

GUIA DE SELECCION DE TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR METODOS NATURALES

Bernal, D. P.,* Cardona, D. A., Galvis, A.*** y Peña, M. R.******

Instituto Cinara, Universidad del Valle. A. A 25157, Cali, Colombia.

*e-mail: *diamcaze@hotmail.com, **dpaola22@hotmail.com, ***algalvis@univalle.edu.co,*

***** miguelpe@univalle.edu.co*

RESUMEN

Las diferentes características sociales, topográficas, tecnológicas, demográficas, económicas y climatológicas, entre otras, que presentan las pequeñas y medianas poblaciones en Colombia y América Latina representan un reto a la hora de seleccionar tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, creando la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas. Como una contribución para dar solución a esta situación, se desarrolló una investigación sobre selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales con énfasis en los aspectos tecnológicos. En este estudio se propone una guía de selección de tecnología que considera lagunas de estabilización, sistemas de tratamiento en terreno y sistemas de tratamiento con plantas macrófitas que incluyen humedales artificiales y lagunas con plantas acuáticas flotantes como alternativas de tratamiento natural. La guía involucra aspectos tales como: infraestructura de acueducto y alcantarillado, área requerida por la tecnología, características del agua residual y nivel de tratamiento, estándares de vertimiento, condiciones climáticas, características del terreno, disponibilidad de recursos para construcción, operación y mantenimiento, reuso, costos y capacidad y disponibilidad de pago. Aunque el estudio ha sido realizado en Colombia los resultados obtenidos pueden ser de gran utilidad para otros países de la región, particularmente de la Región Andina, donde los sistemas de tratamiento que utilizan métodos naturales tienen gran potencial de aplicación en pequeñas y medianas localidades.

PALABRAS CLAVES

Métodos naturales, Pequeñas comunidades, Selección de tecnología, Tratamiento de aguas residuales domésticas.

INTRODUCCION

El crecimiento poblacional y los avances tecnológicos han traído consigo grandes ventajas pero a su vez han dado origen al problema de contaminación generada por las aguas residuales domésticas o industriales que son vertidas a las fuentes de agua de manera inapropiada y sin ningún tipo de tratamiento generando impactos negativos sobre la salud pública y el medio ambiente.

En Colombia al igual que en otros países de la región, los cuerpos hídricos son receptores de todo tipo de vertimientos de aguas residuales los cuales disminuyen su calidad, ponen en riesgo la salud de los habitantes, disminuyen la productividad y aumentan los costos de tratamiento del recurso hídrico. Por otro lado, la cobertura en tratamiento de las aguas residuales es baja, Brasil, depura el 38% de los efluentes colectados, Venezuela el 28% y Argentina el 10% (Global Water Partnership, 2000), Colombia solo trata el 8% de las aguas residuales generadas en los municipios (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Aunque se han desarrollado numerosas alternativas de tratamiento de aguas residuales para dar solución a este tipo de problema, la falta de información sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales tradicionales, la mala adaptación al medio y la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo conducen a la implementación de sistemas inoperantes y al abandono de los existentes.

Para Von Sperling (1995) en los países en desarrollo como Colombia y otros países de la región, los costos de construcción, la sostenibilidad, la facilidad de O&M y los costos operativos, son factores críticos en los procesos de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales .

La búsqueda de soluciones sostenibles debe ser el resultado de la integración de aspectos tecnológicos, sociales y ambientales propios de cada población. En esta búsqueda se debe hacer, en la medida de lo posible, uso de la capacidad de depuración del medio natural y del potencial de reuso del agua residual.

Esta capacidad de depuración natural se presenta en los sistemas de tratamiento del agua residual por métodos naturales, donde la interacción entre sus componentes naturales: agua, suelo, plantas, microorganismos y atmósfera, es utilizada para alcanzar los objetivos de tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995; Reed *et al.*, 1995; WEF & ASCE, 1998).

Los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, el aprovechamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar.

La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende entonces de los objetivos finales de tratamiento y de las posibilidades de reuso. La disponibilidad de terreno, las características del sitio, la topografía y las condiciones ambientales son criterios claves de selección de estos sistemas (Helmer y Hespanhol, 1987; URL – 1; WEF, 1990).

En este estudio se identifican los principales factores, variables e indicadores de selección de tecnología para los sistemas de tratamiento naturales, haciendo énfasis en los aspectos tecnológicos; también se propone una guía de selección como una herramienta útil en el proceso de toma de decisiones, aplicables a las condiciones locales de las pequeñas y medianas poblaciones en Colombia y otros países de la región, en particular de la Región Andina. Es necesario resaltar que no existe tecnología buena o mala, los procesos de selección e implementación son los que definen la sostenibilidad de las opciones tecnológicas en un contexto determinado (Restrepo, 2000).

La guía de selección de tecnología forma parte de un sistema experto que facilita el proceso de toma de decisiones, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. El presente artículo hace parte del trabajo desarrollado por el Instituto Cinara de la Universidad del Valle en el campo de selección de tecnología en abastecimiento de agua y saneamiento.

METODOLOGIA

Revisión del estado del arte. El estudio inició con la revisión del estado del arte de las tecnologías, la recopilación de experiencias relacionadas con los métodos naturales y el análisis de las metodologías de selección de tecnología desarrolladas en el campo del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

La base para el desarrollo de la guía de selección ha sido fundamentada en las investigaciones y metodologías desarrolladas por los diferentes autores que han trabajado en el campo de la selección de tecnología. A su vez se han tenido en cuenta las experiencias reales sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento por métodos naturales en Colombia y otros países. Entre algunos de los autores consultados se pueden mencionar Reid (1982), Horan y Parr (1994), Helmer y Hespanhol (1997), WEF (1990), UNEP (URL-1), Loetscher (1997), Almeida de Souza (1997), Reed (1995), Mara (1998) e Instituto Cinara.

Identificación de factores variables e indicadores. A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron los principales factores que influyen en el proceso de selección de tecnología, relacionando los conceptos de los diferentes autores, identificando similitudes y diferencias entre ellos y teniendo en cuenta su aplicabilidad en el contexto colombiano.

Paralelamente, se estudió y analizó de cada tecnología de tratamiento por métodos naturales sus características particulares, principios de funcionamiento, ventajas y desventajas y aplicabilidad en pequeñas y medianas poblaciones. Luego, se confrontaron cada una de las tecnologías estudiadas frente a los principales factores identificados en las metodologías de selección. Con base en esta comparación se definieron los rangos máximos y mínimos de los indicadores, teniendo en cuenta las mayores coincidencias conceptuales y la amplia experiencia de los autores consultados.

Construcción de la guía de selección. Teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para la implementación de los sistemas de tratamiento naturales, se integraron los factores variables e indicadores en una guía preliminar de selección de tecnología por métodos naturales dirigida a pequeñas y medianas poblaciones. Para este proceso se consideraron las tecnologías que alcanzan los estándares de vertimiento del Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud de Colombia (remoción de DBO >80% y sólidos suspendidos totales >80%). Sin embargo, es importante indicar que la gran mayoría de los sistemas de tratamiento naturales alcanzan remociones superiores, permitiendo incluso cumplir con los estándares de reuso de la OMS (riego no restringido: coliformes fecales ≤ 1000 /100ml, huevos de helmintos $\leq 1/100$ ml; riego restringido: huevos de helmintos $\leq 1/100$ ml).

RESULTADOS Y DISCUSION

Como resultado de la investigación realizada, en la Tabla 1 se muestran los factores y variables que se tienen en cuenta en la elaboración de la guía de selección de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales domésticas por métodos naturales con énfasis en aspectos tecnológicos que se desarrolla en este artículo.

Teniendo en cuenta el estudio realizado sobre cada una de las alternativas de tratamiento por métodos naturales, en la Tabla 2 se realiza una comparación de las tecnologías de tratamiento natural respecto a algunas de las variables identificadas en la Tabla 1.

Las características propias de cada tecnología en cuanto a eficiencia, modo de operación y mantenimiento, recursos requeridos e impacto ambiental determinan su aplicabilidad y adaptación a las necesidades de la localidad.

En la Tabla 2 los valores alto, medio y bajo dependen de: el orden de magnitud en que se presenta la variable con relación a la tecnología, así por ejemplo para una remoción de DBO: alto > 90%, medio 70% – 90% y bajo <70%; o están definidas de acuerdo con las características de funcionamiento, como por ejemplo alta o baja generación de olores o alta o baja dependencia de las características del suelo.

Tabla 1. Factores y variables considerados en el proceso de selección de tecnología para tratamiento de aguas residuales por métodos naturales

Factor	Variable	Factor	Variable
Factores Demográficos y Socioculturales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamaño de población ▪ Nivel educativo ▪ Cobertura y cantidad de agua potable ▪ Existencia y tipo de alcantarillado 	Objetivos de Tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Expectativas de calidad del efluente ▪ Nivel de tratamiento ▪ Descarga del efluente ▪ Estándares de reuso en agricultura ▪ Estándares de calidad del efluente
Características del Agua Residual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Origen del agua residual ▪ Composición del agua residual ▪ Caudal de agua residual 	Disponibilidad de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recursos locales ▪ Requerimientos y disponibilidad de insumos químicos ▪ Requerimientos de energía ▪ Disponibilidad de mano de obra local (diseño, construcción, O&M) ▪ Necesidad de equipos mecánicos ▪ Disponibilidad local de materiales para la construcción
Factores Climáticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Precipitaciones ▪ Vientos 	Aspectos Tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacto ambiental del sistema de tratamiento ▪ Disponibilidad de terreno ▪ Generación de subproductos con potencial de aprovechamiento ▪ Eficiencia de la tecnología ▪ Facilidad de O&M ▪ Datos de calidad mínima deseada para el efluente tratado
Características del Terreno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Topografía ▪ Permeabilidad del suelo ▪ Nivel freático 		
Capacidad y Disponibilidad a Pagar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de pago ▪ Tarifa ▪ Disponibilidad a Pagar 		
Costos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de inversión ▪ Costos de O&M ▪ Costo del terreno ▪ Recuperación de recursos 		

Tabla 2. Matriz de análisis cualitativo de las características de los sistemas de tratamiento natural

Variable	Tecnología										
	IL	IR	FS	LA	LF	LM	HFL	HFS	PAJ	PAD	
Remoción de DBO	A	A	A	B	M	B	A	A	A	A	
Remoción de sólidos	A	A	A	M	B	B	M	M	A	A	
Remoción de nitrógeno	A	M	M		M	M	M	M	A	A	
Remoción de fósforo	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	
Remoción de coliformes fecales	A	A	B	B	B	A	B	B	A	A	
Calidad de efluente para reuso en agricultura				B	A	A	M	M	A	A	
Simplicidad de O&M	M	A	M	A	A	A	A	M	M	M	
Capacitación de personal para O&M	M	A	M	A	A	A	A	M	M	M	
Generación de lodos	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	
Producción de olores	B	B	B	A	A	B	A	A	A	A	
Proliferación de vectores	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	
Contaminación de las aguas subterráneas	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	
Cambios en las propiedades del suelo	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	
Generación de productos con potencial económico	A	B	B	A	B	B	B	B	B	A	
Requerimiento de energía y equipos	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Requerimiento de área	A	M	A	B	M	B	B	B	M	M	
Requerimiento de vegetación tolerante al agua	A	B	A	B	B	B	A	A	A	A	
Dependencia de las características del suelo	A	A	A	B	B	B	B	A	B	B	

Notas: Valoración con el rango A - ALTA M - MEDIA B - BAJA
 Los espacios en blanco significan que la variable no aplica a la tecnología.
 IR - Infiltración rápida IL - Infiltración lenta FS - Flujo superficial LM - Laguna de Maduración
 LF - Laguna Facultativa HFL - Humedal de flujo libre HFS - Humedal de flujo Subsuperficial
 PAJ - Plantas acuáticas - jacintos PAD - Plantas acuáticas - duckweed

Guía de selección

El esquema general de la guía de selección se desarrolla en un diagrama de bloques constituido por 10 fases secuenciales. La selección que se realiza en cada fase, está sustentada en tablas de decisión que contienen soluciones sostenibles en función del parámetro que se esté evaluando. (Ver Figura 1).

La primera fase de la guía de selección verifica si la comunidad cuenta con la infraestructura necesaria de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, con el fin de determinar la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales por métodos naturales.

Para los sistemas de tratamiento naturales, la disponibilidad de terreno se convierte en una de las principales variables de decisión, ya que limitan la implementación de estos sistemas, que por lo general tienen grandes requerimientos de área. En la Fase 2 de la guía de selección se evalúa la disponibilidad del terreno en función del área requerida por cada tecnología. El área requerida depende además del volumen de agua residual generado, de otros factores como son la temperatura en los sistemas de tratamiento acuáticos y las características del terreno en los sistemas de tratamiento basados en el suelo.

Para la estimación de los rangos de área requerida por la tecnología, fue necesario tomar en cuenta las metodologías desarrolladas para este fin, las experiencias reales y los valores sugeridos en la literatura. En la tabla 3 se muestra un ejemplo de selección de sistemas de tratamiento natural en función de la disponibilidad de terreno, para una población < 10000 habitantes.

Tabla 3. Selección de Tecnología en función de la disponibilidad de terreno

Área disponible (Ha)	Tecnologías sostenibles
0.01 – 0.5	IR, LA+IR
0.5 – 1.5	IR, LF, LM, PAD, LA+IR, LF+LM, LA+LF, LA+LF+LM, LA+PAD, LA +LF+HFS
1.5 – 4	IR, FS, LF, PAJ, PAD, LA+IR, LF+LM, LA+LF, LA+LF+LM, LA+PAJ, LA+PAD, LA+LF+PAD, LA +LF+HFS, LA+FS
4 - 8	IR, IL, FS, PAJ, LA+IR, LA+PAJ, LA+IL, LF+IL, LA+FS
>8	IL, FS, LA+IL, LF+IL, LA+FS

IR - Infiltración rápida IL – Infiltración lenta FS - Flujo superficial LM - Laguna de Maduración
LF - Laguna Facultativa PAJ - Plantas acuáticas - jacintos PAD - Plantas acuáticas - duckweed

En la Fase 3 se toma en consideración el nivel de tratamiento a alcanzar por las tecnologías, para esto es necesario tener claro el objetivo de tratamiento. Las tecnologías de tratamiento naturales ya sean solas o en combinación con otras tecnologías naturales pueden llegar al nivel de tratamiento terciario o avanzado que es donde ocurre la remoción de nutrientes.

En la siguiente fase de la guía de selección, Fase 4, se introduce información relacionada con el tipo de cuerpo receptor (agua o suelo), su localización y proximidad a la planta de tratamiento, ya que estos podrían afectar los costos de implementación. Adicionalmente deben ser tenidos en cuenta los criterios o normas de vertimiento vigentes para descarga a cuerpos receptores. Es de particular importancia resaltar que la guía de selección puede ser adaptada para ser utilizada en otros países de la región con la normatividad local.

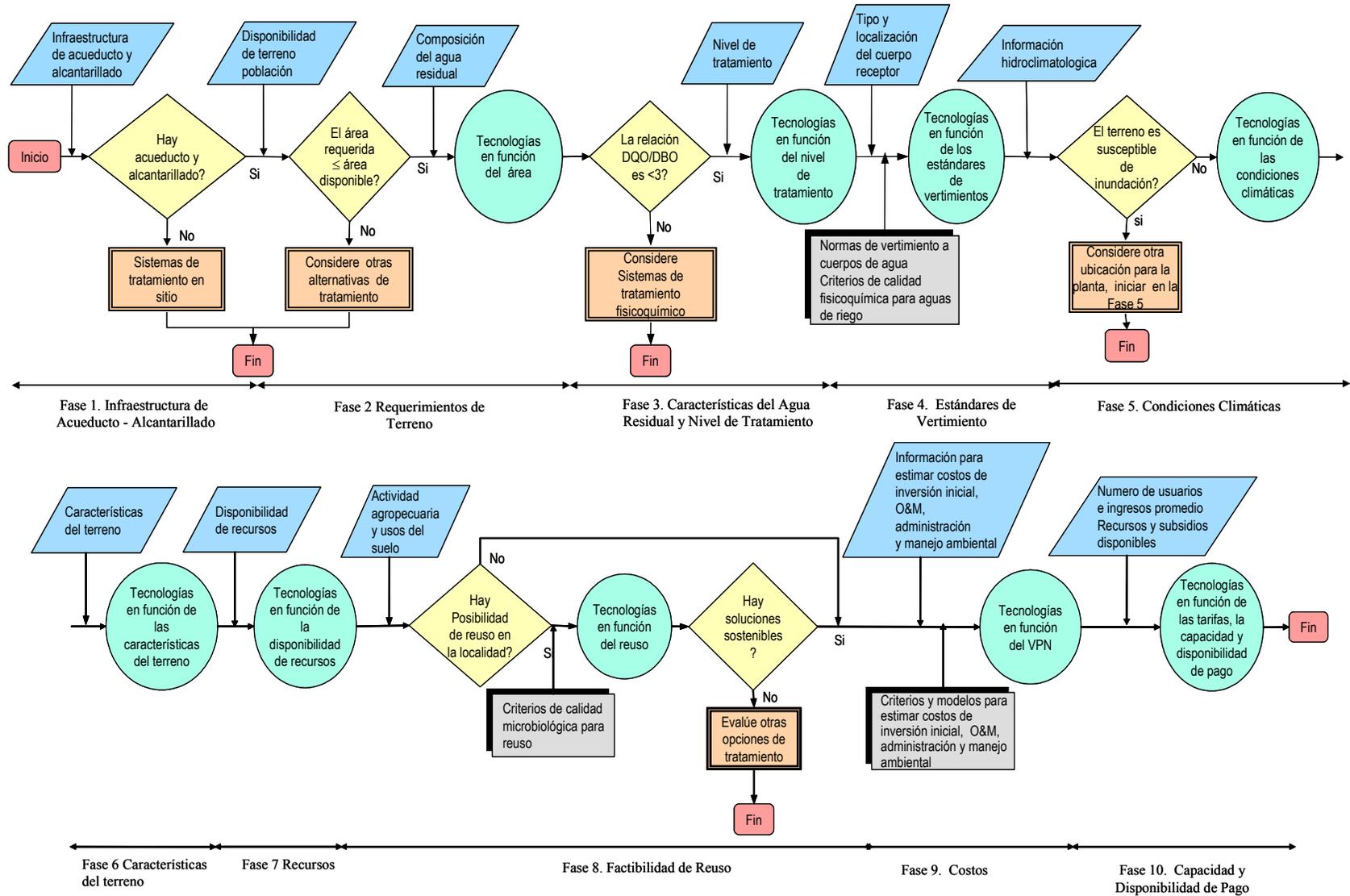


Figura 1. Esquema general de la guía de selección para el tratamiento de las aguas residuales por métodos naturales

Dado que los sistemas de tratamiento naturales dependen de las condiciones climáticas para alcanzar altas eficiencias en el tratamiento, en la Fase 5 de la guía de selección se consideran parámetros tales como: temperatura, información hidroclimatológica de la localidad, susceptibilidad de inundación del sitio donde se va a implementar la planta y dirección del viento.

Según el rango de temperatura de la localidad es posible seleccionar una tecnología en función de este parámetro. Hay tecnologías tales como los sistemas de plantas macrófitas con duckweed que pueden funcionar bien a bajas temperaturas (ver Tabla 4). Note como a temperaturas $>10^{\circ}$ C las posibilidades de implementación de los sistemas de tratamiento naturales se incrementan, sobre todo si se tiene en cuenta que en los países de la Región Andina hay variabilidad de climas. Sin embargo, la información sobre el funcionamiento de las tecnologías frente a los parámetros hidroclimatológicos, corresponden en su mayoría (especialmente para los sistemas de tratamiento en terreno) a países donde se presentan variaciones estacionales, lo que dificulta la estandarización de los datos en el ámbito regional.

Tabla 4. Selección de Tecnología en función de la disponibilidad de la temperatura

Rango de Temperatura °C	Tecnologías sostenibles
0 - 10	LF; IL, IR, FS, PAD, HFL, HFS
10 - 20	LA, LM, LF, IL, IR, FS, PAD, PAJ, HFL, HFS
>20	LA, LM, LF, IL, IR, FS, PAD, PAJ, HFL, HFS

IR - Infiltración rápida IL – Infiltración lenta FS - Flujo superficial LM - Laguna de Maduración
 LF - Laguna Facultativa PAJ - Plantas acuáticas - jacintos PAD - Plantas acuáticas - duckweed

Las características del terreno tales como permeabilidad, pendiente, tipo de suelo y profundidad del nivel freático se evalúan en la Fase 6, ya que son fundamentales para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas para cada uno de estos parámetros. En la Tabla 5 se pueden encontrar soluciones sostenibles en función de las características del terreno destinado para la planta de tratamiento.

Tabla 5. Tecnologías sostenibles en función de las características del terreno

Variable	Indicador	Tecnologías Sostenibles
Permeabilidad (mm/h)	< 5 (Baja permeabilidad)	FS, LA, LF, LM, HFL, HFS, PAD, PAJ
	Suelos arcillosos e impermeables	
	5 – 50 (Media permeabilidad)	IL
Tipo de Suelo	Arcillosos a margosos y margosos arenosos	IR
	50 (Alta permeabilidad)	
Pendiente (%)	Suelos arenosos	
	< 5	LA, LF, LM, PAD, PAJ, FS, HFL, HFS
	5 – 10	FS,, IR
Profundidad del Nivel Freático (m)	20	IL
	< 2	IL, FS, HFL, .HFS, PAD, PAJ
	2 – 5	LA, LF, LM, IR, HFL, .HFS, PAD, PAJ
	> 5	LA, IR, HFL, HFS, PAD, PAJ

IR - Infiltración rápida IL – Infiltración lenta FS - Flujo superficial LM - Laguna de Maduración
 LF - Laguna Facultativa LA – Laguna anaerobia HFL - Humedal de flujo libre HFS - Humedal de flujo subsuperficial
 PAJ - Plantas acuáticas - jacintos PAD - Plantas acuáticas - duckweed

La Fase 7 considera la disponibilidad de recursos en la localidad para la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas. La complejidad de una tecnología de tratamiento depende de la disponibilidad de recursos y de la mano de obra calificada para operar y mantener el sistema. En

este aspecto las tecnologías de tratamiento natural requieren de pocos insumos para su implementación. En cuanto a los requerimientos de personal, debe existir cierto nivel de capacitación que permita operar y mantener de manera correcta el sistema y además que puedan afrontar situaciones extraordinarias que afecten el funcionamiento normal de la planta.

La oportunidad de reutilización es evaluada en la Fase 8 de la guía teniendo en cuenta la actividad económica predominante en la localidad y la aceptabilidad del reuso en la agricultura. En la guía se presenta esta opción no solamente para disminuir la carga contaminante en los cuerpos de agua receptores, sino también como una forma de aprovechamiento de los subproductos generados a través del tratamiento.

Finalmente cuando se han obtenido soluciones sostenibles en cuanto a los aspectos tecnológicos considerados en la guía de selección, se analizan los costos de implementación, operación, mantenimiento, y administración y la capacidad y disponibilidad de pago en las Fases 9 y 10, para finalmente encontrar una o más soluciones sostenibles y aceptadas por la comunidad.

La política de agua potable y saneamiento básico en Colombia contempla la recuperación de los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento a través del cobro de las tarifas. La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales permite un tratamiento eficiente al agua residual, con bajos costos de inversión (cuando el costo del terreno es favorable), operación, administración y mantenimiento. Además, permiten la recuperación económica de las inversiones por el aprovechamiento de los subproductos generados en el tratamiento.

CONCLUSIONES

Se identificaron 9 factores básicos que influyen en el proceso de selección de tecnología para sistemas de tratamiento naturales son: demográficos y socioculturales, características del agua residual, climáticos, características del terreno, objetivos de tratamiento, aspectos tecnológicos, disponibilidad de recursos, costos, capacidad y disponibilidad a pagar.

Los tres criterios claves en la selección de tecnología de sistemas de tratamiento naturales son la disponibilidad de terreno, las características del terreno y las condiciones climáticas, estos marcan la diferencia entre las alternativas de tratamiento.

La disponibilidad de área es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamiento naturales ya que determina la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento.

La guía de selección para sistemas de tratamiento naturales con enfoque tecnológico es una contribución en el proceso de construcción de un sistema experto para la selección de tecnología en el control de la contaminación por aguas residuales domésticas. Esta se desarrolló en 10 fases como fueron: infraestructura de acueducto y alcantarillado, área requerida por la tecnología, características del agua residual y nivel de tratamiento, estándares de vertimiento, condiciones climáticas, características del terreno, disponibilidad de recursos para construcción, operación y mantenimiento, factibilidad de reuso, costos y capacidad y disponibilidad de pago.

REFERENCIAS

- Almeida de Souza, M. (1997). Hoja de Divulgación Técnica CEPIS HDT 68: Metodología de Análisis de Decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales. Universidad de Brasilia. Departamento de Ingeniería Civil. Brazil.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP. (2000). Agua para el Siglo XXI: De la visión a la acción. América del Sur.

- Helmer, R. and Hespanhol, I. (1997). Water pollution control. WHO. UNEP. First Edition. Great Britain.
- Horan, N. Parr, J. (1994). Process Selection for Sustainable Wastewater Management in Industrializing Countries. Research Monograph N° 2. Department of Civil Engineering. University of Leeds, England.
- Loetscher, T. (1997). Appropriate Sanitation in developing countries: the Computer- Based decision support system SANEX. Sydney. Australia.
- Metcalf & Eddy. (1995) Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición. McGraw Hill. España.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2002). Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. Guía. Santa Fé de Bogotá. Colombia
- Reed, S., Crites, R., y Middlebrooks, E. (1995). Natural Systems for Waste Management and Treatment. Segunda Edición. Mc Graw Hill. United States of America.
- Reid, G. (1982) Appropriate methods of treating water and wastewater in developing countries. Ann Arbor Science, USA.
- Restrepo, I. (2000). Saneamiento para pequeñas localidades. *Conferencia Internacional Agua y Saneamiento en Poblaciones Pequeñas y Medianas en el Marco de la Visión Mundial*. CINARA. Santiago de Cali.
- Von Sperling, M (1995). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. *International symposium on technology transfer*. Salvador, Bahia. Brazil.
- WEF (1990) (Water Environment Federation). Natural Systems for wastewater treatment. Manual of practice. USA.
- WEF & ASCE, (1998) (Water Environment Federation & American Society of Civil Engineers), Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Manuals and reports on engineering. Practice No. 76. Fourth Edition. USA. Tomo II.
- URL – 1 <http://www.gpa.unep.org/pollute/sewage/chapter3.htm>. Chapter 3: Technical Options. Visitado Marzo de 2002.