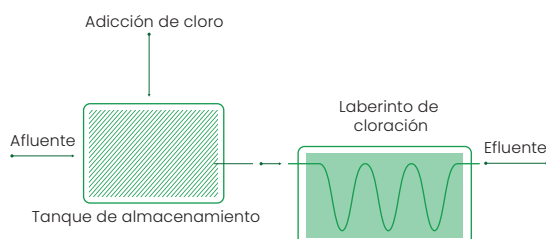
***SST : Sólidos Suspendidos Totales

Cloración

Nivel de tratamiento terciario



¿Qué es?



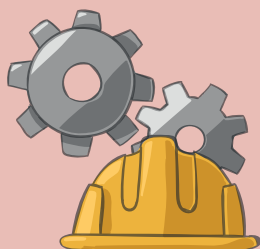
La cloración es un método de desinfección de aguas residuales que utiliza la oxidación de la materia celular para la destrucción de la materia celular de microorganismos patógenos.



¿Cómo funciona?

El cloro es aplicado en el agua y puede presentarse en diferentes formas como cloro gaseoso, dióxido de cloro, hipoclorito cálcico e hipoclorito sódico. Cada una de estas formas tiene sus propias ventajas y desventajas, pero todas son efectivas para eliminar microorganismos patógenos. Una vez aplicado el cloro, una parte residual permanece en las aguas residuales, asegurando que no exista contaminación por un cierto periodo de tiempo. Esta cloración residual actúa como una barrera adicional contra la recontaminación, proporcionando una protección continua.

Operación de la unidad



La puesta en marcha de un sistema de cloración implica varias actividades clave: verificar que todas las válvulas estén en la posición correcta y etiquetadas, revisar que las tuberías estén en buen estado, comprobar que el equipo de alimentación y seguridad funcione bien, y establecer un programa para abrir las válvulas e iniciar el equipo en un orden específico.

La cloración puede generar subproductos tóxicos no permitidos en el agua potable y no deseados en otros usos. Para evitar esto, es importante reducir la cantidad de materia orgánica y sólidos suspendidos en el agua tratada.

Grandes cambios en los flujos de agua pueden disminuir la eficacia de la desinfección si no se usan dosificadores automáticos, lo que puede resultar en efluentes con niveles más altos de microorganismos dañinos.

Mantenimiento de la unidad



Monitoreo del tiempo de contacto y dosificación de cloro residual en el efluente cada 15 días.

Desensamble y limpieza de los diversos componentes del sistema cada 6 meses.

Eliminación de depósitos de hierro y manganeso utilizando sustancias como el ácido muriático cada 15 días.

Mantenimiento de equipos de bombeo y dosificación siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Formato E-3. Construcción de trenes de tratamiento de aguas residuales.

CONSTRUYE UN TREN QUE ALCANCE A NIVEL PRIMARIO

	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Ubica las tecnologías conectadas en el tren en esta fila				
<p>¿Cuál es la finalidad y objetivo de este tren?</p> <p>A. Reúso B. Vertimiento</p>				

CONSTRUYE UN TREN QUE ALCANCE A NIVEL PRIMARIO

	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Ubica las tecnologías conectadas en el tren en esta fila				
<p>¿Cuál es la finalidad y objetivo de este tren?</p> <p>A. Reúso B. Vertimiento</p>				

E-3a. Tabla para la construcción de trenes de tratamiento de aguas residuales

REJILLAS



REJILLAS



REJILLAS



REJILLAS



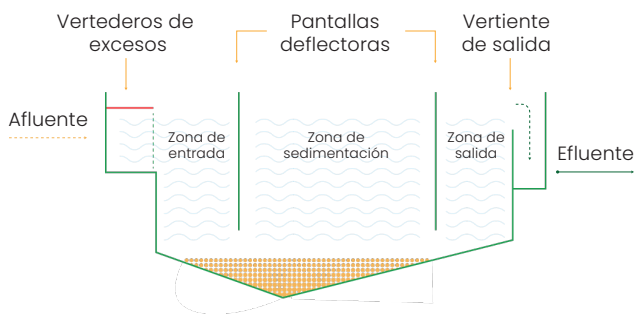
REJILLAS



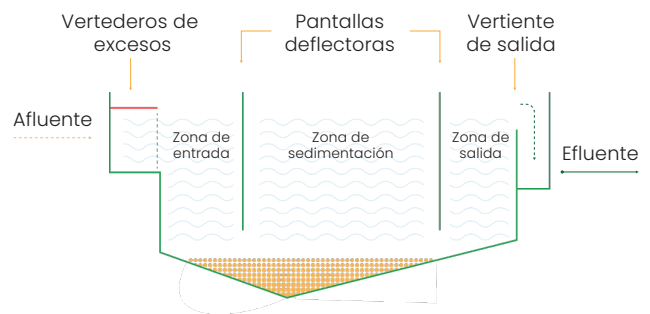
REJILLAS



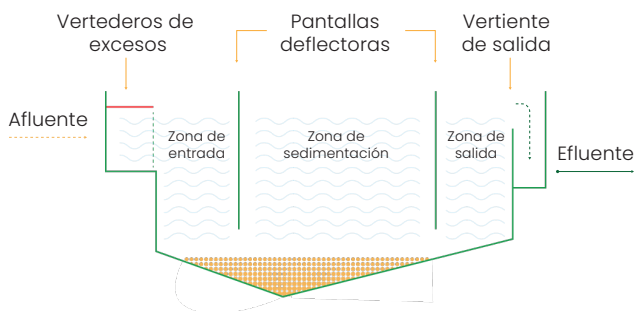
DESARENADOR



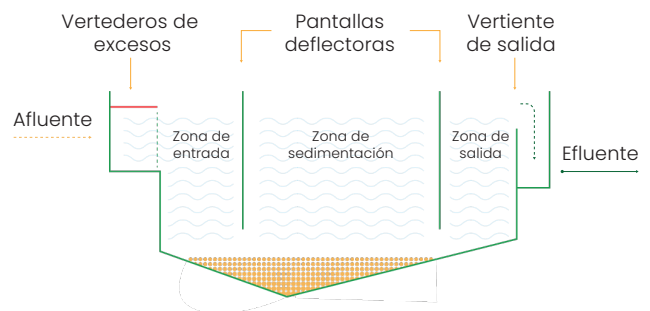
DESARENADOR



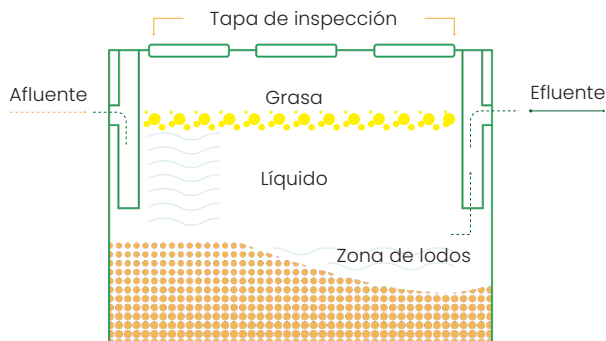
DESARENADOR



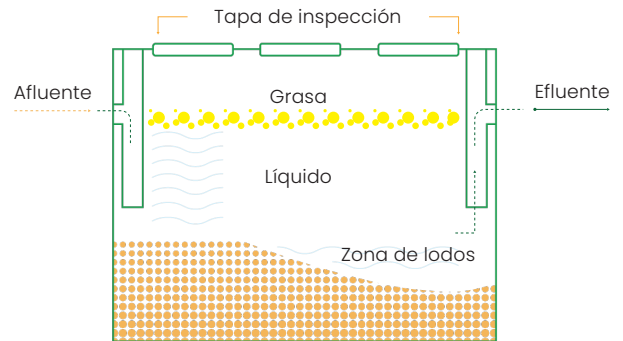
DESARENADOR



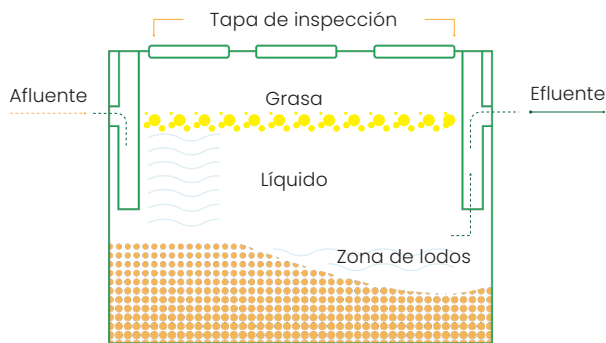
TRAMPA DE GRASAS



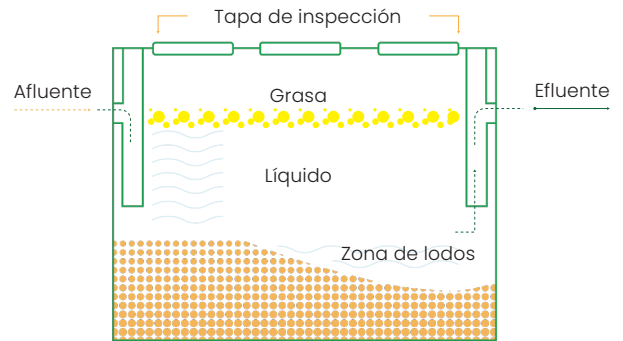
TRAMPA DE GRASAS



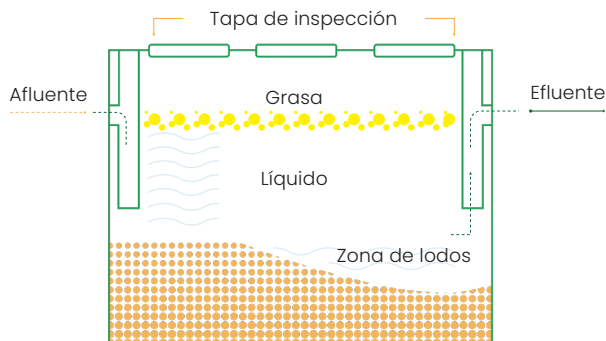
TRAMPA DE GRASAS



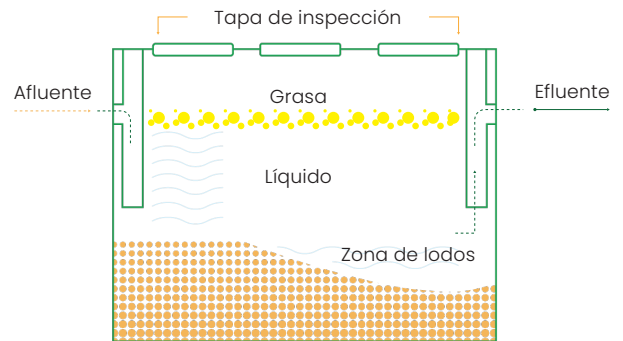
TRAMPA DE GRASAS



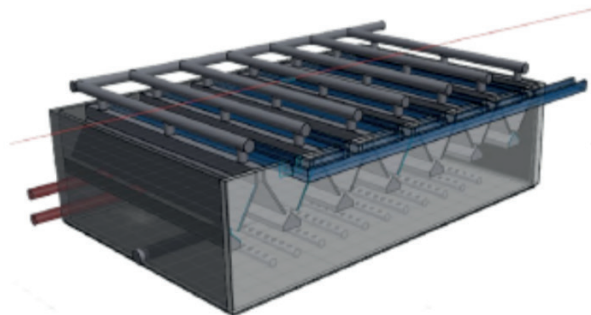
TRAMPA DE GRASAS



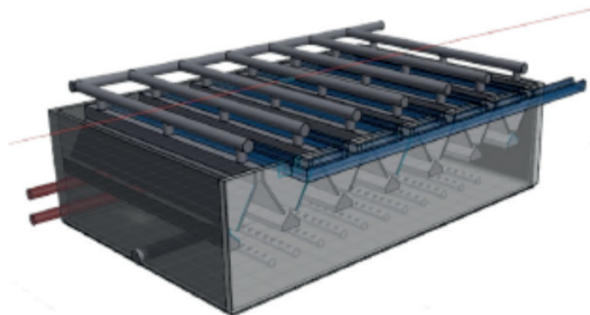
TRAMPA DE GRASAS



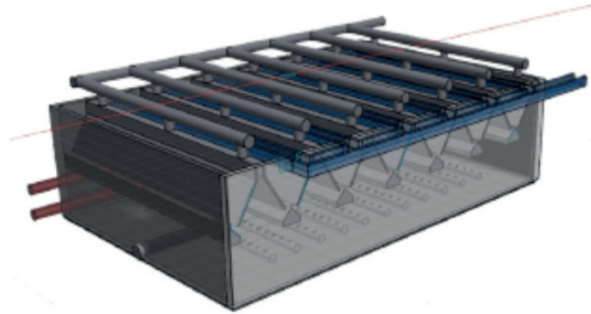
REACTOR UASB



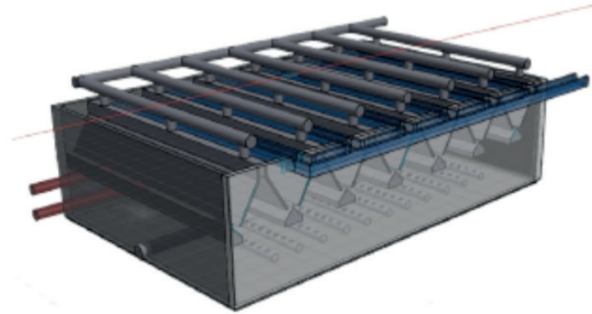
REACTOR UASB



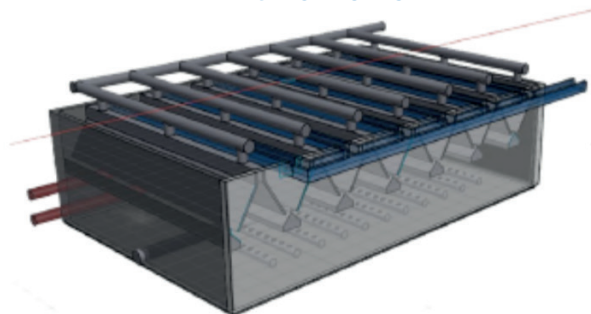
REACTOR UASB



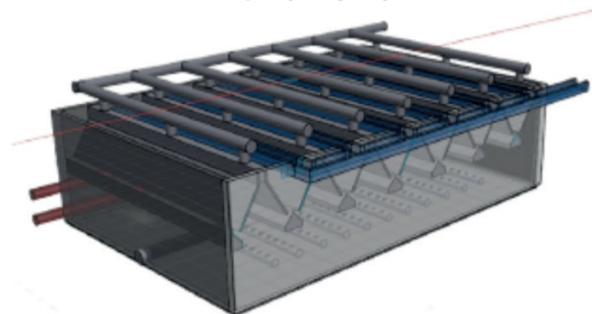
REACTOR UASB



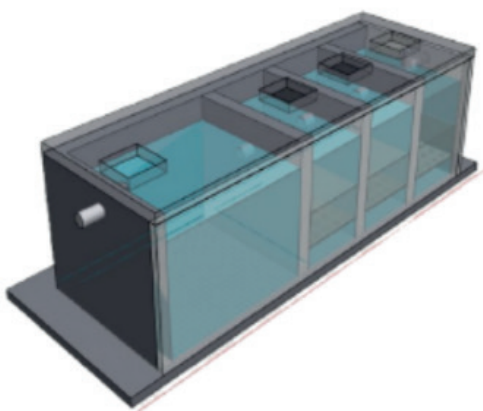
REACTOR UASB



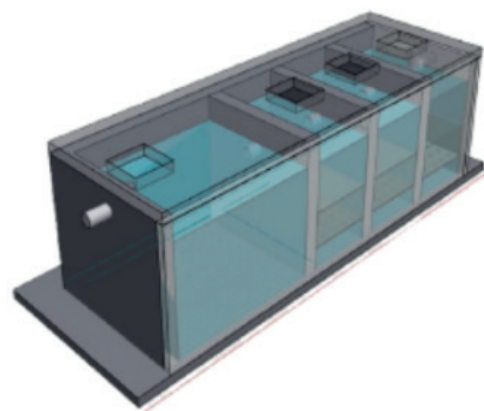
REACTOR UASB



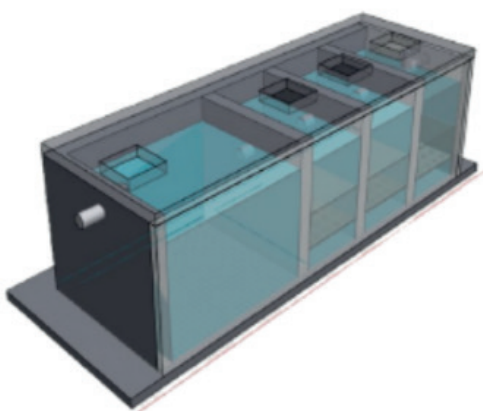
FILTRO ANAEROBIO



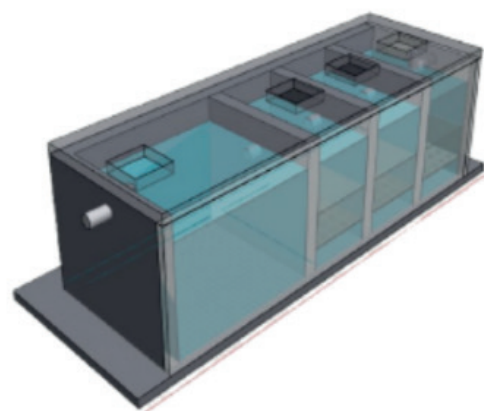
FILTRO ANAEROBIO



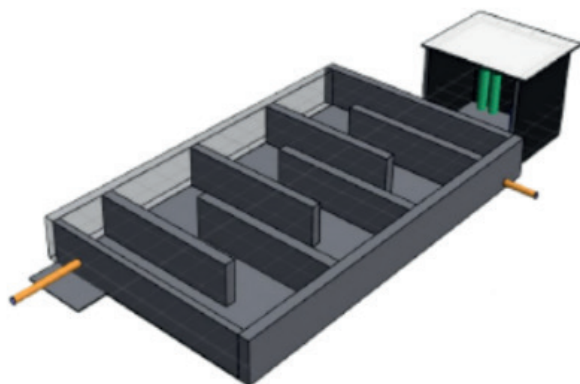
FILTRO ANAEROBIO



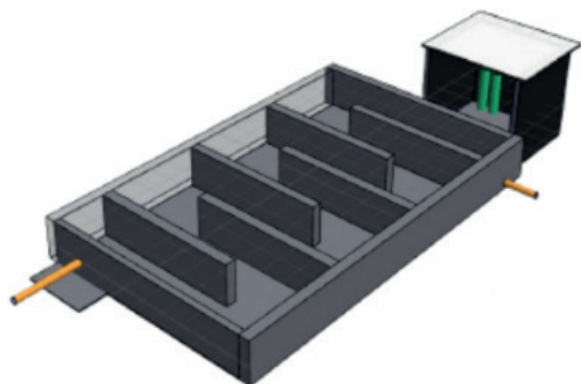
FILTRO ANAEROBIO



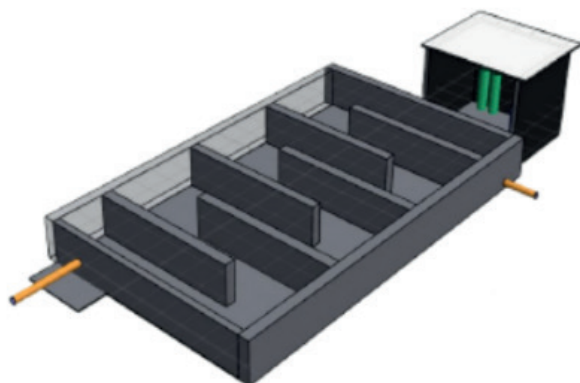
CLORACIÓN



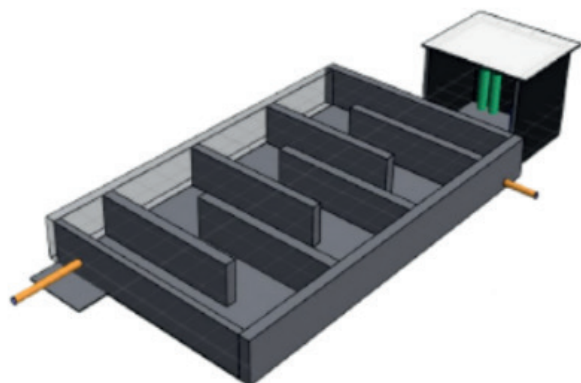
CLORACIÓN



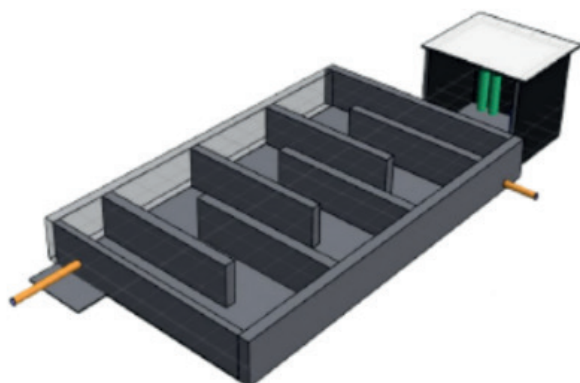
CLORACIÓN



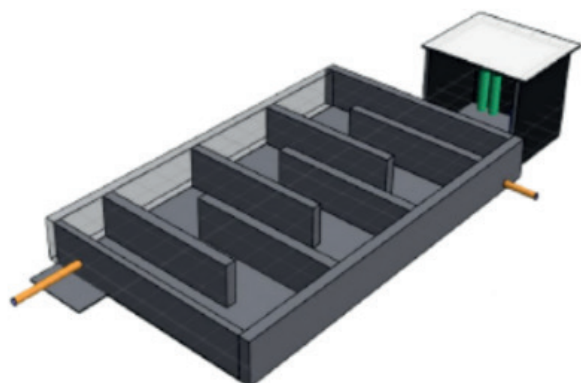
CLORACIÓN



CLORACIÓN

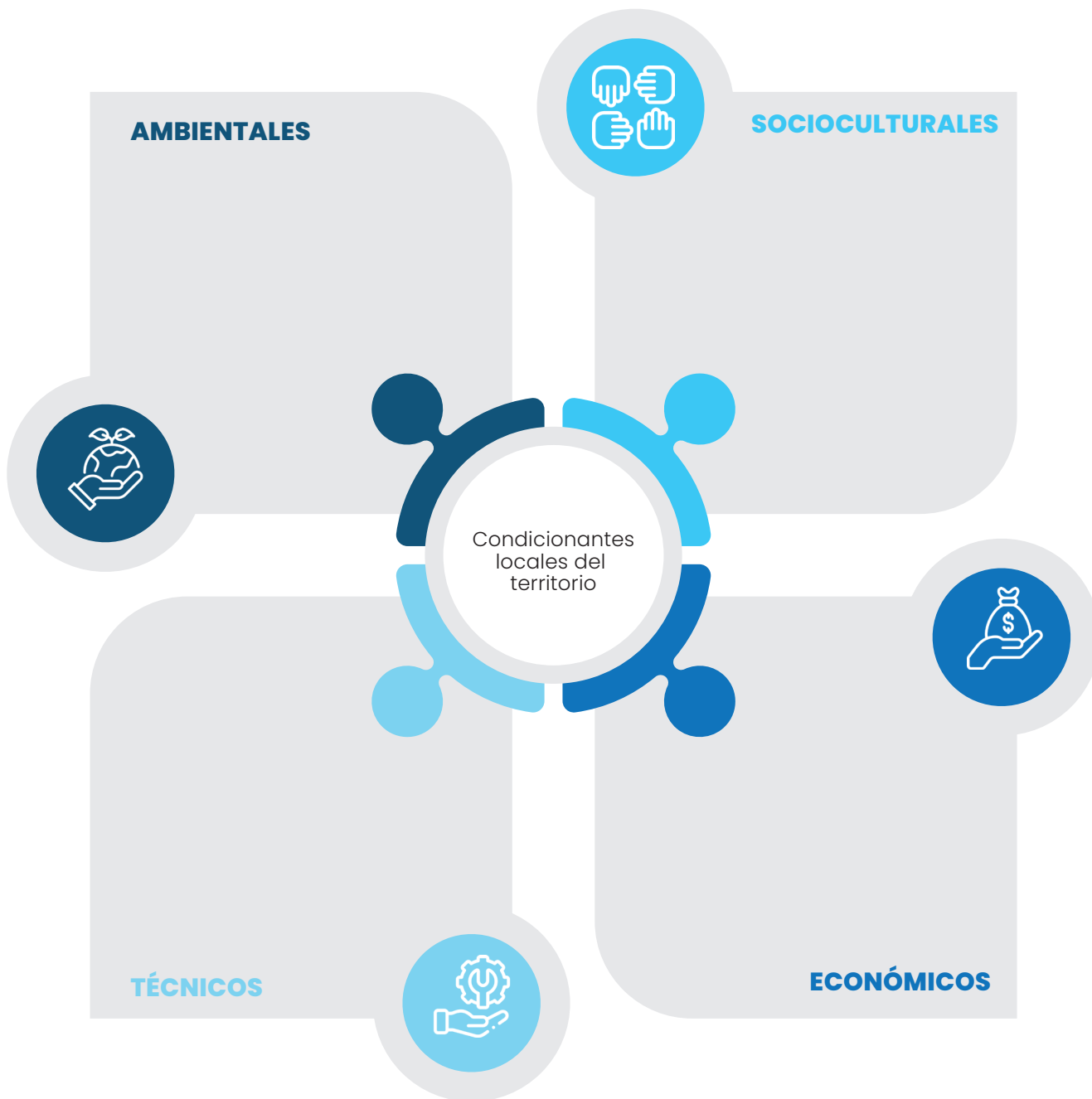


CLORACIÓN



E-3b. Ejemplos de adhesivos con imágenes de las tecnologías aplicables en el asentamiento

Formato E-4. Mapa mental de condicionantes del territorio



Anexo F.

Protocolo del Taller de Aprendizaje Participativo III

TÍTULO DEL PROTOCOLO

Socialización de los procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento.

INTRODUCCIÓN

La selección de Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales (SDTAR) constituye un punto fundamental en la gestión sostenible del agua, especialmente si se considera la creciente demanda de soluciones eficaces, la necesidad de descentralizar infraestructuras y la valoración del reúso del agua en el marco de la economía circular. Este protocolo tiene por objetivo presentar el desarrollo de un taller para socializar con el grupo motor los procesos de operación y mantenimiento de los trenes de tratamiento descentralizados de aguas residuales domésticas (ARD) preseleccionados en la Fase III de la herramienta participativa. Al finalizar este taller, las personas participantes habrán: i) afianzado sus conocimientos sobre las tecnologías aplicables al caso de estudio, ii) conocido los procesos y requerimientos de operación y mantenimiento de cada uno de los trenes de tratamiento, iii)

conocido los costos de operación y mantenimiento de las tecnologías con potencial de aplicación a los asentamientos.

DESTINATARIOS

Grupo motor del asentamiento.

DURACIÓN

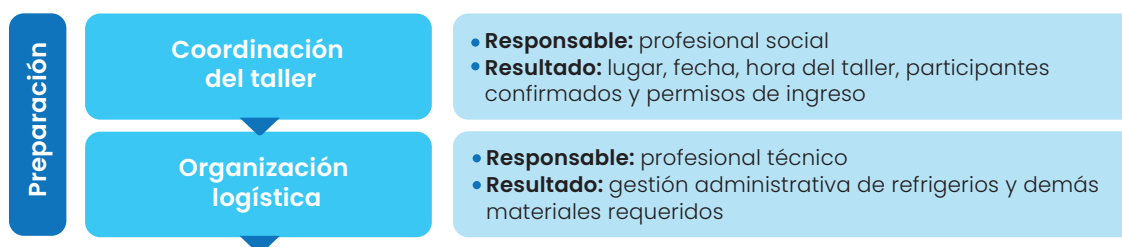
120 minutos.

OBJETIVOS

- Afianzar conocimientos sobre aspectos clave de los sistemas de tratamiento de ARD con potencial de aplicación en el asentamiento.
- Conocer los procesos de operación y mantenimiento de cada tecnología con potencial de aplicación en el asentamiento.
- Conocer los costos de operación y mantenimiento de los trenes de tratamiento de ARD con potencial de aplicación en el asentamiento.

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Figura F-1 se presenta la secuencia del taller de formación expuesto en este protocolo:



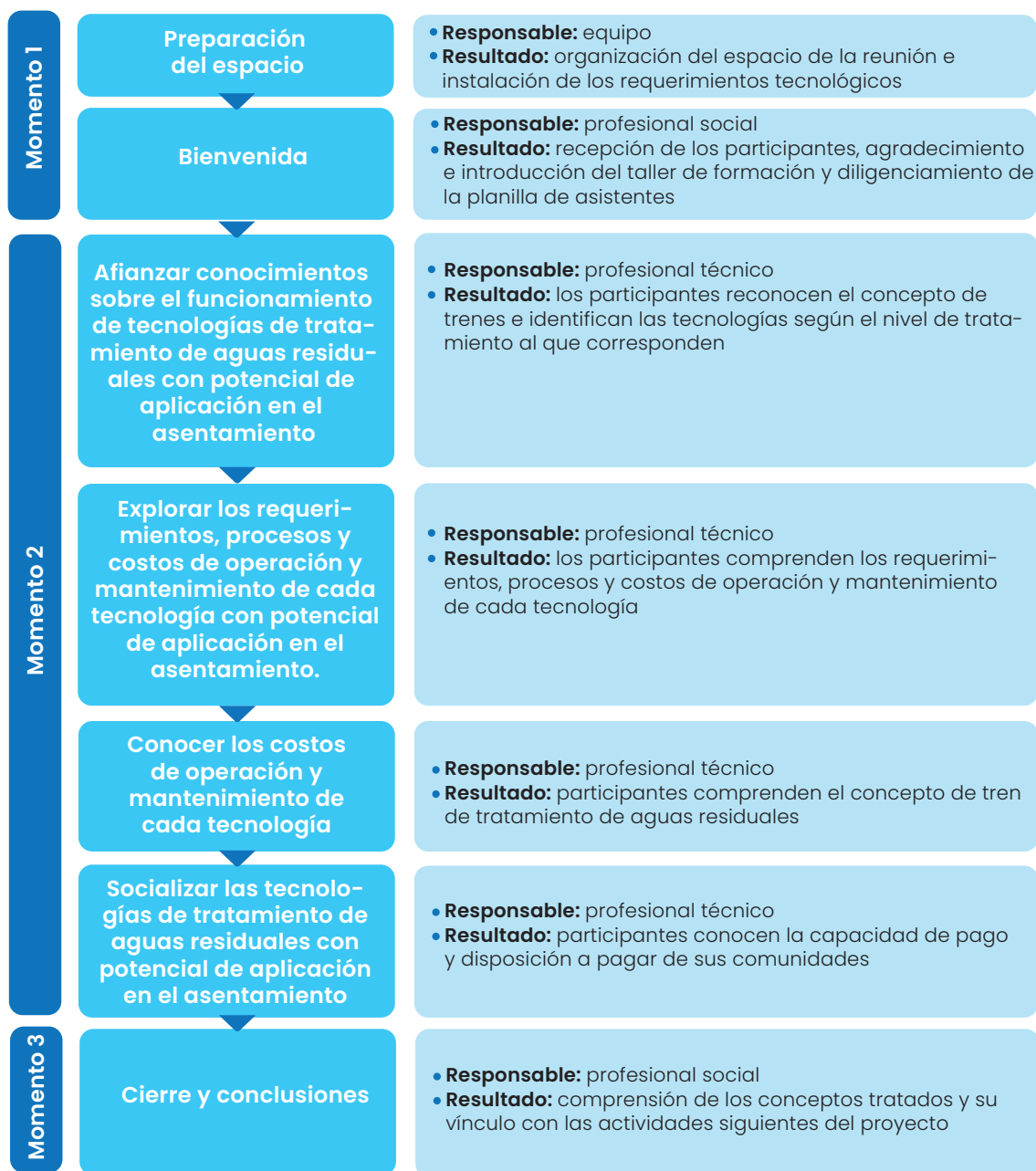


Figura F-1. Flujograma del proceso del taller de formación.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
	Coordinación del taller (2 semanas antes)	i. Organice los aspectos clave para la realización del taller:	<ul style="list-style-type: none"> Directorio de integrantes del grupo motor

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación		<ul style="list-style-type: none"> a. Lugar, fecha y hora de la reunión: confirme la reserva del espacio y verifique que todas las personas podrán acceder sin restricción. b. Invitación: socialice con el grupo motor el lugar, fecha y hora de la reunión. c. Confirmación: valide la participación de los integrantes del grupo motor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos completos de los participantes del taller
	Organización logística (2 semanas antes)	<ul style="list-style-type: none"> ii. Realice la solicitud administrativa de los recursos necesarios para la realización del taller: <ul style="list-style-type: none"> a. Transporte y alimentación. b. Elementos de papelería. c. Impresión de los materiales requeridos. d. Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto estimado para la realización del taller • Registro fotográfico • Formato de solicitud de recursos
Momento I	Preparación del espacio (15 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> iii. Disponga de los materiales y espacio para la realización del taller: <ul style="list-style-type: none"> a. Organice el espacio para la realización del taller: disponga de las sillas y mesas en círculo frente al telón de proyección. b. Prepare y conecte los equipos requeridos para la proyección: computador, proyector, cable HDMI, cargador, extensión o papelógrafo. c. Ordene los materiales requeridos: registro de asistencia, actividades, recursos didácticos u otro, de acuerdo con las actividades propuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas y sillas de trabajo • Proyector • Tablero acrílico • Marcadores • Formato de asistencia • Materiales de las actividades
	Bienvenida (15 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> iv. Reciba a los participantes de la reunión: <ul style="list-style-type: none"> a. Guíe a los participantes al lugar de la reunión y pídale que tomen asiento. b. Registre su asistencia. v. Cuando todos los participantes hayan llegado: <ul style="list-style-type: none"> a. Agradezca la disposición de las personas a asistir y participar en las actividades. b. Recuerde brevemente el propósito del taller. c. Inicie con el juego “sigue la serie”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de asistencia • Registro fotográfico • Pelota

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
		<ul style="list-style-type: none"> - Pida a los participantes que se paren formando un círculo. - Explique en qué consiste el juego señalando que se deben lanzar la pelota entre los participantes y quien la obtenga en primer lugar debe decir una palabra, el segundo que recoja la pelota debe repetir la palabra del anterior y mencionar otra, y así sucesivamente, pasando el balón de una persona a otras formando una red de palabras. - Inicie mencionando una palabra y lanzando la pelota a un participante. - Cuando un participante no recuerde la red de palabras sale del círculo y se vuelve a empezar. - Repita el ejercicio algunas de 3 a 5 veces, evitando agotar a las personas participantes. 	
Momento 2	<p style="text-align: center;">Afianzar conocimientos en el funcionamiento de tecnologías y trenes de tratamiento de aguas residuales con potencial de aplicación en el asentamiento.</p> <p style="text-align: center;">(40 min)</p>	<p>vi. Inicie el taller</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Mencione el plan de trabajo del taller, llamando la atención sobre las actividades a realizar. b. Presente la primera actividad. c. Pida a los participantes que se conformen subgrupos. d. Entregue a cada subgrupo de dos a tres hojas (dependiendo de la cantidad de personas) con las respuestas del Formato F-1. Este formato contiene una tabla por completar de 5 columnas y 3 filas. La columna de la izquierda tiene las siguientes preguntas: 1. ¿Cuáles son los nombres de cada nivel de tratamiento? 2. ¿Cuáles son los contaminantes que se remueven en cada nivel de tratamiento? 3. ¿Cuál es el objetivo final de los trenes de tratamiento que llegan a este nivel?. e. Presente el Formato F-1 en una impresión visible para todas las personas participantes (o dibújelo en un tablero). Explique que el formato será completado en orden, comenzando por la primera fila. El dinamizador planteará una serie de preguntas que deben contestarse con las hojas que las personas participantes tienen en sus manos. f. Indique a los participantes que cualquier persona de cualquier subgrupo puede responder, aunque no tenga la respuesta indicada en las hojas entregadas. Cuando esto suceda se buscará entre los subgrupos aquellos participantes que tengan la respuesta. Esta persona se pondrá de pie y pegará en el formato impreso o en el tablero (según corresponda) la respuesta, usando cinta. g. Comience la actividad realizando las siguientes preguntas en el orden en el que se completa la tabla: 	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Formato F-1: Tabla sistemas de tratamiento de ARD • Formato F-2: Fichas de tecnologías • Adhesivos asociados al Formato F-2 • Formato F-3: Tabla de eficiencia de cada tecnología • Adhesivos asociados al formato F-3 • Tablero

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2	<p>Afianzar conocimientos en el funcionamiento de tecnologías y trenes de tratamiento de aguas residuales con potencial de aplicación en el asentamiento.</p> <p>(40 min)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Para la primera fila, titulada “¿Cuáles son los nombres de cada nivel de tratamiento?”: 1. ¿Cómo se le llama al primer nivel de tratamiento? 2. ¿Cómo se le llama al segundo nivel de tratamiento? 3. ¿Cómo se le llama al tercer nivel de tratamiento? 4. ¿Cómo se llama al cuarto y último nivel de tratamiento?. - Para la segunda fila, titulada: “¿Cuáles son los contaminantes que se remueven en cada nivel?”: 6. ¿Cuáles contaminantes se remueven en primer nivel de tratamiento? 7. ¿Cuáles contaminantes se remueven en el segundo nivel de tratamiento? 8. ¿Cuáles contaminantes se remueven en el tercer nivel de tratamiento? 9. ¿Cuáles contaminantes se remueven en el cuarto y último nivel de tratamiento?. - Para la tercera fila, titulada: “¿Cuál es el objetivo final de los trenes de tratamiento que llegan a este nivel?”: 10. Si se llega al primer nivel de tratamiento, ¿qué se puede hacer con el agua o cuál es el objetivo del tratamiento? 11. Si se llega al segundo nivel de tratamiento, ¿qué se puede hacer con el agua o cuál es el objetivo de tratamiento? 12. Si se llega al tercer nivel de tratamiento, ¿qué se puede hacer con el agua o cuál es el objetivo del tratamiento? 13. Si se llega al cuarto y último nivel de tratamiento, ¿qué se puede hacer con el agua o cuál es el objetivo del tratamiento?. <p>h. Una vez finalizada la actividad, haga un repaso por la información que presenta la tabla en plenaria. Resuelva las dudas de la comunidad y continúe con la actividad de repaso N° 2.</p> <p>i. Entregue a cada subgrupo dos Formatos F-2. Este formato consiste en 6 fichas descriptivas de las tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento. Cada ficha corresponde con una de las tecnologías y contiene 5 casillas con información por completar. Estas casillas en blanco tienen los siguientes títulos: 1. Nombre de la tecnología. 2. Nivel de tratamiento 3. Principales contaminantes removidos. 4. Descripción general del funcionamiento de la tecnología y 5. Grado de complejidad en la operación y mantenimiento. El Formato F-2 debe presentarse a los subgrupos con la sección 5 doblada, para que no pueda ser observada (pues será utilizada en una actividad posterior). Junto con el Formato F-2 entregue un grupo de adhesivos que contienen las respuestas a las casillas de la ficha del formato F-2. Cada subgrupo debe tener al menos 2 tecnologías diferentes.</p> <p>j. Indique en plenaria a los subgrupos que deben completar la información vacía de las primeras 4 casillas relacionadas con las características de las tecnologías con potencial de aplicación en el territorio. Para esto deben usar los adhesivos entregados. Explique que la última casilla (la</p>	

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
<p style="text-align: center;">Momento 2</p>	<p style="text-align: center;">Afianzar conocimientos en el funcionamiento de tecnologías y trenes de tratamiento de aguas residuales con potencial de aplicación en el asentamiento.</p> <p style="text-align: center;">(40 min)</p>	<p>número 5) será completada en una actividad posterior.</p> <p>k. Antes de finalizar, pida a los dinamizadores que asignen a uno o dos miembros del subgrupo para exponer los resultados.</p> <p>l. Una vez terminada la actividad en los subgrupos, invite a las personas que expondrán las fichas a que presenten en plenaria las tecnologías que les correspondieron.</p> <p>m. Complemente la presentación usando diapositivas las fichas con la información completa. Resuelva las dudas del grupo motor.</p> <p>vii. Inicie la actividad de repaso N° 3.</p> <p>a. Entregue a cada subgrupo un pliego de papel con el Formato F-3 impreso. Este formato consta de una tabla de eficiencia de cada tecnología en la eliminación de contaminantes. En la columna de la izquierda se ubican por filas las tecnologías con potencial de aplicación a los asentamientos. Las siguientes 5 columnas contienen en la primera fila los siguientes encabezados: 1. Eliminación de sólidos y grasas; 2. Eliminación de sólidos suspendidos; 3. Eliminación de materia orgánica; 3. Eliminación de nutrientes; 4. Eliminación de microorganismos patógenos.</p> <p>b. Entregue los adhesivos con los que se completará el Formato F-3. Estos adhesivos contienen caras de diferentes colores que indican lo siguiente: en verde con expresión feliz indica alta eficiencia de remoción; amarilla con expresión neutral indica media eficiencia; la roja con expresión triste indica baja eficiencia de remoción de contaminantes; finalmente la gris con NA, indica que no aplica.</p> <p>c. Explique a los participantes que un miembro del equipo técnico expondrá en plenaria la capacidad que tiene cada tecnología de eliminar los contaminantes que encuentran en la tabla. Mientras esto sucede cada subgrupo debe completar la tabla usando los adhesivos entregados previamente que permiten calificar la capacidad de eliminación de contaminantes de cada tecnología.</p> <p>d. Concluya repasando la información contenida en la tabla usando una diapositiva en plenaria. Resuelva dudas del grupo motor.</p>	
			<p>viii. Una vez finalizadas las actividades anteriores, continúe con el momento 2:</p> <p>a. Pida a los subgrupos tener a la mano los Formatos F-2 que contienen fichas de las tecnologías que completaron anteriormente.</p>

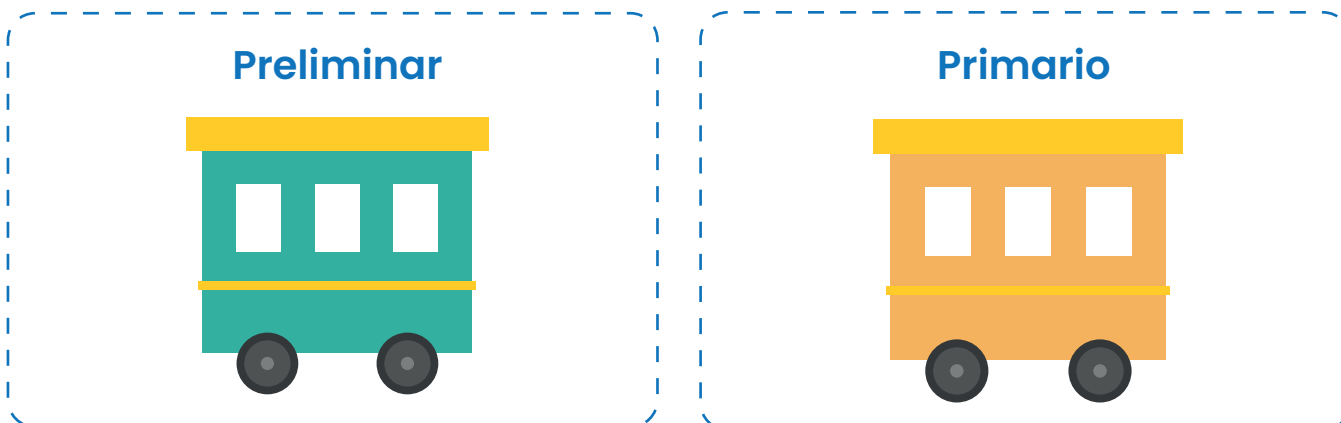
Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2	<p style="text-align: center;">Explorar los requerimientos, procesos y costos de operación y mantenimiento de cada tecnología con potencial de aplicación en el asentamiento.</p> <p style="text-align: center;">(40 min)</p>	<ol style="list-style-type: none"> b. Pegue los Formatos F-2 en donde todos los puedan observar. c. Entregue a cada subgrupo un conjunto de adhesivos para calificar la complejidad de los procesos de operación y mantenimiento de cada tecnología. Los adhesivos son tres: uno verde que dice "Complejidad Baja", uno amarillo que dice "Complejidad Media", y uno rojo, que dice "Complejidad Alta". d. Indique a los participantes que, luego de explicar los requerimientos, procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías, el grupo motor se reunirá para discutir y evaluar la complejidad de los procesos de operación y mantenimiento. Una vez lleguen a un acuerdo, seleccionarán para cada tecnología el adhesivo que lo represente y lo pegarán en el Formato F-2 correspondiente. e. Comience la actividad con la presentación en plenaria de los requerimientos, procesos y costos de operación y mantenimiento de las tecnologías con potencial de aplicación en el asentamiento. Empezar por las que corresponden al nivel preliminar, esto es: Rejilla, desarenador y trampa de grasas. f. Pida al grupo motor que evalúe, de acuerdo con sus opiniones y aprendizajes, la complejidad de la operación y mantenimiento de cada tecnología del nivel preliminar. De un tiempo prudente para que los participantes discutan y ubiquen el adhesivo elegido en la casilla 5 del Formato F-2. g. Presente los requerimientos y procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías que corresponden al nivel primario con potencial de aplicación en el asentamiento: por ejemplo, UASB. h. Pida al grupo motor que evalúe, de acuerdo con sus opiniones y aprendizajes, la complejidad de la operación y mantenimiento de las tecnologías presentadas. De un tiempo para que los participantes discutan y ubiquen el adhesivo elegido en la casilla 5 del Formato F-2. i. Presente los requerimientos y procesos de operación y mantenimiento de la tecnología que corresponden al nivel secundario con potencial de aplicación en el asentamiento: por ejemplo, FAFA. j. Pida al grupo motor que evalúe, de acuerdo con sus opiniones y aprendizajes, la complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología presentada. De unos minutos para que el grupo discuta y ubique el adhesivo elegido en la casilla 5 del Formato F-2. k. Presente los requerimientos y procesos de operación y mantenimiento de la tecnología que corresponden al nivel terciario con potencial de 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato F-2: Fichas por cada tecnología • Adhesivos para calificar la complejidad de operación y mantenimiento

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		<p>aplicación en el asentamiento: por ejemplo, Cloración.</p> <p>l. Pida al grupo motor que evalúe, de acuerdo con sus opiniones y aprendizajes, la complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología presentada. De unos minutos para que los participantes discutan y ubique el adhesivo escogido en la casilla 5 del Formato F-2.</p> <p>m. Resuelva dudas de las personas participantes.</p>	
	<p>Conocer los costos de operación y mantenimiento de cada tecnología con potencial de aplicación al asentamiento</p> <p>(10 min)</p>	<p>ix. Una vez finalizada la actividad anterior, proceda con la siguiente:</p> <p>a. Exponga la diferencia entre costos de inversión y costos de operación y mantenimiento usando las diapositivas de apoyo.</p> <p>b. Explique en qué consisten los rubros que se deben costear en la inversión inicial, y, en segundo lugar, en la operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>c. Presente los costos de operación y mantenimiento de cada tren tecnológico planteado con potencial de aplicación en el asentamiento.</p> <p>d. Finalice con un cuadro resumen en donde se puedan observar comparativamente los trenes tecnológicos, con sus objetivos y costos.</p> <p>e. Invite a la comunidad a compartir sus opiniones sobre la comparación de costos de los trenes tecnológicos expuestos.</p> <p>f. Resuelva dudas de las personas participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo
Momento 3	<p>Conclusiones y cierre</p> <p>(10 min)</p>	<p>x. Para cerrar el taller:</p> <p>a. Resuma los resultados del taller.</p> <p>b. Invite a los participantes a que discutan con sus organizaciones y bases comunitarias los resultados.</p> <p>c. Agradezca a los participantes por su asistencia y participación.</p> <p>d. Recuerde la realización del próximo taller, mencionando su objetivo y fecha de realización.</p> <p>e. Solicite el diligenciamiento de la evaluación de la actividad.</p> <p>f. Despedida de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de evaluación

Formato F-1. Tabla sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Ubique en orden los vagones de los niveles de tratamiento				
¿Cuáles son los contaminantes que se remueven en cada nivel de trata-				
¿Cuál es el objetivo final de los trenes de tratamiento que llegan a este nivel?				

F-1a. Tabla de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas



Secundario



Terciario



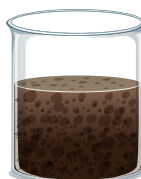
Sólidos grandes, grasas, aceites y arenas



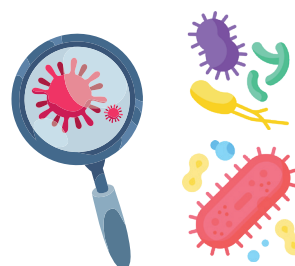
Sólidos suspendidos y materia orgánica sedimentables



Sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta



Patógenos y/o nutrientes



Vertimiento



Reúso



F-1b. Adhesivos sobre niveles de tratamiento

Formato F-2. Ejemplos de fichas de tecnologías

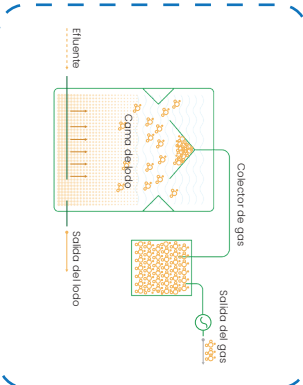
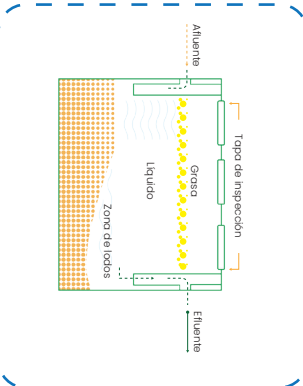
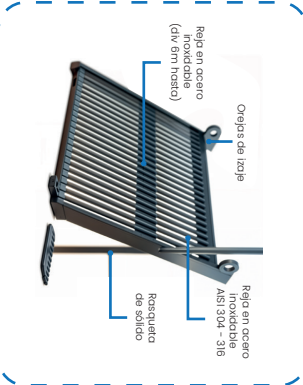
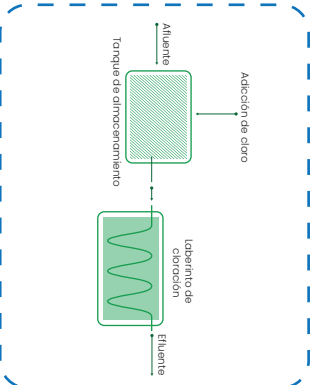
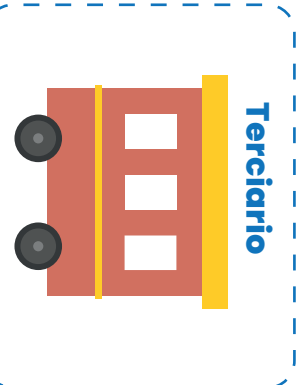
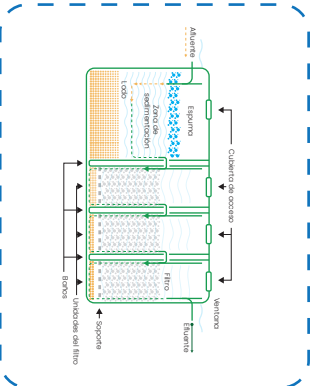
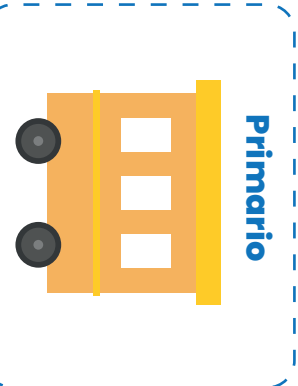
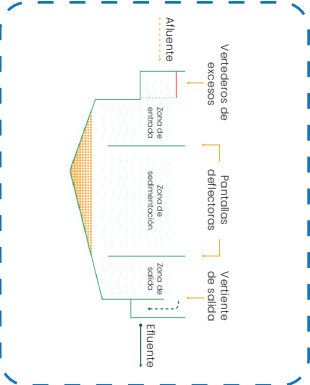
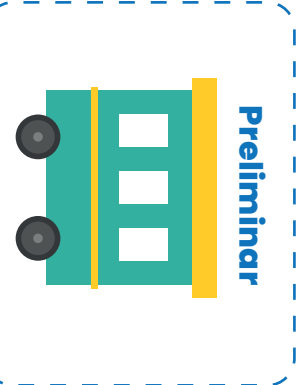
Rejilla	Nivel de tratamiento	Principales contaminantes removidos	Descripción general del funcionamiento	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología
Desarenador	Nivel de tratamiento	Principales contaminantes removidos	Descripción general del funcionamiento	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología

Formato F-2. Ejemplos de fichas de tecnologías

Trampa de grasas	Nivel de tratamiento	Principales contaminantes removidos	Descripción general del funcionamiento	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología
FAFA	Nivel de tratamiento	Principales contaminantes removidos	Descripción general del funcionamiento	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología

Cloración	Nivel de tratamiento	Reactor UASB	Nivel de tratamiento
Principales contaminantes removidos	Principales contaminantes removidos	Principales contaminantes removidos	Principales contaminantes removidos
Descripción general del funcionamiento	Descripción general del funcionamiento	Descripción general del funcionamiento	Descripción general del funcionamiento
Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología	Complejidad de la operación y mantenimiento de la tecnología

F-2a. Ejemplo de tablas con fichas de tecnología aplicables



REMOCIÓN DE SÓLIDOS DE GRAN TAMAÑO

EL AGUA RESIDUAL FLUYE Y LOS SÓLIDOS GRANDES QUEDAN ATRAPADOS EN LA SUPERFICIE, FORMANDO UNA CAPA

**REMOCIÓN DE ARENAS
Y GRAVA**

**EL AGUA INGRESA Y FLUYE
MÁS LENTO PERMITIENDO
QUE PARTÍCULAS PESADAS
SE DEPOSITEN EN EL
FONDO**

**REMOCIÓN DE ACEITES
Y GRASAS**

**EL FLUJO SE HACE MÁS
LENTO, LO QUE PERMITE
QUE LAS GRASAS Y
ACEITES MÁS LIVIANOS
FLOTEN HACIA ARRIBA**

- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS**
- **MATERIA ORGÁNICA**

**EL AGUA RESIDUAL FLUYE HACIA
ARRIBA DESDE EL FONDO DEL
REACTOR Y ENTRA EN CONTACTO
CON EL LODO QUE TIENE BACTERIAS
QUE CONSUMEN MATERIA
ORGÁNICA**

- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS**
- **MATERIA ORGÁNICA**

**EL AGUA RESIDUAL FLUYE
DESDE ABAJO HACIA
ARRIBA, PASANDO POR UN
FILTRO QUE SIRVE DE SOPORTE
PARA EL CRECIMIENTO DE
BACTERIAS QUE CONSUMEN
MATERIA ORGÁNICA**

**MICROORGANISMOS
PATÓGENOS**

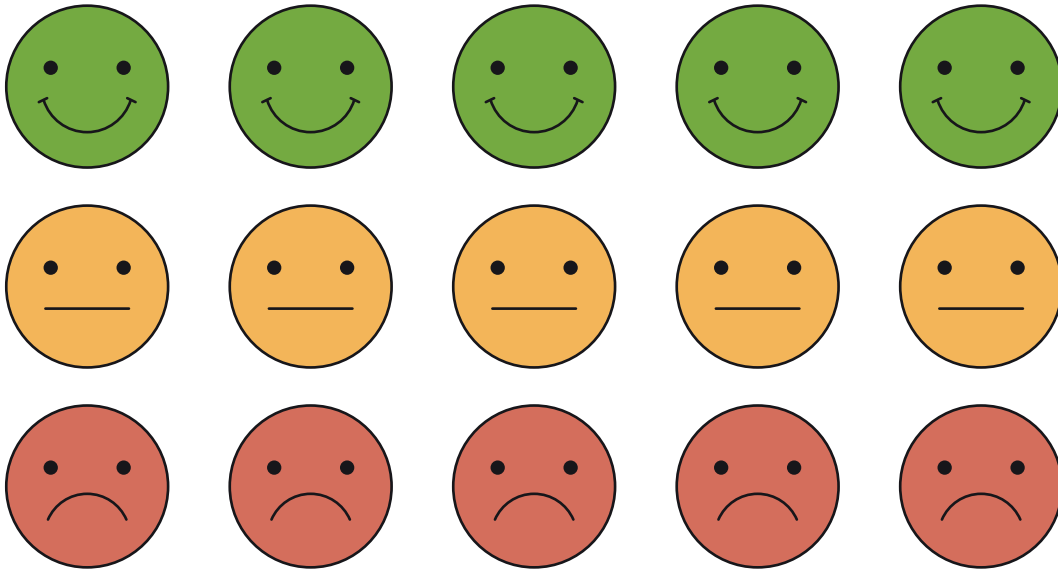
**MÉTODO DE DESINFECCIÓN
DE AGUAS RESIDUALES QUE
UTILIZA CLORO PARA LA
REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS
PATÓGENOS.**

F-2b. Adhesivos para realizar actividades de capacitación sobre tecnologías para el tratamiento de agua residual

Formato F-3. Ejemplo de tabla de eficiencia de cada tecnología

TABLA DE EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	Remoción de microorganismos patógenos				
	Remoción de nutrientes				
	Remoción de materia orgánica				
	Remoción de sólidos suspendidos				
	Remoción de gran tamaño y grasas				
	Tecnología	Rejilla, trampa de grasas, desarenador	FAFA	Reactor UASB	Cloración

F-3a. Ejemplo de tabla de eficiencia de cada tecnología



F-3b. Adhesivos para calificar eficiencias de cada tecnología

Anexo G.

Protocolo del Foro de Selección Participativa

TÍTULO DEL PROTOCOLO

Selección participativa de trenes de tratamiento de agua residual doméstica.

INTRODUCCIÓN

A diferencia de los métodos tradicionales de toma de decisiones que suelen recaer en un pequeño grupo de expertos, la selección participativa busca la inclusión activa de quienes serán afectados por la tecnología. Este protocolo tiene como propósito conducir a la selección participativa del tren de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) por parte del grupo motor. En este taller las personas podrán expresar sus argumentos y generar preguntas a un grupo asesor institucional (el equipo implementador) para aclarar dudas respecto a un tipo de tecnología de tratamiento. También se espera que el grupo motor exponga sus preferencias sobre los sistemas de tratamiento y seleccione el que podría ser el más idóneo para su contexto. Al finalizar el taller se espera que las personas participantes i) conozcan los resultados de la encuesta y los indicadores de Disposición a Pagar y Capacidad de Pago; ii) realicen un proceso de votación informada para seleccionar el tren tecnológico a través de la una votación por orden de preferencia después de discutir los

criterios de comparación de cada tren pre-seleccionado por la herramienta de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales (STDAR); iii) ubiquen lugares potenciales de implementación del tren tecnológico seleccionado participativamente en el área del proyecto.

DESTINATARIOS

Grupo motor del asentamiento.

DURACIÓN

150 minutos.

OBJETIVOS

- Presentar los resultados generales de la encuesta y los indicadores Capacidad de Pago y Disposición a Pagar del asentamiento.
- Realizar un proceso de votación informada para seleccionar el tren de tratamiento de ARD acorde con las características del asentamiento.
- Discutir posibles lugares de implementación del tren de tratamiento de ARD.

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Figura G-1 permitirá al equipo dinamizador conocer la secuencia del taller de formación expuesto en este protocolo:

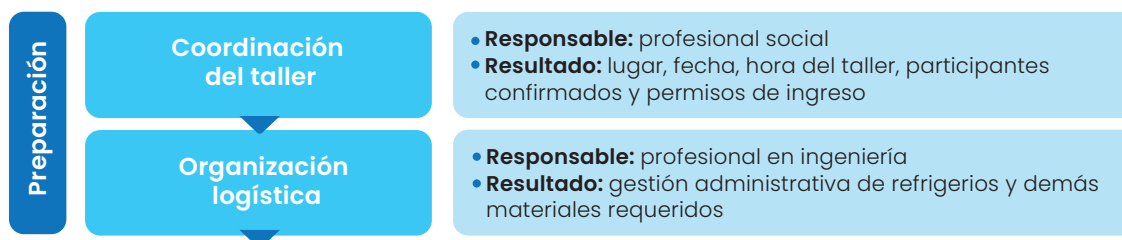




Figura G-1. Flujograma del proceso del taller de formación.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación	Coordinación del taller (2 semanas antes)	<p>i. Organice los aspectos clave para la realización del taller:</p> <p>a. Lugar, fecha y hora de la reunión: confirme la reserva del espacio y verifique que todas las personas podrán acceder sin restricción.</p> <p>b. Invitación: socialice con el grupo motor el lugar, fecha y hora de la reunión.</p> <p>c. Confirmación: valide la participación de los integrantes del grupo motor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Directorio de integrantes del grupo motor Datos completos de los participantes del taller

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación	Organización logística (2 semanas antes)	<p>ii. Realice la solicitud administrativa de los recursos necesarios para la realización del taller:</p> <p>a. Transporte y alimentación. b. Elementos de papelería. c. Impresión de los materiales requeridos. d. Otros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto estimado para la realización del taller • Registro fotográfico
Momento I	Preparación del espacio (15 minutos)	<p>iii. Disponga de los materiales y espacio para la realización del taller:</p> <p>a. Disponga de las sillas y mesas frente al telón de proyección en un espacio para realizar las actividades en plenaria.</p> <p>b. Prepare y conecte los equipos requeridos para la proyección: computador, proyector, cable HDMI, cargador, extensión o papelógrafo.</p> <p>c. Asegúrese de contar con red wifi inalámbrica a la que puedan conectarse las personas asistentes.</p> <p>d. Ordene los materiales requeridos: registro de asistencia, actividades, recursos didácticos u otro, de acuerdo con las actividades propuestas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas y sillas de trabajo • Proyector • Papelógrafo o tablero acrílico • Marcadores • Formato de asistencia • Materiales de las actividades
		<p>iv. Reciba a los participantes de la reunión:</p> <p>a. Guíe a los participantes al lugar de la reunión y pídale que tomen asiento.</p> <p>b. Registre su asistencia, invítelos a tomar asiento y recuérdelos que es importante que se conecten a una red wifi para la realización de algunas de las actividades siguientes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de asistencia • Conexión wifi
	Bienvenida (20 minutos)	<p>v. Cuando todos los participantes hayan llegado:</p> <p>a. Agradezca su participación en las actividades. b. Recuerde brevemente el propósito del foro.</p> <p>vi. Inicie con una técnica de dinamización grupal: hacer equipos.</p> <p>a. Pida a los participantes que se pongan de pie en un círculo. b. Explique que se darán indicaciones para formar equipos con ciertas características. Las personas que queden fuera de los equipos van saliendo del juego. c. Demuestre con el ejemplo: "formar equipos de 3 personas de diferentes edades".</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Papelógrafo o tablero acrílico • Marcadores

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 1		<p>d. Continúe la dinámica formando equipos con las características de las personas de la comunidad.</p> <p>e. Repita el ejercicio entre 3 y 5 veces, procurando no agotar a los participantes.</p> <p>vi. Inicie el taller</p> <p>a. Presente la agenda y objetivos del taller.</p>	
Momento 2	<p>Presentar los indicadores de Capacidad de Pago y Disposición a Pagar del asentamiento</p> <p>(20 minutos)</p>	<p>vii. Presente los resultados de la encuesta; concretamente, los resultados de la Disposición a Pagar (DAP) y la Capacidad de Pago (CAP).</p> <p>a. Recuerde a los participantes los objetivos de la encuesta: conocer la DAP y CAP de los habitantes del asentamiento con el fin de aportar conocimientos para tomar una decisión sobre la selección del tren tecnológico, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas de la comunidad.</p> <p>b. Comience explicando aspectos generales de la encuesta como 1. Número de encuestas realizadas; 2. Percepción del problema de las aguas residuales; 3. Aceptación de la construcción de una planta de tratamiento de ARD.</p> <p>c. Explique brevemente en qué consisten los indicadores de CAP y DAP y describa las variables que se tuvieron en cuenta para obtener los resultados.</p> <p>d. Exponga los resultados globales de CAP y DAP de la comunidad.</p> <p>e. Resuelva dudas de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas de apoyo • Papelógrafo o tablero acrílico • Marcadores
Momento 3	<p>Selección de trenes de tratamiento descentralizados de agua residual</p> <p>(80 minutos)</p>	<p>xi. Inicie la actividad de ponderación de los criterios de selección de los trenes:</p> <p>a. Describa cada uno de los criterios de selección y discuta sus definiciones con los participantes. Resuelva sus dudas.</p> <p>b. Explique la dinámica de comparación por pares para la selección. Indique que para realizar la priorización de criterios se usará un cuestionario de comparación por pares (Formato G-1) que consiste en un formulario digital con preguntas sobre la importancia de un criterio sobre otro. El cuestionario permite, a través de la comparación, evaluar y clasificar cada criterio.</p> <p>c. Una vez discutidos los criterios, pida a los participantes que completen el Formato G-1 usando un código QR que ofrece acceso a un formulario online.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Código QR con acceso al Formato G-1 • Formato G-1: Cuestionario de comparación por pares. Impreso en tarjetón individual • Formato G-2: Procesamiento de datos • Mesas y sillas

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 3	<p>Selección de trenes de tratamiento descentralizados de agua residual</p> <p>(80 minutos)</p>	<p>d. Procese los datos del cuestionario usando una hoja de cálculo similar a la que aparece en el Formato G-2.</p> <p>e. Presente el resultado final y pida a los participantes que den su opinión. Resuelva dudas.</p> <p>x. Presentación de trenes de tratamiento de ARD aplicables a las comunidades.</p> <p>a. Entregue a cada participante del grupo motor una tarjeta de selección, que consiste en una tabla comparativa en donde la primera columna enumera y representa con una ilustración cada tren tecnológico de tratamiento de aguas residuales, a continuación, se exponen en las cuatro columnas contiguas cuatro criterios o cualidades que describen cada tren. El primer criterio se titula "Potenciales Impactos Ambientales"; segundo "Costos asociados"; el tercero "Complejidad Operativa"; y el cuarto, "Calidad del efluente" (Revise el Formato G-3). Junto a cada columna donde se describen los aspectos de cada tecnología hay un espacio en blanco donde cada participante evaluará el desempeño de la tecnología en cada uno de los criterios.</p> <p>b. Exponga, usando la tarjeta de selección, la composición de cada tren tecnológico de tratamiento de ARD en plenaria y sus diferentes implicaciones en función de los criterios previamente definidos en la tarjeta.</p> <p>xi. Selección individual de trenes de tratamiento de ARD.</p> <p>a. Pida a cada participante que evalúe el desempeño de cada tren tecnológico según los criterios listados en la tarjeta de selección. Para ello, utilizarán adhesivos circulares de los siguientes colores: Verde: desempeño favorable Naranja: desempeño medio Rojo: desempeño desfavorable</p> <p>b. Realice el registro fotográfico de las tarjetas de selección de cada participante, digítelas y procese la información mientras continúa el foro.</p> <p>c. Pida a los participantes del grupo motor dividirse en tres subgrupos del mismo tamaño.</p> <p>d. Ubique a cada subgrupo en una mesa redonda donde haya una Tarjeta de Selección (Formato G-3) impresa en gran formato en el centro de la mesa, de tal forma que todos puedan leerla.</p> <p>e. Invite a cada subgrupo a evaluar colectivamente el desempeño de los trenes de tratamiento de ARD aplicables al asentamiento frente a cada criterio de selección usando los adhesivos de colores, tal y como lo hicieron de manera indivi-</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formato G-3: Tarjeta de Selección • Adhesivos de 3 colores en forma de círculo • Computador • Lapiceros

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 3	<p>Selección de trenes de tratamiento descentralizados de agua residual</p> <p>(80 minutos)</p>	<p>dual en la actividad previa. Modere la discusión para tener en cuenta las diversas posturas del grupo y asegurarse de que la evaluación sea colectiva.</p> <p>e. Procese los resultados de las votaciones usando el método de suma ponderada usando como ejemplo el que se encuentra en el Formato G-2 y presente los resultados de priorización al grupo motor.</p> <p>f. Solicite a un miembro del equipo técnico que procese los datos de la votación de todos los subgrupos para obtener un resultado global. El mismo formato servirá en caso de que exista disparidad de opiniones frente al tren seleccionado.</p> <p>h. Invite a los participantes a que elijan una o varias personas que presenten el tren seleccionado en plenaria, exponiendo las razones por las cuales lo priorizaron.</p> <p>i. Reúna a los subgrupos para socializar las elecciones.</p> <p>j. En caso de que los subgrupos hayan llegado al mismo resultado, inicie la siguiente actividad. En caso de que no haya acuerdo, invite a todos los participantes a plantear sus dudas y opiniones de forma ordenada. Modere el diálogo y la discusión entre los participantes, volviendo siempre a los criterios de comparación de cada tren tecnológico.</p> <p>k. Invite a los participantes a llegar a una selección consensuada. Resuelva las dudas que puedan surgir por las diferentes respuestas tratando de no generar sesgo en el proceso de decisión.</p> <p>l. Una vez generado un acuerdo, haga una síntesis y continúe con la última actividad. Si tras un tiempo prudente no se llega a un acuerdo, realice una votación final de tipo individual y socialice los resultados en plenaria.</p>	
Momento 4	<p>Ubicación de lugares potenciales para la construcción del STDAR</p> <p>(30 minutos)</p>	<p>xii. Inicie la actividad de ubicación de posibles ubicaciones para el STDAR:</p> <p>a. Exponga los criterios a tener en cuenta para la elección de lugares potenciales para la construcción del tren de tratamiento de ARD de acuerdo a las necesidades de dicha estructura. Tenga en cuenta criterios como el espacio requerido, las condiciones de seguridad y acceso, entre otros.</p> <p>b. Utilizando un sistema de referenciación geográfica proyecte en el video beam el mapa del asentamiento y pida a los participantes que seleccionen al menos dos sitios potenciales para ubicar el STDAR.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cartografía de cada asentamiento con el sistema artesanal de alcantarillado • Papelógrafo • Marcadores borrables • Diapositivas de apoyo

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
		<ul style="list-style-type: none">c. Explique que estos lugares potenciales identificados deben ser estudiados en detalle para confirmar que existan las condiciones necesarias para poder instalar el SDTAR.d. Resuelva dudas.e. Agradezca a los participantes por sus asistencia y participación.f. Solicite el diligenciamiento de la evaluación de la actividad.g. Realice el cierre del taller y la despedida de los participantes.	<ul style="list-style-type: none">• Formato de evaluación

Formato G-1. Ejemplo de cuestionario de comparación por pares. Impreso en tarjetón individual

Priorización de criterios para la selección de trenes para el tratamiento de aguas residuales en las comunidades.

En este cuestionario buscamos su colaboración para priorizar diferentes criterios importantes en la selección de trenes de tratamiento de aguas residuales en esta comunidad. Los criterios incluyen la amigabilidad con el ambiente, asequibilidad, facilidad de operación y mantenimiento, y la calidad del efluente. A través de comparaciones por pares, utilizando la metodología de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la escala de Saaty, determinaremos cuáles de estos factores son más importantes para su comunidad.

Ejemplo de comparaciones por pares:

Amigabilidad con el ambiente (A) vs. Asequibilidad (B):

Si considera que la amigabilidad con el ambiente es ligeramente más importante que la asequibilidad, podrías asignar en las opciones "un poco más importante".

PREGUNTA 1.

La amigabilidad con el ambiente es _____ que la asequibilidad.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

PREGUNTA 2.

La amigabilidad con el ambiente es _____ que la facilidad de operación y mantenimiento.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

PREGUNTA 3.

La amigabilidad con el ambiente es _____ que la Calidad del efluente.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

PREGUNTA 4.

La asequibilidad es _____ que la facilidad de operación y mantenimiento.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

PREGUNTA 5.

La asequibilidad es _____ que la Calidad del efluente.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

PREGUNTA 6.

La facilidad de operación y mantenimiento es _____ que la Calidad del efluente.

- A. Más importante
- B. Igual de importante
- C. Menos importante

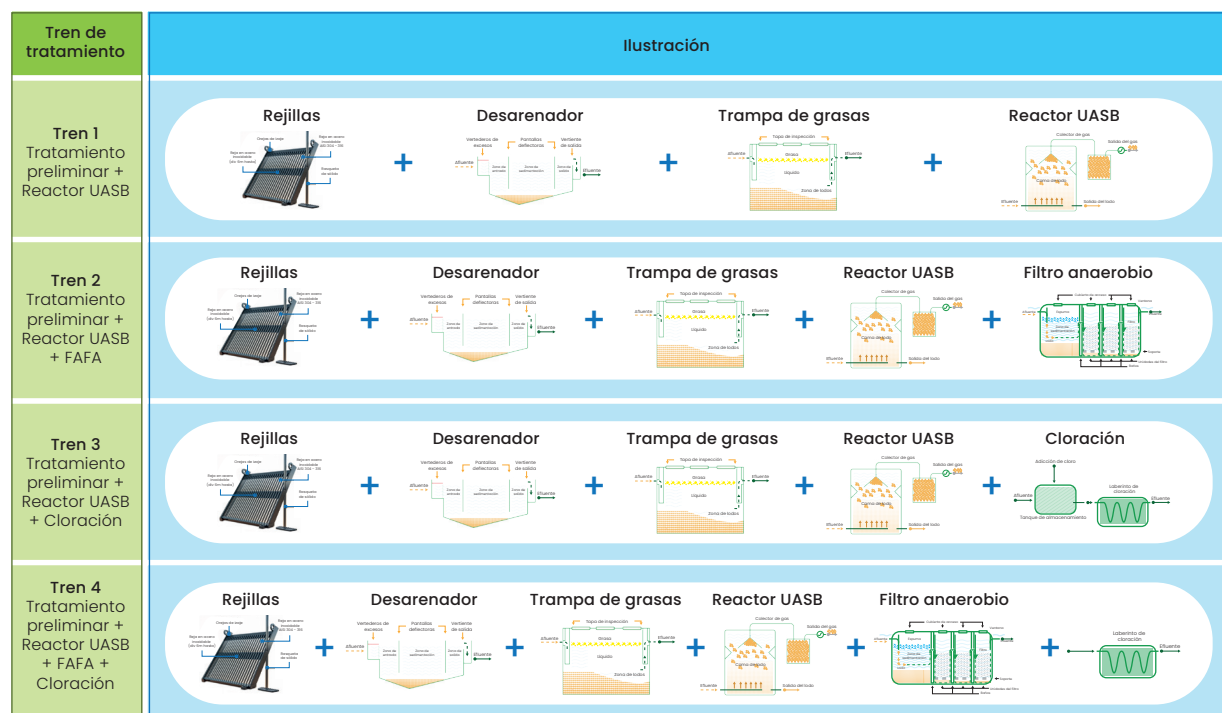
Formato G-2. Ejemplo de hoja de cálculo para el procesamiento de datos

El procesamiento de los datos obtenidos durante el Foro Participativo se realiza con ayuda de un archivo de Excel que puede descargarse de la siguiente dirección: <https://noesis.uis.edu-co/handle/20.500.14071/46833>.

Formato G-3. Ejemplo de tarjeta de selección del tren de tratamiento

TARJETA DE SELECCIÓN NOMBRE: _____ **COMUNIDAD:** _____

Tren de tratamiento	Principales impactos ambientales	Amigabilidad con el ambiente	Costos asociados	Asequibilidad	Complejidad operativa	Facilidad de operación y mantenimiento	Remoción de contaminantes	Calidad del efluente
Tren 1 Tratamiento preliminar + Reactor UASB	Ruido: Bajo Olores: Medio Impacto visual: Bajo		Inversión inicial: \$1,096'182,900 Operación y mantenimiento: \$7,700		Personal con conocimiento técnico		Sólidos suspendidos: Alta Materia orgánica: Media Microorganismos patógenos: Baja	
Tren 2 Tratamiento preliminar + Reactor UASB + FAFA	Ruido: Bajo Olores: Alto Impacto visual: Bajo		Inversión inicial: \$2,561'221,800 Operación y mantenimiento: \$8,100		Personal con conocimiento técnico		Sólidos suspendidos: Alta Materia orgánica: Alta Microorganismos patógenos: Baja	
Tren 3 Tratamiento preliminar + Reactor UASB + Cloración	Ruido: Medio Olores: Medio Impacto visual: Bajo		Inversión inicial: \$1,281'226,500 Operación y mantenimiento: \$9,100		Personal con conocimiento técnico Manipulación de insumos químicos		Sólidos suspendidos: Alta Materia orgánica: Media Microorganismos patógenos: Baja	
Tren 4 Tratamiento preliminar + Reactor UASB + FAFA + Cloración	Ruido: Medio Olores: Alto Impacto visual: Bajo		Inversión inicial: \$2,634'829,700 Operación y mantenimiento: \$10,400		Personal con conocimiento técnico Manipulación de insumos químicos		Sólidos suspendidos: Alta Materia orgánica: Alta Microorganismos patógenos: Alta	



Anexo H. Protocolo del Taller de Divulgación de Decisiones

TÍTULO DEL PROTOCOLO

Taller de ensayo para la divulgación comunitaria de decisiones.

INTRODUCCIÓN

El proceso participativo de selección de un sistema tecnológico de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) finaliza con la divulgación comunitaria de los resultados. Este taller busca consolidar capacidades y crear las condiciones para que el grupo motor involucrado socialice los conocimientos aprendidos durante el proceso y el resultado de la selección participativa. Con este taller se espera i) concertar con el grupo motor la organización de una reunión comunitaria para la socialización del proceso participativo de selección de la tecnología de tratamiento de aguas residuales domésticas y ii) preparar al grupo motor para llevar a cabo la reunión de socialización con su

respectiva comunidad.

DESTINATARIOS

Grupo motor del asentamiento objeto de estudio.

DURACIÓN

120 minutos.

OBJETIVOS

- Acordar con el grupo motor la organización de una reunión comunitaria para socializar los resultados del proceso de selección participativa.
- Preparar al grupo motor para llevar a cabo la reunión de socialización en su comunidad.

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Figura H-1 presenta la secuencia del taller de formación expuesto en este protocolo:





Figura H-1. Flujograma del proceso del taller de formación.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación	Coordinación del taller (2 semanas antes)	<p>i. Organice los aspectos clave para la realización del taller:</p> <ol style="list-style-type: none"> Adapte la metodología y los instrumentos o materiales, en consideración de las condiciones específicas del asentamiento. Lugar, fecha y hora de la reunión: confirme la reserva del espacio y verifique que todas las personas podrán acceder, sin restricción. Socialice con el grupo motor el lugar, fecha y hora de la reunión. Valide la participación de los integrantes del grupo motor. De ser necesario, solicite la autorización de ingreso de los participantes de la reunión al espacio acordado. Envíe al grupo motor material infográfico para socializar los resultados (como el que ejemplifica el formato H-1) y un guion de apoyo similar al presentado en el formato H-2. Asignación de tareas para el taller: solicite a los/las participantes que revisen los resultados obtenidos hasta el momento y se auto-organicen para la socialización con la comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Directorio de integrantes del grupo motor • Datos completos de los participantes del taller • Formato H-1: Infografías de apoyo • Formato H-2: Guion de socialización comunitaria

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Preparación	Organización logística (2 semanas antes)	<p>ii. Realice la solicitud administrativa de los recursos necesarios para la realización del taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Transporte y alimentación. b. Elementos de papelería. c. Impresión de los materiales requeridos. d. Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto estimado para la realización del taller • Registro fotográfico
Momento 1	Preparación del espacio (15 minutos)	<p>iii. Disponga de los materiales y espacio para la realización del taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Organice el espacio para la realización del taller: <ul style="list-style-type: none"> 1. Disponga de las sillas y mesas en círculo o en forma de "U" para facilitar el diálogo y la realización de las actividades. b. Prepare y conecte los equipos requeridos para la proyección: computador, proyector, cable HDMI, cargador, extensión o papelógrafo. c. Ordene los materiales requeridos: registro de asistencia, actividades, recursos didácticos u otro, de acuerdo con las actividades propuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesas y sillas de trabajo • Proyector • Tablero acrílico • Marcadores • Formato de asistencia • Materiales de las actividades
	Bienvenida (25 minutos)	<p>iv. Reciba a los participantes de la reunión:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Guíe a los participantes al lugar de la reunión. b. Registre su asistencia e invítelos a tomar asiento. c. Lleve un registro fotográfico del taller. <p>v. Cuando todos los participantes hayan llegado:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Agradezca su participación en las actividades. b. Recuerde brevemente el propósito del taller. c. Presente la agenda y objetivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de asistencia • Material para técnica de dinamización grupal
Momento 2	Establecimiento de acuerdos (15 minutos)	<p>v. Empiece la reunión con el establecimiento de acuerdos para la divulgación comunitaria de decisiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Recuerde a los participantes que se les ha entregado previamente el Guión de socialización comunitaria (Formato H-2). El mismo consiste en una guía con recursos gráficos y textuales para que los miembros del grupo motor se apoyen con el fin de llevar a cabo la socialización. b. Resalte la importancia de compartir esta información con los demás miembros de la comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato H-1: Infografías de apoyo • Formato H-2: Guión de socialización comunitaria

Fase	Acción (Duración)	Procedimiento	Recursos
Momento 2		<ul style="list-style-type: none"> c. Discuta con los participantes el lugar, hora y duración del encuentro. Tenga en cuenta las condiciones propias del asentamiento y de las personas que viven en él. d. Al programar la socialización, tenga en cuenta que el lugar y la hora debe permitir la participación de la mayor cantidad de gente posible. 	
Momento 3	<p>Desarrollo del ensayo</p> <p>(40 minutos)</p>	<p>vii. Para ensayar la socialización comunitaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Recuerde al grupo los momentos del proceso de selección utilizando diapositivas impresas. b. Pregunte a los participantes qué tema les gustaría exponer y distribuyan roles y temáticas. c. Invite a los participantes a leer detenidamente la parte que le corresponda de manera individual y resuelva dudas de cada participante. d. Realicen la lectura colectiva del guion (Formato H-2) revisando en cada momento el material gráfico que encuentra en el Formato H-1 Infografías de apoyo. Proponga a los participantes que lean en voz alta su parte correspondiente. e. De unos minutos a cada persona para que prepare un ensayo de la socialización. f. Invite al grupo motor a realizar un ensayo de la exposición de los resultados del proceso de selección participativa. g. Pregunte a los participantes si han presentado dificultad para explicar alguno de las carteleras. Resuelva las dudas y plantee formas de presentación de la información. h. Ofrezca retroalimentación, indicando respetuosamente los puntos fuertes de la exposición y los aspectos por mejorar. i. Si se considera necesario, haga un último ensayo que cierre el ejercicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato H-1 Infografías de apoyo • Guion de socialización comunitaria. (Formato H-2)
Momento 4	<p>Conclusiones y cierre</p> <p>(25 min)</p>	<p>viii. Resuma los temas, logros y acuerdos derivados de la reunión:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Solicite a los participantes que diligencien el formato de evaluación del taller. b. Invite a los participantes que deseen expresar su valoración del taller oralmente que lo hagan. c. Luego invite a los participantes que deseen expresar su valoración del proceso oralmente que lo hagan. d. Recuerde los compromisos concertados de cara a la socialización comunitaria. e. Después de escuchar algunos comentarios, agradezca la asistencia y cierre el espacio, recordando el lugar, día y hora para el próximo encuentro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del taller por parte de los participantes

Formato H-1. Ejemplos de infografías de apoyo

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE AGUAS REDISUALES EN ASENTAMIENTOS PERIURBANOS CON ENFOQUE DE SOSTENIBILIDAD Y ECONOMÍA CIRCULAR, EN LA CUENCA DEL RÍO LEBRIJA

ES UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CON EL OBJETIVO DE:

Construir **estrategias** para el manejo de las **aguas residuales** en asentamientos no planificados del Área metropolitana de Bucaramanga.



2023

Realizamos un diagnóstico sobre el impacto que generaban las aguas residuales no tratadas de los asentamientos sobre el río Suratá

2024

Implementamos una estrategia participativa de selección de un sistema tecnológico apropiado para el tratamiento de aguas residuales en **Miradores de la UIS, El Porvenir, Los Cuadros y Los Santos bajo**.

¿QUÉ SON LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS?

1

¿Qué actividades producen agua residual doméstica?

son aquellas que se han contaminado debido a las actividades que realizamos en nuestras casas



COCINA

Preparación de alimentos

LIMPIEZA

Limpieza del hogar y lavado de ropa



ASEO

Aseo personal

BAÑO

Descarga del inodoro



2

¿Cuáles son los componentes de las aguas residuales domésticas?

SÓLIDOS

Partículas grandes o pequeñas que pueden disolverse, flotar o sedimentarse en el agua.



Sedimentables



Suspendidos y flotantes



Disueltos

ACEITES Y GRASAS



Productos de cocina e higiene personal. Forman una capa que impide la entrada de oxígeno afectando a los animales del río.

MATERIA ORGÁNICA

Todo lo que se puede descomponer: restos de comida, hojas, grasas o excretas, entre otros.



MICROORGANISMOS PATÓGENOS



Bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades en los seres vivos.

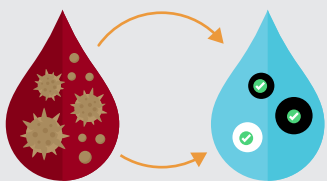
NUTRIENTES

Elementos que aportan al crecimiento de los organismos vivos pero en exceso son dañinos para la vida acuática.



3

¿Por qué es importante tratar el agua residual doméstica?



El tratamiento del agua residual elimina contaminantes que pueden causar daños en el ambiente y la salud humana.

El tratamiento ayuda a limpiar el agua, eliminando o reduciendo contaminantes, lo que protege los aljibes, ríos y quebradas, previene enfermedades y asegura que el agua pueda ser reutilizada o devuelta al entorno de manera segura.

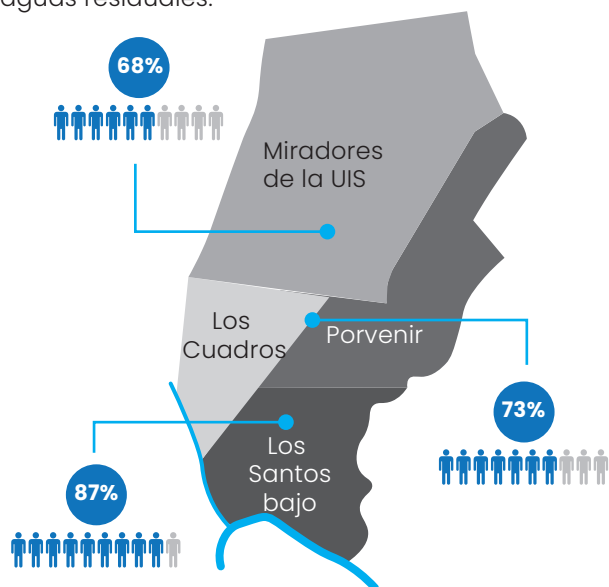
¿QUÉ PIENSAN NUESTRAS COMUNIDADES SOBRE EL PROBLEMA DE LAS AGUAS RESIDUALES?

Más del 70% de los habitantes consideramos que en nuestras comunidades hay problemas con el manejo de aguas residuales.

74% vs 26%



A medida que las comunidades están más cerca del río aumenta la cantidad de personas que reconocen la existencia de problemas con las aguas residuales.



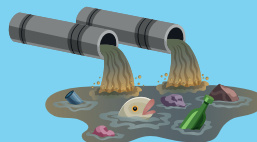
Los principales problemas son:



Infraestructura de alcantarillado insuficiente



Residuos sólidos taponan cañerías



Malos olores



Problemas de salud pública

La mayoría de las personas consideramos que es importante realizar tratamiento de aguas residuales.

95%

¿QUÉ SON LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES?

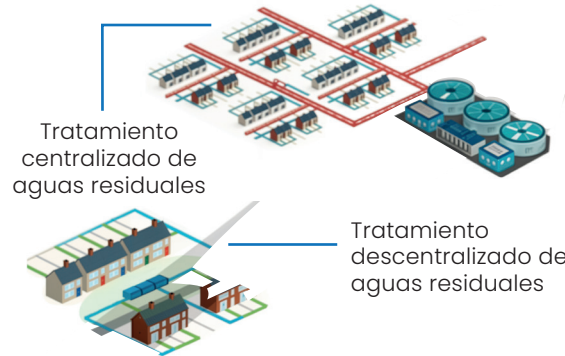
El tratamiento de aguas residuales domésticas incluye una **serie de procesos** que ayudan a **reducir la contaminación del agua usada** en nuestras casas.

Elimina: residuos sólidos, restos de comida, jabones, grasas, microorganismos y nutrientes.



El **95% de las personas** de nuestras comunidades acepta la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en el territorio.

Los sistemas de tratamiento pueden ser centralizados o descentralizados



¿Qué es un tren de tratamiento?

Es la combinación de diferentes procesos que se realizan de manera secuencial. Un tren de tratamiento de aguas residuales suele tener varios niveles o etapas:

Nivel :	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
¿Cuáles tecnologías están asociadas?	Rejilla, trampa de grasas y desarenador	Sistemas de flotación o el reactor ascendente de manto de lodo (UASB)	Filtro anaerobio	Cloración
¿Qué remueve?	Sólidos grandes, grasas, aceites y arenas	Sólidos suspendidos y materia orgánica sedimentable	Sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta	Patógenos y nutrientes
¿Cuál es el destino final del agua residual tratada hasta este nivel?	Vertimiento	Vertimiento	Vertimiento	Reúso

¿CÓMO FUE EL PROCESO DE SELECCIÓN DE UN TREN DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DE AGUAS RESIDUALES?

01

Listado de trenes tecnológicos de tratamiento descentralizado

Se identificaron trenes tecnológicos para el tratamiento descentralizado de las aguas residuales con potencial de aplicación en contextos similares.



02

Análisis técnico y económico de las tecnologías

Estudio de cada alternativa y los requerimientos y costos de operación y mantenimiento de las tecnologías.



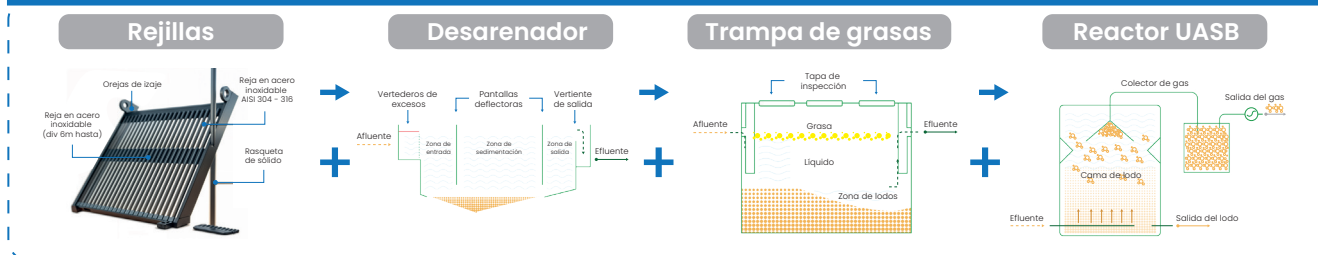
03

Selección participativa con el grupo motor

Participamos en tres talleres sobre tratamiento de aguas residuales, donde adquirimos nuevos conocimientos y tomamos una decisión conjunta.



¿Qué tren tecnológico se seleccionó?



 Potenciales impactos en el entorno	 Asequibilidad	 Facilidad de operación y mantenimiento	 Calidad del agua tratada
<ul style="list-style-type: none"> • Ruido Bajo • Olores Medio <p>Impacto visual Bajo</p>	<p>Inversión Inicial \$1,100'000,000</p> <p>Operación y mantenimiento (mensual) \$7,700</p>	<p>Personal con conocimiento técnico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos Bajo • Materia orgánica Media • Microorganismos patógenos Alta

Permite vertimiento



Formato H-2. Ejemplo de guión de apoyo para la divulgación de decisiones

[NOMBRE DEL PROYECTO]

GUIÓN PARA LA SOCIALIZACIÓN COMUNITARIA DE LOS RESULTADOS DEL PROCESO DE SELECCIÓN PARTICIPATIVA DEL SISTEMA TECNOLÓGICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #E91E63; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">1</div> <p>Momento 1</p> <p>Presentación del equipo y de los objetivos generales del proyecto.</p> <p>Responsable: Equipo Técnico del proyecto.</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #FFC107; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">2</div> <p>Momento 2</p> <p>Presentación de conceptos básicos sobre las aguas residuales.</p> <p>Responsable:</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #4CAF50; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">3</div> <p>Momento 3</p> <p>Problemática de las aguas residuales y percepción que tiene la comunidad sobre el problema.</p> <p>Responsable:</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #009688; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">4</div> <p>Momento 4</p> <p>Presentación de conceptos básicos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Responsable:</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #2196F3; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">5</div> <p>Momento 5</p> <p>Presentación del proceso de selección - Herramienta.</p> <p>Responsable:</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #9C27B0; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">6</div> <p>Momento 6</p> <p>Presentación del tren seleccionado.</p> <p>Responsable:</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>	<div style="border: 1px solid #0070C0; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; background-color: #FF9800; color: white; font-weight: bold; font-size: 24px; margin-bottom: 5px;">7</div> <p>Momento 7</p> <p>Conclusiones y acuerdos</p> <p>Responsable: Equipo Técnico del proyecto.</p> <p>Duración: 5 minutos.</p>
--	--	--	--	---	--	---

[NOMBRE DEL PROYECTO]

MOMENTO 1.

Saludo, presentación del equipo y de los objetivos generales del proyecto (5 minutos)

Responsable: Equipo de técnicos del proyecto

Materiales:

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE AGUAS REDISUALES EN ASENTAMIENTOS PERIURBANOS CON ENFOQUE DE SOSTENIBILIDAD Y ECONOMÍA CIRCULAR, EN LA CUENCA DEL RÍO LEBRIJA

ES UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CON EL OBJETIVO DE:

Construir **estrategias** para el manejo de las **aguas reiduales** en asentamientos no planificados del Área metropolitana de Bucaramanga.



2023

Realizamos un diagnóstico sobre el impacto que generaban las aguas residuales no tratadas de los asentamientos sobre el río Suratá.

2024

Implementamos una estrategia participativa de selección de un sistema tecnológico apropiado para el tratamiento de aguas residuales en **Miradores de la UIS, El Porvenir, Los Cuadros y Los Santos bajo.**

[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

- a. Salude a las personas participantes, agradézcales su presencia en el espacio y recuerde el proyecto brevemente y presente su equipo de trabajo. Puede hacerlo, con palabras como estas:

*Buenos días/tardes comunidad de [Nombre del asentamiento]. Soy

-----, del proyecto [Nombre del proyecto].*

Muchas gracias por recibirnos hoy y regalarnos unos minutos de su tiempo. Nos acompaña el equipo del proyecto [presentar a cada miembro presente con su profesión y rol en el equipo]. Este proyecto es un ejercicio que tiene como objetivo construir estrategias para el manejo de las aguas residuales de barrios que han crecido de manera no planificada por las instituciones sino por medio de procesos comunitarios.

Como parte del proyecto, el año pasado realizamos un diagnóstico para conocer las comunidades y sus necesidades más apremiantes. Este año, el objetivo fue implementar una estrategia de selección de un sistema tecnológico de tratamiento de aguas residuales domésticas a través de la unión entre el conocimiento técnico y una estrategia participativa. Esto incluyó la formación del grupo motor en conceptos básicos de aguas residuales y una encuesta que realizamos en las comunidades para consultar la capacidad de pago de servicios públicos.

Hoy estamos aquí para contarles los avances del proyecto en este año en voz de los miembros del grupo motor que se formaron para realizar este proceso de selección y les van a contar los resultados de este trabajo.

- b. Pida al grupo motor que inicie su presentación.

[NOMBRE DEL PROYECTO]

MOMENTO 2

Presentación de conceptos básicos sobre las aguas residuales (5 minutos)

Responsable:

Materiales: **¿QUÉ SON LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS?**

1

¿Qué actividades producen agua residual doméstica?

son aquellas que se han contaminado debido a las actividades que realizamos en nuestras casas



COCINA
Preparación de alimentos



LIMPIEZA
Limpieza del hogar y lavado de ropa



ASEO
Aseo personal



BAÑO
Descarga del inodoro

2

¿Cuáles son los componentes de las aguas residuales domésticas?

SÓLIDOS

Partículas grandes o pequeñas que pueden disolverse, flotar o sedimentarse en el agua.



Sedimentables



Suspensos y flotantes



Disueltos

ACEITES Y GRASAS



Productos de cocina e higiene personal. Forman una capa que impide la entrada de oxígeno afectando a los animales del río.

MATERIA ORGÁNICA

Todo lo que se puede descomponer: restos de comida, hojas, grasas o excretas, entre otros.



MICROORGANISMOS PATÓGENOS



Bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades en los seres vivos.

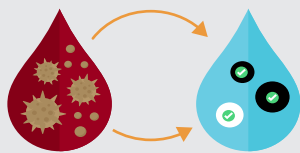
NUTRIENTES

Elementos que aportan al crecimiento de los organismos vivos pero en exceso son dañinos para la vida acuática.



3

¿Por qué es importante tratar el agua residual doméstica?



El tratamiento del agua residual elimina contaminantes que pueden causar daños en el ambiente y la salud humana.

El tratamiento ayuda a limpiar el agua, eliminando o reduciendo contaminantes, lo que protege los aljibes, ríos y quebradas, previene enfermedades y asegura que el agua pueda ser reutilizada o devuelta al entorno de manera segura.

[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

a. ¿Qué son las aguas residuales domésticas?

Para entender todo el contexto del proyecto, y lo que vamos a hablar ahora, es importante saber qué son las aguas residuales.

- *Las aguas residuales son aquellas que han sido contaminadas como resultado de las actividades que los seres humanos realizamos en nuestras casas.*
- *Esto quiere decir que son las aguas que resultan de lo que hacemos en lugares como la cocina, el lavadero y los baños, y que sacamos de nuestras casas por las tuberías después de usarlas.*
- *Existen las aguas grises, que son las que salen de la regadera donde nos bañamos, el sifón de la cocina o del patio. Y existen las aguas negras, que provienen principalmente del inodoro y están contaminadas con excretas.*

b. ¿Cuáles son los principales componentes de las aguas residuales domésticas?

Las aguas residuales están compuestas por muchas cosas distintas. Los principales componentes de las aguas residuales domésticas son:

- *Los sólidos: que son partículas que pueden ser grandes o muy pequeñas, del tamaño de un grano de arena. Pueden disolverse, flotar o sedimentarse.*
 - *Los sólidos disueltos no son visibles a simple vista; los sólidos sedimentados se acumulan en el fondo; y los suspendidos permanecen flotando en el agua.*
- *Los aceites y grasas: son las que vienen generalmente de la cocina, como el aceite, pero también encontramos los jabones y productos de higiene personal, como el jabón.*
 - *Estos flotan en la superficie formando una capa que impide la entrada de oxígeno, por lo que afecta a los peces y demás animales que viven en los ríos.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

- *La materia orgánica: que es todo lo que se puede descomponer los restos de comida, hojas, grasas, excretas.*
- *Nutrientes como el fósforo o el nitrógeno, que vienen de la materia orgánica en descomposición. Aunque son importantes para el crecimiento de los organismos vivos, en exceso son dañinos para la vida acuática.*
- *Microorganismos patógenos: son las bacterias, virus y parásitos que pueden causar enfermedades a los seres humanos y otros seres vivos. Proviene de los desechos humanos y animales.*

c. ¿Por qué es importante tratar las aguas residuales domésticas?

- *Como ustedes se pueden imaginar, es importante tratar las aguas residuales domésticas porque contienen contaminantes que pueden causar daños en el ambiente y la salud humana si son vertidas sin tratamiento.*
- *El tratamiento adecuado ayuda a limpiar el agua, eliminando o reduciendo estos contaminantes, lo que protege los aljibes, ríos y quebradas, previene enfermedades y asegura que el agua pueda ser reutilizada o devuelta al entorno de manera segura.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

MOMENTO 3

Problemática de las aguas residuales y percepción que tiene la comunidad sobre el problema (5 minutos)

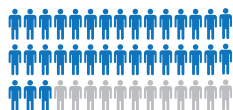
Responsable:

Materiales:

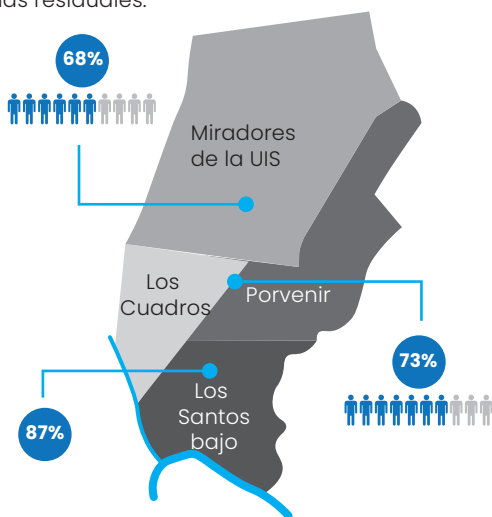
¿QUÉ PIENSAN NUESTRAS COMUNIDADES SOBRE EL PROBLEMA DE LAS AGUAS RESIDUALES?

Más del 70% de los habitantes consideramos que en nuestras comunidades hay problemas con el manejo de aguas residuales.

74% vs 26%



A medida que las comunidades están más cerca del río aumenta la cantidad de personas que reconocen la existencia de problemas con las aguas residuales.



Los principales problemas son:

- Infraestructura de alcantarillado insuficiente**
- Residuos sólidos taponan cañerías**
- Malos olores**
- Problemas de salud pública**

La mayoría de las personas consideramos que es importante realizar tratamiento de aguas residuales.

95%

[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

- Problemática del tratamiento de las aguas residuales en su comunidad
- *Actualmente entre Miradores de la UIS, el Porvenir y Los Cuadros, y Los Santos Bajo sumamos un total de 1.190 personas viviendo en esta ladera.*
- *Como sabemos, nuestras comunidades crecen rápidamente. La proyección que realizó este proyecto de la UIS es que en 2048 la población de los 3 barrios suma un total de 13,592 personas.*
- *Con más habitantes aumenta la cantidad de aguas residuales, y por supuesto, los problemas para nuestro alcantarillado artesanal, que ya se nos quedó obsoleto.*
- Indicadores de percepción del problema de las aguas residuales domésticas
- *[Señale la primera gráfica de la cartelera] Como vemos en la gráfica, más de la mitad de las personas que vivimos aquí no somos indiferentes al problema.*
- *En las encuestas hechas en mayo por el equipo de la UIS salió que el 74% de las personas respondimos "Sí" cuando nos preguntaron si aquí había problemas con el manejo de las aguas residuales.*
- *Si se dan cuenta, a medida que uno baja desde Miradores a Los Santos Bajo, pasando por El Porvenir y Los Cuadros, la gente es más consciente del problema porque el agua corre hacia abajo, los de abajo viven los problemas que causan el mal manejo de las aguas residuales con más fuerza.*
- *Por eso, mientras en Miradores de la UIS el 68% de las personas encuestadas son las que perciben que sí hay problemas con el manejo de las aguas residuales, en El Porvenir y Los Cuadros suman el 73%, y en Los Santos Bajo, a orillas del río Suratá, suman 87%.*
- *Esto quiere decir que muchas personas somos conscientes de que existen muchos problemas con el manejo de las aguas residuales en nuestras comunidades.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

¿Cuáles son los principales problemas con el manejo de las aguas residuales en nuestras comunidades?

- *Conocemos muy bien cómo el problema de las aguas residuales afecta nuestra vida, el bienestar de toda la comunidad y la calidad del agua de los ríos.*
 - *Primero, la infraestructura del alcantarillado artesanal que tiene nuestra comunidad es insuficiente porque no cubre nuestras necesidades hoy en día, lo que genera constantes fracturas en la tubería.*
 - *Segundo, existe la práctica de botar todo al agua lo que genera taponamientos, fugas y desbordamiento de las aguas residuales que generan otros problemas.*
 - *Tercero, los malos olores en la comunidad y en las casas que afecta el bienestar y la salud.*
 - *Cuarto, también genera un problema para la salud pública, especialmente para los niños y adultos mayores que son más propensos a las enfermedades. Esto debido a los zancudos y a la contaminación del agua.*
- *Por todos estos problemas es que la gran mayoría de quienes vivimos aquí consideramos que es importante realizar tratamiento de aguas residuales.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

MOMENTO 4

Presentación de Conceptos básicos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (10 minutos)

Responsable:

Materiales:

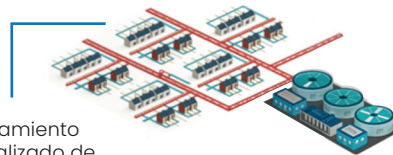
¿QUÉ SON LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES?

El tratamiento de aguas residuales domésticas incluye una **serie de procesos** que ayudan a **reducir la contaminación del agua usada** en nuestras casas.

Elimina: residuos sólidos, restos de comida, jabones, grasas, microorganismos y nutrientes.



Los sistemas de tratamiento pueden ser centralizados o descentralizados



Tratamiento centralizado de aguas residuales



Tratamiento descentralizado de aguas residuales

El **95% de las personas** de nuestras comunidades acepta la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en el territorio.

95%



[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

a. ¿Qué es el tratamiento de aguas residuales?

- *El tratamiento de aguas residuales domésticas es una serie de procesos que ayudan a reducir la contaminación del agua usada en nuestras casas, como la que proviene de baños, cocinas y lavadoras.*
- *Este tratamiento ayuda a eliminar sustancias contaminantes, como restos de comida, jabón, y microorganismos, para que el agua pueda ser más segura para ser devuelta al ambiente o para ser reutilizada.*
- *Es un paso esencial para proteger ríos, lagos y la salud pública.*









¿Cómo se hace el tratamiento?

- *El tratamiento de aguas residuales puede realizarse de manera centralizada o descentralizada.*
 - *Centralizado significa que las aguas servidas se recolectan por grandes redes de alcantarillado y son transportadas a una gran planta de tratamiento antes de ser devuelta al ambiente o reutilizada.*
 - *Descentralizado significa la construcción de pequeñas plantas o sistemas locales, cerca de donde se genera el agua residual, como en comunidades rurales o áreas específicas.*
- *Ambos métodos buscan limpiar el agua, pero el centralizado maneja grandes volúmenes en un solo lugar, mientras que el descentralizado trata el agua en varios lugares más pequeños.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

¿Qué es un tren de tratamiento?

Es la combinación de diferentes procesos que se realizan de manera secuencial. Un tren de tratamiento de aguas residuales suele tener varios niveles o etapas:

Nivel :	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
¿Cuáles tecnologías están asociadas?	Rejilla, trampa de grasas y desarenador	Sistemas de flotación o el reactor ascendente de lodo (UASB)	Filtro anaerobio	Cloración
¿Qué remueve?	Sólidos grandes, grasas, aceites y arenas 	Sólidos suspendidos y materia orgánica sedimentable 	Sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta 	Patógenos y nutrientes 
¿Cuál es el destino final del agua residual tratada hasta este nivel?	Vertimiento 	Vertimiento 	Vertimiento 	Reúso 

¿Qué es un tren de tratamiento? ¿cuáles son sus etapas o niveles?

- El tratamiento de aguas residuales suele hacerse a través de la combinación de diferentes procesos que se realizan de manera secuencial, dando lugar a lo que se conoce como tren de tratamiento.
- Un tren de tratamiento de aguas residuales suele tener varios niveles para reducir la contaminación en diferentes etapas:
 - Primero, el tratamiento Preliminar. Su objetivo principal es eliminar los materiales más grandes y pesados que podrían dañar el equipo o interferir con las siguientes etapas del tratamiento.

[NOMBRE DEL PROYECTO]

- Segundo, el tratamiento Primario: Aquí se eliminan las partículas grandes y los sólidos visibles del agua, como restos de comida y arena.
- Tercero, el tratamiento Secundario: donde se eliminan los contaminantes más pequeños y la materia orgánica disuelta que no se limpió en el tratamiento primario. Se utilizan microorganismos, como bacterias, que descomponen estas contaminantes. Después de esta etapa, aunque el agua no esté muy limpia, se puede hacer el vertimiento del agua a los ríos sin afectarlos.

Cuarto, el tratamiento Terciario: Es una etapa adicional para eliminar los últimos rastros de contaminantes, como nutrientes o microorganismos patógenos. Este nivel permite que el agua sea devuelta a ecosistemas acuáticos o reutilizada para usos agrícolas o industriales.

Por estos beneficios para nuestra salud y la de nuestro territorio, cuando en la encuesta les contaron a nuestros vecinos para qué sirve una planta de tratamiento de agua, la gran mayoría (el 95%) respondió que aceptaba la construcción de una planta de este tipo en el territorio.

[NOMBRE DEL PROYECTO]

MOMENTO 5.

Presentación de proceso de selección (5 minutos)

Responsable:

Materiales:

¿CÓMO FUE EL PROCESO DE SELECCIÓN DE UN TREN DE TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DE AGUAS RESIDUALES?



[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

a. ¿Cómo se hizo la selección del tren tecnológico?

- *Para ayudar a crear soluciones a estos problemas relacionados con el agua residual en nuestras comunidades y otras similares a la nuestra, la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb) propusieron un proceso colaborativo entre técnicos y los habitantes de la comunidad para seleccionar trenes de tratamiento descentralizados que sean lo más coherentes con las condiciones, capacidades y necesidades de las distintas comunidades.*

- *El proceso planteado se dividió en 3 etapas:*
 - *Primero, se construyó un listado de trenes tecnológicos de tratamiento descentralizado. Esto fue como una lista donde se identificaron alternativas para el tratamiento descentralizado aplicada en otros contextos y se estudiaron sus características.*

 - *Segundo, se realizó un análisis técnico y económico de las tecnologías enlistadas en la etapa anterior, teniendo en cuenta las capacidades económicas de la población. Se tuvieron en cuenta aspectos como el área requerida por cada alternativa y los requerimientos y costos de operación y mantenimiento de las tecnologías.*

 - *Tercero, se realizó una selección participativa con el grupo motor. Para lograr esto, primero fuimos capacitados en 3 talleres donde aprendimos todo esto que les contamos del tratamiento de aguas residuales. Luego llegamos a tomar colectivamente una decisión. Para eso, le pusimos puntajes a cada uno de los trenes, hicimos votaciones y debatimos entre los participantes sobre cuál de los trenes es más adecuado para nuestro contexto.*

• *A continuación, les vamos a contar cuál fue el resultado.*

[NOMBRE DEL PROYECTO]

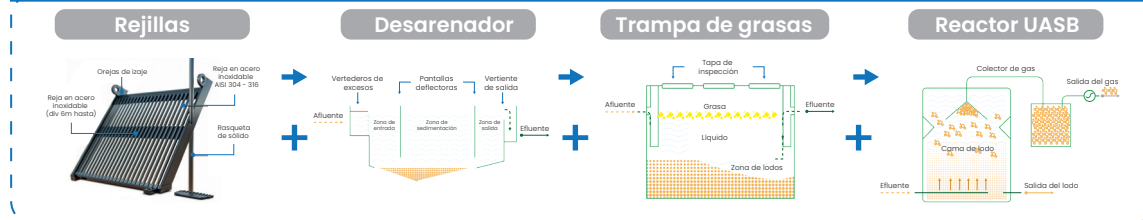
MOMENTO 6.

Presentación del tren seleccionado (5 minutos)

Responsable:

Materiales:

¿Qué tren tecnológico se seleccionó?



 Potenciales impactos en el entorno	 Asequibilidad	 Facilidad de operación y mantenimiento	 Calidad del agua tratada
<ul style="list-style-type: none"> • Ruido Bajo • Olores Medio • Impacto visual Bajo 	<p>Inversión Inicial \$1,100'000,000</p> <p>Operación y mantenimiento (mensual) \$7,700</p>	<p>Personal con conocimiento técnico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos Bajo • Materia orgánica Media • Microorganismos patógenos Alta

Permite vertimiento



[NOMBRE DEL PROYECTO]

Guion:

a. Presentación del tren tecnológico seleccionado y los criterios que se tuvieron en cuenta para su elección.

- *El proceso de selección determinó que esta opción es la más adecuada para la comunidad. Para ello, tuvimos en cuenta tanto su efectividad como su compatibilidad con las capacidades de nuestra comunidad.*
- *El sistema elegido incluye como vemos: rejillas, un desarenador, una trampa de grasas, un reactor UASB y cloración.*
- *Estos componentes trabajan en conjunto para asegurar un tratamiento eficiente del agua residual.*
- *Este sistema se destaca por su bajo impacto visual y un riesgo medio de generar olores y ruidos, lo que lo hace amigable con el entorno de nuestra comunidad.*
- *Se estima que los costos de inversión inicial ascienden a aproximadamente 1,100 millones de pesos. Esto es lo que le costaría a una institución construirlo. No es algo que deba pagar la comunidad.*
- *Los gastos mensuales de operación y mantenimiento por vivienda suman \$7.700 pesos, lo cual lo posiciona como una opción que podría ser económicamente viable a largo plazo.*
- *En cuanto a la operación, aunque se requiere personal técnico capacitado, el sistema no involucra el manejo de productos químicos, lo que reduce riesgos y simplifica las tareas de mantenimiento.*
- *Este tren de tratamiento asegura una remoción efectiva de contaminantes, garantizando que el agua que sale tratada cumpla con los estándares de calidad para verterse a los ecosistemas acuáticos sin afectarlos.*
- *¿Alguna pregunta del público?*

b. Presente la fase siguiente del proyecto.

Muchas gracias por su tiempo, le damos la palabra al equipo del proyecto para presentar las siguientes actividades que se realizarán en el marco del proyecto.