



**Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería
Hidráulica**



Trabajo Referativo

TEMA:

**Selección de tecnologías
sostenibles para el
tratamiento de aguas
residuales en pequeñas
comunidades**

**AUTOR: Andys Castellanos
Castillo**

**TUTOR: MSc. Ing. Fernando
Álvarez Vega**

Ciudad Santiago de Cuba

Año 63 de la Revolución

Diciembre 2021

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas aquellas personas que a lo largo de estos cinco años han estado a mi lado. En especial a mi madre, Virgen Verdecia, la cual nunca ha dudado de mí y siempre está conmigo a todo momento, a mi padre Alexis Castellanos que me ha dado lo que a tenido y lo que no también, a mi hermano Alejandro, mis amigos, fundamentalmente Francisco y Lázaro, por ser mi apoyo en tiempos difíciles y, por último, no menos importante, a Dios, gracias por su bendición.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional, a todos los profesores del Departamento de Ingeniería Hidráulica y en especial a mi tutor MSc. Ing. Fernando Álvarez Vega por su entrega y dedicación para que hoy podamos alcanzar este gran objetivo. A mis compañeros de grupo por estos cinco años de convivencia.

A todos Gracias

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, investigar los procedimientos, criterios y métodos que son utilizados para la selección de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades que permitan escoger alternativas apropiadas y sostenibles, coherentes con las características de la zona a servir; para ello se realizó una amplia revisión bibliográfica utilizando el método de análisis-síntesis de los materiales revisados. Se concluye que generalmente las tecnologías de tratamiento no convencionales o naturales son tecnologías sostenibles aplicables al tratamiento de las aguas residuales generadas en pequeños núcleos poblacionales, utilizándose para su selección métodos sencillos que recomiendan criterios fáciles de determinar en las localidades a servir.

ABSTRACT

The present work aims to investigate the procedures, criteria and methods that are used for the selection of wastewater treatment technologies in small communities that allow choosing appropriate and sustainable alternatives, consistent with the characteristics of the area to be served; For this, an extensive bibliographic review was carried out using the analysis-synthesis method of the reviewed materials. It is concluded that generally unconventional or natural treatment technologies are sustainable technologies applicable to the treatment of wastewater generated in small population centers, using simple methods for their selection that recommend criteria that are easy to determine in the localities to be served.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Diseño metodológico de la investigación	3
CAPÍTULO 1: Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades	4
1 El tratamiento de aguas residuales en el contexto del Desarrollo Local Sostenible	4
1.1 Características del enfoque del Desarrollo Local Sostenible	4
1.2 Situación del tratamiento de las aguas residuales en Cuba en aras del desarrollo local sostenible	6
1.3 Agua Residual	7
1.3.1 Principales características de las aguas residuales	8
1.4 Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales	8
1.4.1 Infiltración Rápida (IF)	9
1.4.2 Infiltración Lenta (IL)	12
1.4.3 Escorrentía Superficial (ES)	14
1.4.4 Humedales	15
1.4.4.1 Humedales de Flujo libre o superficial(HFL)	16
1.4.4.2 Humedales de Flujo subsuperficial(HSS)	17
1.4.5 Lagunas de Estabilización	19
1.5 Tratamiento de aguas residuales a través de fosas o tanques sépticos	21
1.6 Tratamiento de aguas residuales a través de tanque Imhoff	24
CAPÍTULO 2 Modelos y criterios de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales	27
2.1 Modelos y criterios de selección, bases fundamentales	27
2.1.1 Criterios de selección de los sistemas de tratamientos naturales	27

2.1.2 Criterio BATEA (Mejor Proceso Disponible y Factible Técnica y Económicamente) en la evaluación de sistemas de tratamiento	34
2.1.3 Modelo conceptual, SELTAR	37
2.1.4 Modelo Matemático	41
CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	47

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales constituyen la fracción líquida de los desechos generados por las comunidades y estas son básicamente las aguas de abastecimiento que han sido sometidas a diversos usos.

Las aguas residuales no tratadas pueden contener una gran cantidad de elementos contaminantes. Si se permite que estas se acumulen o se dispongan sin el tratamiento adecuado, se contaminan las fuentes de agua y el suelo, generándose un grave problema de contaminación ambiental y de salud pública.

De ahí la importancia que reviste la inmediata recolección de las aguas residuales desde sus fuentes de producción, seguidas por un tratamiento apropiado y adecuada disposición.

En Cuba a partir del triunfo del gobierno revolucionario comenzó a experimentarse un desarrollo sostenido en el mejoramiento sucesivo de las condiciones de vida de las poblaciones que carecían de servicios básicos de agua potable y saneamiento, siguiendo como premisa fundamental ampliar la infraestructura hidráulico – sanitaria y promover el uso eficiente del agua.

En la actualidad, y así ha quedado expresado en la Política Nacional del Agua, aprobada en diciembre de 2012; el desarrollo de los servicios de agua y saneamiento, el uso racional del agua y las necesidades de reuso, seguirán siendo una política de gobierno de alta prioridad, (INRH, 2012).

Aunque el trabajo realizado hasta el momento, ha permitido ampliar la cobertura de acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas al 98,5% de la población y los lugares que cuentan con redes de alcantarillado ascienden a 568, solamente el 26,8% de las aguas residuales que son recolectadas reciben tratamiento de depuración en 24 plantas de residuales y otros sistemas (ONEI, 2020).

Este déficit de plantas depuradoras de aguas residuales y la ineficiencia debido al mal estado técnico de otros sistemas, ha traído como consecuencia el incremento de la carga contaminante que se vierte.

Sin embargo, el tratamiento de los residuales líquidos que se generan en las ciudades y poblados de manera sostenible, resulta un problema de difícil solución, dado fundamentalmente por la escasez de recursos financieros para que aseguren la solución de este problema.

Cuba a pesar de fomentar una rigurosa política ambiental no escapa a esta problemática, pues, la falta de recursos financieros obstaculiza una mejor gestión de las aguas residuales mediante la construcción de sistemas de tratamiento convencionales. Por lo que es necesario investigar nuevas tecnologías de depuración, donde los costos de inversión y mantenimiento sean bajos, de tal manera que puedan ser asumidos por los municipios, que al ser pequeños cuentan con pocos recursos para dotar de infraestructura sanitaria a las comunidades.

Actualmente son numerosas las alternativas de tratamiento de aguas residuales que pueden ser consideradas como sostenibles y por tanto aplicables a pequeñas comunidades, sin embargo, el desconocimiento sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento, así como, su baja adaptación al medio, la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo han conducido a la implementación de sistemas inoperantes que no han funcionado como se esperaba lo que ha traído consigo su abandono.

Por ello se requiere de procedimientos de selección que consideren los factores necesarios, de tipo ambiental, económico, social y tecnológico, propios de cada población para la búsqueda de soluciones sostenibles y de esta manera lograr una mayor eficiencia, bajos costos de construcción, agilidad en la operación y mantenimiento, bajos costos energéticos y el aprovechamiento final de los efluentes de este tipo de tratamiento, que a su vez nos pueden dotar no solo de fuentes de agua, sino también una fuente de entrada de nutrientes con beneficios ambientales y económicos, lo que los convierta en una alternativa apropiada, que debe de ser considerada.

Diseño metodológico de la investigación

Problema de investigación

¿Cómo seleccionar tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, con criterios de sostenibilidad?

Objeto de la investigación

Tecnologías para el Tratamiento de aguas residuales.

Objetivo general

Investigar los procedimientos, criterios y métodos que son utilizados para la selección de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades que permitan escoger alternativas apropiadas y sostenibles, coherentes con las características de la zona a servir.

Campo de investigación

Métodos de selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades con criterios de sostenibilidad.

Objetivos específicos

1. Realizar una adecuada búsqueda de información sobre las tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales que son generadas en pequeñas comunidades.
2. Exponer los principales procedimientos que son utilizados para la selección de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, así como los criterios y condiciones de aplicabilidad.

Hipótesis

Si a partir de un proceso investigativo, se realiza una adecuada propuesta metodológica para la selección de la opción tecnología de tratamiento de las aguas residuales que son generadas en pequeñas comunidades, entonces se lograrán tecnologías apropiadas sostenibles que contribuirán a reducir la carga contaminante que se vierte.

Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades

1. El tratamiento de aguas residuales en el contexto del Desarrollo Local Sostenible

1.1 Características del enfoque del Desarrollo Local Sostenible.

Según (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012), el estudio del tratamiento del agua residual doméstica bajo los principios del enfoque teórico del Desarrollo Local Sostenible, permite conocer las características del caso de estudio con acercamiento mejor a la realidad, pues considera los diversos elementos sociales, culturales, tecnológicos, políticos- administrativos y económicos que le componen, además, comprende dos aspectos esenciales para un desarrollo equitativo, la visión territorial y la sostenibilidad.

Una vía adecuada para el manejo de los recursos naturales es desde el ámbito local, entendido este como el espacio territorial donde los actores locales son quienes se encuentran en contacto directo con los recursos, pues en la mayoría de las veces ellos mismos son los usuarios, y a su vez, pueden ser obstáculo o promotores de ejecutar los programas que desde el órgano central se establecen, en este sentido se adopta el concepto de Desarrollo Local Sostenible (DLS) que permite acercarnos a un caso de estudio.

El concepto de Desarrollo Local Sostenible tiene sus orígenes en dos vertientes teóricas, una del desarrollo regional, al preocuparse por la equidad y la territorialidad de los beneficios; y la otra, desde el concepto de desarrollo sustentable, el cual hace referencia al uso y manejo de los recursos naturales buscando el equilibrio natural. Con la articulación de dichas vertientes se pretende tener un referente del desarrollo más cercano a las necesidades de la realidad, de ahí que las propuestas se dirigen y cobijan en dicho enfoque.

Algunos autores han definido al DLS como, al proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, que lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social, la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo que se sustentan en el equilibrio ecológico y el soporte vital de la región. (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012).

Asimismo, define al Desarrollo Local Sostenible como el proceso endógeno de transformación de las localidades, fundamentadas en una estrategia de desarrollo local con políticas diseñadas para lograr una efectiva participación de su población en la solución de los problemas y aprovechamiento de las oportunidades, para abordar de forma equilibrada e integrada, los aspectos sociales, económicos y ambientales, en el contexto donde se realizan las actividades cotidianas.

En estas definiciones se destacan tres aspectos principales, primero el estudio del desarrollo es complejo porque interactúan diversas disciplinas: económico, social, cultural, físico-geográfico y político; segundo, a nivel local es donde la relación hombre-naturaleza se expresa de manera más directa con agentes definidos; y tercero, se busca el equilibrio en la relación naturaleza-sociedad. Por lo que, estudiar el desarrollo implica adoptar una concepción holística, es decir considerar las disciplinas que se involucran en la intervención hombre-naturaleza, y bajo una metodología sistemática.

El enfoque de sistemas propone una aproximación y representación de la realidad a través de la identificación de características desde las diversas disciplinas, para su análisis y comprensión de las partes constituyentes, lo cual es un paso importante, necesario, pero no suficiente para conocer el caso de estudio. En tal sentido, se requiere articular el conocimiento parcial de los componentes, a partir del modelo de totalidad establecido. De ahí que, señale que el desafío científico, social y cultural que plantea la complejidad de los sistemas vivos (físicos y sociales), obliga a abandonar los sistemas lineales por multidisciplinarios para tener una visión más completa de la realidad.

El tratamiento de aguas residuales es un problema que se presenta en la vida de varias localidades, en este caso se estudiará bajo el enfoque de Desarrollo Local Sostenible como se ha mencionado, al pretender que se consideren las características biofísicas, la participación de los agentes locales, su cultura y tradiciones, su situación económica en la formulación de una propuesta de tratamiento de aguas.

1.2 Situación del tratamiento de las aguas residuales en Cuba en aras del desarrollo local sostenible

La situación del tratamiento de las aguas residuales en Cuba en aras del desarrollo local sostenible es insuficiente debido a numerosas causas de diversas índoles de la esfera cotidiana.

Predominan las lagunas de estabilización para el tratamiento del agua residual de asentamientos poblacionales. Estas se clasifican como un método de tratamiento natural. La gran mayoría de las lagunas existentes para tratar aguas residuales urbanas en Cuba fueron construidas en la década del 70 y principios de la del 80; predominando las lagunas facultativas primarias independientes sobre las lagunas anaerobias y sistemas de lagunas en serie o en paralelo.

Los sistemas naturales, en particular, y muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, en general, no funcionan apropiadamente. Según Sánchez, 2010; hay tres razones principales para este fallo: falta de conocimiento técnico; fallo al considerar los factores locales relevantes en la etapa de pre diseño y normas de vertimiento inapropiadas. En Cuba, la no consideración en el diseño y en la norma de vertimiento vigente de la incertidumbre y variabilidad de los factores que caracterizan el agua residual, tanto afluente como efluente; además, de que la norma cubana de vertimiento (NC, 27-2012) surge mucho después de la construcción de la mayoría de las lagunas de estabilización existentes, son las causas del funcionamiento no apropiado de los sistemas naturales en explotación.

En el país las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes no dan abasto y un gran número de ellas están fuera de servicio; debido a veces al desconocimiento o inadecuada explotación y en muchos otros casos a un insuficiente mantenimiento

técnico operativo. Por lo que se hace necesario que se tomen medidas en relación a este tema de gran importancia; ya que eso constituiría un motor impulsor del Desarrollo Local Sostenible en Cuba.

1.3 Agua Residual

De acuerdo con Hidrotec 2016, se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso.

Las aguas residuales más comunes corresponden a:

Aguas residuales domésticas (aguas servidas)

Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Estas aguas tienen un contenido de sólidos significativamente bajos. Si bien su caudal y composición es variable, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos.

Aguas residuales industriales (residuos industriales líquidos)

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ellas es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, mineras).

Aguas de lluvias

La escorrentía generada por aguas de lluvia es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales, y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre.

1.3.1 Principales características de las aguas residuales

Estas características de las aguas residuales son parámetros importantes para el tipo de tratamiento, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental. Ellas se dividen en físicas (temperatura, turbidez, color, olor, sólidos totales); químicas que estarán dadas, principalmente, en función a los desechos que entran al agua servida (materia orgánica, materia inorgánica, gases) y biológicas definidas por la clase de microorganismos presentes en el agua, entre los cuales se tienen (bacterias, algas, etc.). Cabe resaltar que se deben de tener en cuenta dos parámetros de gran importancia, demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Hidrotec 2016.

1.4 Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales

En Cuba, la aplicación de las tecnologías naturales de tratamiento de aguas residuales urbanas prácticamente se reduce al caso de las lagunas de estabilización, siendo las lagunas facultativas primarias (LFPs) las de mayor representatividad. El empleo de otras tecnologías naturales de tratamiento está aún en un estado incipiente. Estas LFPs fueron diseñadas de forma tradicional, con el empleo de factores o márgenes de seguridad, lo que se refleja en el predominio de bajas cargas superficiales de DBO_5 y largos tiempos de retención hidráulicos y, contrariamente a lo supuesto, sin garantía de que los efluentes tengan la calidad deseada.

El tratamiento mediante lodos activados es el más empleado en países desarrollados y el más estudiado. Sin embargo, en países no desarrollados donde el conocimiento tecnológico, el financiamiento y los suministros son limitados, salvo contadas excepciones, se recurre a tecnologías naturales de más bajo costo, más fáciles de operar y de mantener por personal no altamente calificado y, además, no menos eficientes que otros tratamientos convencionales. Aún en países desarrollados estas alternativas naturales resultan competitivas para casos de efluentes no conectados al tratamiento convencional debido a limitaciones técnicas, económicas o ecológicas (Sánchez, 2010).

Los tratamientos por métodos naturales son aquellos, en los que la acción de la vegetación, el suelo y los microorganismos son los encargados de la depuración de

las aguas residuales. En los últimos años este tipo de tratamientos han recobrado gran interés debido a sus ventajas económicas, reducido consumo energético, baja producción de fangos, fácil operación y mantenimiento con respecto a los sistemas convencionales, y por tanto, se convierten en alternativas sostenibles para las pequeñas comunidades.

Según Sánchez, 2010, en los métodos naturales generalmente se diferencian dos grandes grupos: los métodos de aplicación sobre el terreno y los métodos acuáticos. Los métodos de aplicación en el terreno se caracterizan por la aplicación controlada de agua residual sobre la superficie de un terreno, para alcanzar un grado determinado de tratamiento a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Por otra parte, dentro de los métodos acuáticos se incluyen aquéllos cuya acción principal de depuración se ejerce en el seno del medio acuático, participando en el proceso plantas emergentes y los microorganismos.

Los principales tipos de sistemas de tratamiento naturales para aguas residuales incluyen:

Métodos de aplicación en el terreno: (en este tipo de tratamiento hay que conocer y analizar a fondo la topografía y la geología)

-) Infiltración rápida
-) Infiltración lenta
-) Escorrentía superficial

Métodos acuáticos:

-) Humedales de flujo superficial
-) Humedales de flujo subsuperficial
-) Lagunaje

1.4.1 Infiltración Rápida (IR)

La infiltración rápida es un método de inundación del suelo, apropiada para tratamiento de aguas residuales domésticas, limitada por las características del

suelo, los costos del terreno y los impactos sobre las aguas subterráneas, (SENACYT, 2010).

En los sistemas de infiltración rápida el agua aplicada se infiltra por la superficie y percola por los poros del suelo. Se realiza sobre suelos muy permeables de textura gruesa, por lo que las superficies necesarias son relativamente pequeñas con cargas hidráulicas elevadas. El tratamiento se realiza en el suelo sin la intervención de plantas. En la figura 1.1 se muestra un esquema de los sistemas de IR.

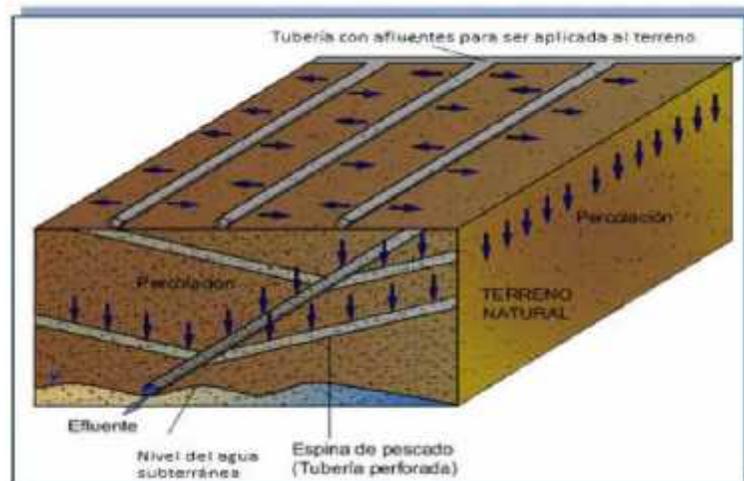


Figura 1.1 Esquema de trayectoria hidráulica de un sistema de IR

Fuente: Adaptado de SENACYT 2010).

Es un sistema de recarga y posible protección de los acuíferos, remoción de contaminantes, es fácil de operar y necesita menos área que otros métodos de aplicación sobre el suelo. Su principal limitación es el peligro de contaminación de las aguas subterráneas en caso de deficiente operación. Para evitarlo es necesario observar las siguientes características.

-) Pendiente del 3 al 10% para evitar remociones excesivas de terreno
-) Nivel freático a una profundidad mínima de 3m
-) Permeabilidad del suelo rápida
-) Área de terreno por habitante necesaria por la tecnología 2 a 20 m²/hab

Si estas no se cumplen en su mayoría no es aconsejable su utilización ya que pasaría de ser un método de depuración a un ente contaminante. Por lo tanto no

cumpliría con su principal objetivo de funcionamiento, que es el de remover la mayor porción de componentes contaminantes en función de las normas constituidas por las que fue construido.

Siempre se deben tener claras las ventajas y desventajas de cualquier sistemas de tratamiento antes decidir implementarlo. (Dueñas, Muriel, Giovanni, 2018)

Ventajas

- Rendimientos altos de depuración.
- Reutilización del agua depurada.
- Bajo costo de operación y mantenimiento de las instalaciones.
- No precisa el empleo de aditivos.
- Mantenimiento con personal poco especializado.
- Reducciones medias de DBO₅ y sólidos en suspensión alrededor del 90%.
- Elevada eliminación de patógenos.
- Eliminación del fósforo y reducción considerable de nitrógeno y metales pesados.
- No existen limitaciones climáticas.
- Segura desde un punto de vista ambiental siempre y cuando se cumplan con las restricciones propias del método.
- Las pendientes no es un factor crítico, sin embargo pendientes muy grandes obligan a gran movimiento de tierras.
- Reducida producción de fangos.
- Estabilidad frente a variación de temperatura.
- Opcional el tipo de distribución.
- Agua tratada apta para riego.
- Aceptación por parte de la sociedad del reciclaje completo del agua residual.

Desventajas

- Colmatación rápida del lecho filtrante.
- Mantenimiento periódico de la superficie de aplicación.
- No es un buen sistema para la eliminación de contaminantes procedente de la actividad industrial.
- Disposición de terreno suficiente, formado por materiales de permeabilidad alta.

- No son operativos cuando existen pendientes de más de 20%.

1.4.2 Infiltración Lenta (IL)

El proceso de infiltración lenta consiste en la aplicación de un caudal controlado del agua residual sobre la superficie del suelo con cubierta vegetal para lograr tanto el crecimiento de la vegetación existente y el grado necesario de tratamiento del agua contaminada. El agua residual se aplica mediante uso de aspersores, surcos y zanjas. Una vez aplicada el agua con previo tratamiento primario, está se infiltra por la superficie de terreno o percola vertical y horizontalmente, además puede consumirse por evapotranspiración. En las figuras 1.2 y 1.3 se muestran los esquemas de trayectoria y de aplicación de este proceso.

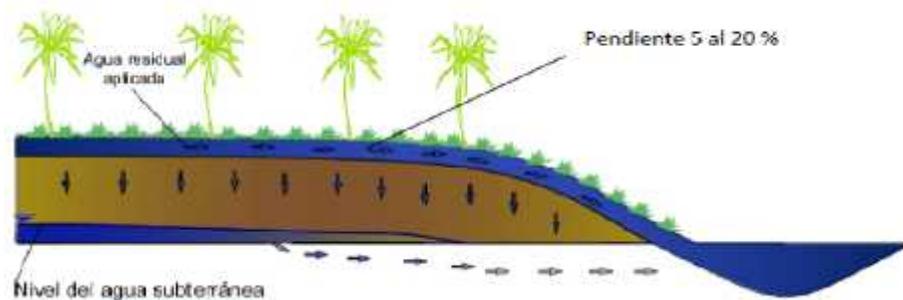


Figura 1.2 Esquema de trayectoria superficial y subterránea de un sistema de IL

Fuente: Adaptado de SENACYT, 2010).

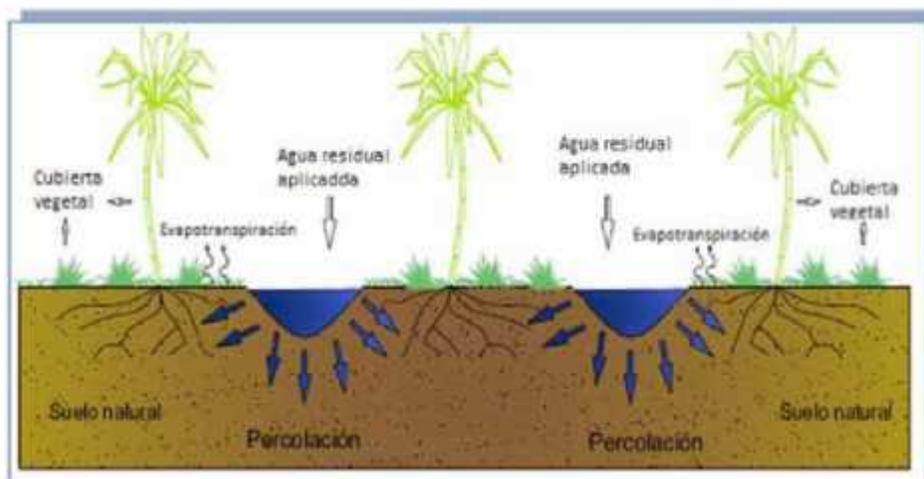


Figura 1.3 Esquema de trayectoria hidráulica de un sistema de IL

Fuente: Adaptado de SENACYT, 2010).

Los sistemas de IL se pueden clasificar como tipo I (infiltración lenta) o de tipo II (irrigación en cultivo), dependiendo de los objetivos del diseño. Cuando el objetivo principal es el tratamiento de aguas residuales se clasifica como tipo I, y se trata la mayor cantidad de agua residual en la menor área de terreno posible. Los sistemas tipo II se diseñan con la finalidad de reutilizar el agua para la producción agrícola, y consisten en aplicar un caudal suficiente de agua residual cumpliendo con los requerimientos de irrigación de un cultivo.

Para la instalación de estos sistemas es importante considerar:

-) Pendiente del 5 al 20%
-) Nivel freático de 1 a 1.5 m
-) Permeabilidad del suelo lenta o moderadamente rápida.
-) Área de terreno necesaria para la tecnología: 8- 20 m²/hab.

Las ventajas y desventajas de estos sistemas son:

Ventajas

- Se puede usar en terrenos irregulares, con pendiente de hasta 10%.
- Se aplica en terrenos donde el nivel freático se encuentre entre 1.0 y 1.5 m de profundidad.
- Se puede usar en suelos fácilmente erosionados y de moderada permeabilidad.
- Usualmente no es necesario el control aguas abajo.
- Reduce el impacto ambiental en los cauces naturales.
- No precisa personal especializado para el control de la depuradora.
- No produce fangos.

Desventajas

- Aumento considerable de la humedad en el terreno.
- Requieren de mucha atención del controlador para evitar atascamiento de agua en los surcos.
- Riesgo de contaminación del acuífero cuando el nivel freático sea alto.
- Puede producir molestias como mal olor, moscas y mosquitos.

- Se aplican en aguas residuales no industriales y sin contaminantes nocivos para los cultivos.

1.4.3 Escorrentía Superficial (ES)

La Escorrentía superficial se emplea en terrenos con pendiente de 3 al 8%, capa superficial de suelo poco permeable o con subsuelo impermeable y requiere cobertura vegetal para evitar la erosión. La escorrentía superficial es esencialmente un proceso biológico en el cual se aplica el agua residual sobre las zonas de un terreno donde fluye a través de la superficie vegetal, hasta unas zanjas de recolección. A medida que el agua fluye sobre el suelo, una porción se infiltra, otra se evapora y el resto fluye a los canales de recolección como se muestra en la figura 1.4. La renovación del agua se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos (SENACYT, 2010).

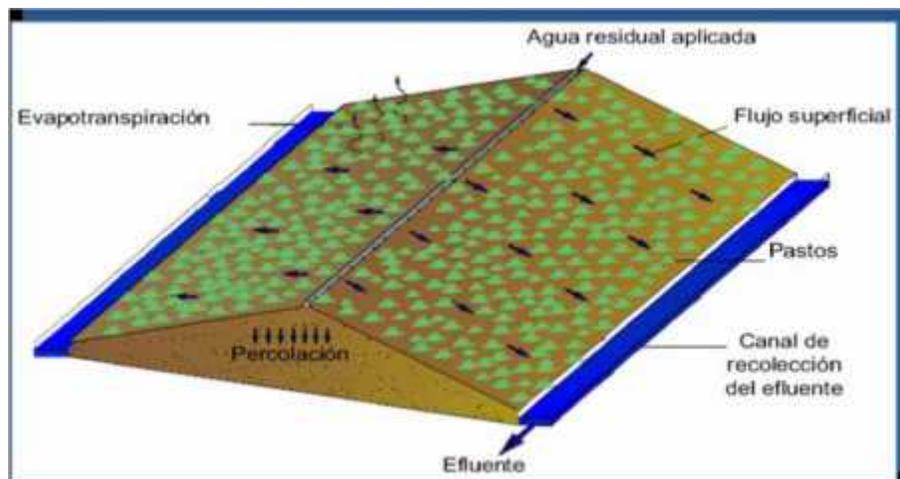


Figura 1.4 Esquema del sistema de escorrentía superficial

Fuente: Adaptado de SENACYT, 2010).

Este sistema es viable, de costo bajo, eficiente para tratamiento de aguas residuales con materia orgánica degradable y sometidas a pre-tratamiento de cribado más sedimentación. Para la instalación de este sistema es necesario considerar:

-) Pendientes del orden del 3 al 8%.
-) Profundidad del nivel freático no crítica.
-) Suelos con permeabilidad lenta tales como arcillas y limos arcillosos.

) Área requerida por la tecnología de 2,5 - 6 m²/hab.

Las ventajas y desventajas de estos sistemas son:

Ventajas

- Bajo costo de instalación y mantenimiento.
- Ofrece menores demandas energéticas.
- Utiliza la vegetación y el suelo como medios de depuración.
- Utilización de suelos de permeabilidad baja (arcillas y limos).
- El líquido proveniente de la depuración puede ser reutilizado para el riego.
- Son efectivos en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno y compuestos orgánicos.

Desventajas

- Pendientes superiores a 8% tienen un riesgo grande de causar surcos y erosión.
- Las precipitaciones continuas reducen su rendimiento, provocando encharcamientos y saturaciones del suelo.
- Bajas temperaturas disminuye la actividad biológica en el suelo.
- Son menos eficientes en la remoción de fósforo, metales pesados y organismos patógenos.

1.4.4 Humedales

Los humedales pueden ser naturales o artificiales y, son sistemas de tratamiento natural por medios acuáticos en los cuales las plantas y animales son los principales elementos que intervienen en el tratamiento de las aguas residuales municipales, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo. Los humedales artificiales son: de flujo superficial (con espejo de agua), o de flujo subsuperficial (sin espejo de agua).

Los humedales tienen dos funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales:

) Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo.

) Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

1.4.4.1 Humedales de Flujo libre o superficial (HFL)

Los HFL con espejo de agua son balsas, una ciénaga, pantano o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera. (Dueñas, Muriel, Giovanni, 2018). Para la instalación de este sistema es necesario tener en cuenta las siguientes características para lograr su óptimo funcionamiento y puesta en práctica:

-) Suelos arcillosos de baja permeabilidad.
-) Vegetación inundada hasta una profundidad de 10 a 60 cm.
-) La vegetación puede ser cañas o juncos.
-) Pendiente del terreno < 5 %
-) La profundidad del nivel freático no es un limitante.
-) Área requerida por el tratamiento: 2,5 a 9 m²/hab.

En la figura 1.5 se muestra un esquema de trayectoria de un humedal de flujo con sus componentes.



Figura 1.5. Esquema de trayectoria de un humedal de flujo superficial
Fuente: (Dueñas, Muriel, Giovanni, 2018)

Este sistema presenta un conjunto de ventajas y desventajas que deben ser consideradas, que a su vez lo diferencian de los Humedales de Flujo Subsuperficial (HSS).

Ventajas

- Proporcionan tratamiento efectivo y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo permanente.
- Adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones.
- Menor coste en la construcción, operación y mantenimiento.
- Soportan variaciones de caudal eficientemente.
- Proporcionan una adición valiosa al “espacio verde” de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre.
- No producen lodos residuales.
- Facilitan la reutilización del agua.

Desventajas

- Las necesidades de terreno pueden ser grandes, para remoción de nitrógeno o fósforo.
- En climas fríos las bajas temperaturas reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables de la nitrificación y desnitrificación.
- Proliferación de mosquitos y otros insectos.
- Limitación de pendiente del terreno inferior al 5%.

1.4.4.2 Humedales de Flujo Subsuperficial (HSS)

Los HSS son métodos acuáticos en el que el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso de grava gruesa o arena sembrado de plantas emergentes. (Dueñas, Muriel, Giovanni, 2018). En la figura 1.6, se muestra un esquema de estos sistemas.

Para la instalación de este sistema es necesario:

-) Suelos arcillosos relativamente impermeables.
-) La profundidad del lecho va desde 0.5 a 0.9.

-) La pendiente del terreno < 5.
-) La profundidad de nivel freático no es limitante.
-) Área requerida por el tratamiento.

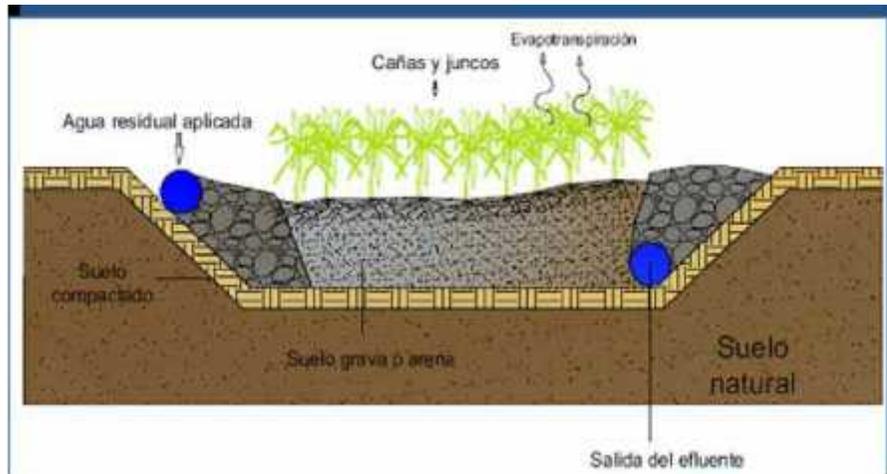


Figura 1.6 Esquema de un Humedal de flujo Subsuperficial

Fuente: (Dueñas, Muriel, Giovanni, 2018)

Las ventajas y desventajas de estos sistemas son:

Ventajas

- Alto rendimiento para la remoción de MO, DBO, DQO, SST, N, P y metales pesados.
- Integración en el medio.
- Requieren menos superficie que los humedales de flujo libre.
- Problemas de olores e insectos mínimos.
- Poco o nulo consumo energético.
- Bajo coste de operación y mantenimiento.
- No existe producción de lodos.

Desventajas

- No recomendable en zonas con climatología extrema.
- Limitación de pendiente del terreno inferior al 5%.
- Operación eficiente hasta que se desarrolle la vegetación (3-6 meses).

- Exigentes cuidados durante el proceso de construcción, errores conllevan deficientes procesos de tratamiento y a altas inversiones de reconstrucción.
- La retención de metales pesados aumenta su acumulación en los sedimentos del lecho filtrante que con el tiempo reduce la eficiencia del proceso siendo necesario la renovación del medio granular, implicando mayores costos.

1.4.5 Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de las aguas residuales mediante procesos biológicos naturales con interacción de microorganismos (algas, bacterias y protozoarios) y la materia orgánica contenida en el agua residual. Este tipo de tratamiento se recomienda cuando se busca un alto grado de remoción de organismos patógenos. Estas se pueden clasificar de acuerdo con sus características principales de funcionamiento, en anaerobias, facultativas y de maduración (aerobias). (Gutiérrez y García, 2015). Ver Figura 1.7.



Figura 1.7 Procesos mediante lagunas

(Fuente: <https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)

) Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias se diseñan con el objetivo principal de remover altas cargas de materia orgánica expresada como DBO₅. Los sólidos suspendidos sedimentan por gravedad y posteriormente una parte de ellos, los sólidos volátiles, se degradan en el fondo por vía anaeróbica. Una laguna anaeróbica se puede considerar como un digestor anaeróbico abierto, sin mezcla mecánica, donde la alta carga en materia

orgánica impuesta elimina la actividad fotosintética de las algas, al no existir oxígeno disuelto en la masa de agua.

) **Lagunas facultativas**

En las lagunas facultativas la degradación de la materia orgánica ocurre en general por vía biológica y microbiana y en presencia de oxígeno disuelto en la masa de agua, por lo que es de manera predominante un proceso aerobio en gran parte de su volumen. En las capas profundas, el oxígeno disuelto tiende a cero, lo que favorece la digestión anaerobia de los lodos.

Es conocido que en una laguna facultativa la simbiosis (comensalismo) entre algas y bacterias favorece los procesos de oxidación biológica. Por una parte, ocurre la producción de oxígeno por la fotosíntesis de las algas y por la otra se lleva a cabo la oxidación bacteriana de la materia orgánica.

) **Lagunas de maduración**

El funcionamiento de las lagunas de maduración es bastante similar al de las lagunas facultativas. Por ser menos profundas poseen oxígeno disuelto en todo su perfil. Al recibir menos sólidos en suspensión, la acumulación y digestión de lodos es discreta. Su uso es específico para reducir bacterias. Entre el 70 – 90 % de la DBO₅ del efluente de estas lagunas es producto de la demanda de las algas, los valores de reducción de DBO₅ no son altos.

Las ventajas y desventajas que presentan los sistemas naturales mediante lagunas de estabilización son:

Ventajas

- Presenta alta eficiencia.
- Costo inicial bajo.
- Gastos de operación y mantenimiento bajos.
- Gran capacidad para recibir sobrecarga.
- Simplicidad de operación.
- No requiere equipo mecánico.

Desventajas

- Requiere grandes extensiones de terreno.
- Puede ocasionar problemas de olores (generalmente las lagunas anaerobias).
- Puede producir vectores.
- En épocas de frío disminuye su eficiencia.
- Si el precio del terreno es alto puede salir costosa.

1.5 Tratamiento de aguas residuales a través de fosas o tanques sépticos

Las fosas sépticas se utilizan por lo general para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicio de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía. El uso de tanques sépticos se permite en localidades rurales, urbanas y urbano-marginales. (CEPIS, 2005)

Uno de los principales objetivos del diseño de la fosa séptica es crear dentro de esta una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. Los sólidos sedimentables que se encuentren en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico.

Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo. El líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos.

La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaerobias, y una parte considerable de ella se convierte en agua y gases más estables como dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno. El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico, aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que éstas últimas se acumulan.

El líquido contenido en el tanque séptico experimenta transformaciones bioquímicas, pero se tienen pocos datos sobre la destrucción de los agentes patógenos. Como el

efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un número elevado de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos ni descargarse en canales o aguas superficiales sin permiso de la autoridad sanitaria de acuerdo al reglamento nacional vigente.

Los elementos básicos de un sistema con fosa séptica son: el tanque séptico y el campo de oxidación; en el primero se sedimentan los lodos y se estabiliza la materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias, en el segundo las aguas se oxidan y se eliminan por infiltración en el suelo.

Unidades básicas de los sistemas con fosas sépticas:

-) Trampa de grasa: Se instalan únicamente cuando se eliminan grasas en gran cantidad, como es el caso de hoteles restaurantes, cuarteles en zonas rurales. Se colocan antes de los tanques sépticos, deberán diseñarse con una tapa liviana para hacer limpieza, la misma que debe ser frecuente; en lo posible deben ubicarse en zonas sombreadas para mantener bajas temperaturas en su interior.
-) Tanque séptico: El tanque séptico es la unidad fundamental del sistema de fosa séptica ya que en este se separa la parte sólida de las aguas servidas por un proceso de sedimentación simple; además se realiza en su interior lo que se conoce como proceso séptico, que es la estabilización de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias, convirtiéndola entonces en lodo inofensivo. (Ver figura 1.8).
-) Caja de distribución: Este componente tiene por objeto distribuir el agua servida procedente del tanque séptico proporcionalmente a cada uno de los ramales del campo de oxidación, para lo cual se colocan todas las tuberías de salida a la misma altura. Se recomienda localizar la tubería de entrada a 5 cm del fondo de la caja y las tuberías de salida 1 cm del mismo fondo. La forma que se adopte para la caja depende del terreno que se obtenga para la oxidación y del número de salidas que se adopten.
-) Campo de oxidación o infiltración: En esta unidad se consigue oxidar el agua servida y eliminar por infiltración. Para lograr un óptimo funcionamiento del campo

de oxidación, debe escogerse el mismo a partir de la realización de una prueba de infiltración.

) Pozo de absorción: Los pozos de absorción pueden sustituir o ser complementarios al campo de oxidación. Un pozo de absorción consiste en excavaciones de más o menos un diámetro y profundidad variable. En estos el agua se infiltra por las paredes y el fondo los que deberán ser permeables, se recomienda llenar de grava a la altura aproximada de 1m para lograr una buena distribución del agua en el fondo.



Figura 1.8 Componentes del tanque séptico

Fuente: (<https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)

Ventajas y desventajas de los sistemas con fosas sépticas (CEPIS, 2005):

Ventajas

- Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, parques y moteles.
- Limpieza no frecuente.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.

Desventajas

- Uso limitado para un máximo de 350 habitantes.
- También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.

- Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.).

1.6 Tratamiento de aguas residuales a través de tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. (CEPIS, 2005)

Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se llama tanques de doble cámara. Ver figura 1.9.

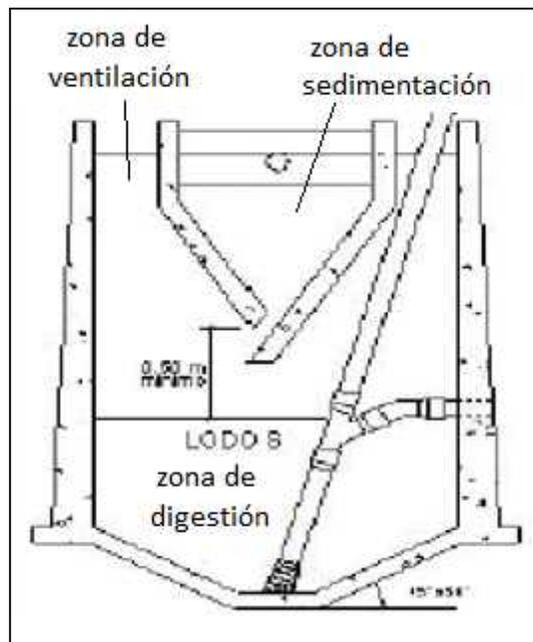


Figura 1.9 Esquema de un tanque Imhoff

Fuente: OPS/CEPIS/, 2005.

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos: cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos y área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento y la operación consiste en la remoción diaria de espuma y su evacuación y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado. Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

Ventajas y desventajas que tiene el tanque Imhoff son:

Ventajas

- Contribuye a la digestión del lodo, mejor que un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.
- No descargan lodo en el líquido efluente.
- El lodo se seca y se evacua con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.
- Las aguas servidas que se introducen en los tanques imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenas.

- El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.
- Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.

Desventajas

- Son estructuras profundas. (> 6m).
- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando este vacío.
- El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

Cabe resaltar que esta alternativa resulta adecuada en caso de que no se cuente con grandes áreas de terreno para poder construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como es el caso de las lagunas de estabilización, además de que el tanque imhoff deberá estar instalado alejado de la población, debido a los malos olores que produce.

CAPÍTULO 2

Modelos y criterios de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales

2.1 Modelos y criterios de selección, bases fundamentales

La toma de decisiones generalmente va acompañada de herramientas metodológicas que facilitan el proceso de selección de una tecnología, considerando múltiples aspectos o criterios desde el punto de vista técnico, ambiental, social y económico, para garantizar la sostenibilidad de la tecnología implementada. Por lo tanto la base fundamental para seleccionarla no es escoger la mejor tecnología sino; la que mejor se adecue a las condiciones, características y aspiraciones del lugar en cuestión de acuerdo con los métodos y criterios.

2.1.1 Criterios de selección de los sistemas de tratamientos naturales

Fuente (Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales. SENACYT, 2010).

La selección de un tratamiento de aguas residuales, depende de criterios que sirven para realizar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, a fin de llegar a la elección de la más conveniente para una localidad, dependiendo de sus características particulares. Para ello debe estudiarse el afluente a ser depurado, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento, las características de terreno, factores ambientales, costos construcción, operación y mantenimiento.

En la tabla 2.1 se muestran ocho criterios de selección que se presentan, con la información requerida en cada uno de ellos.

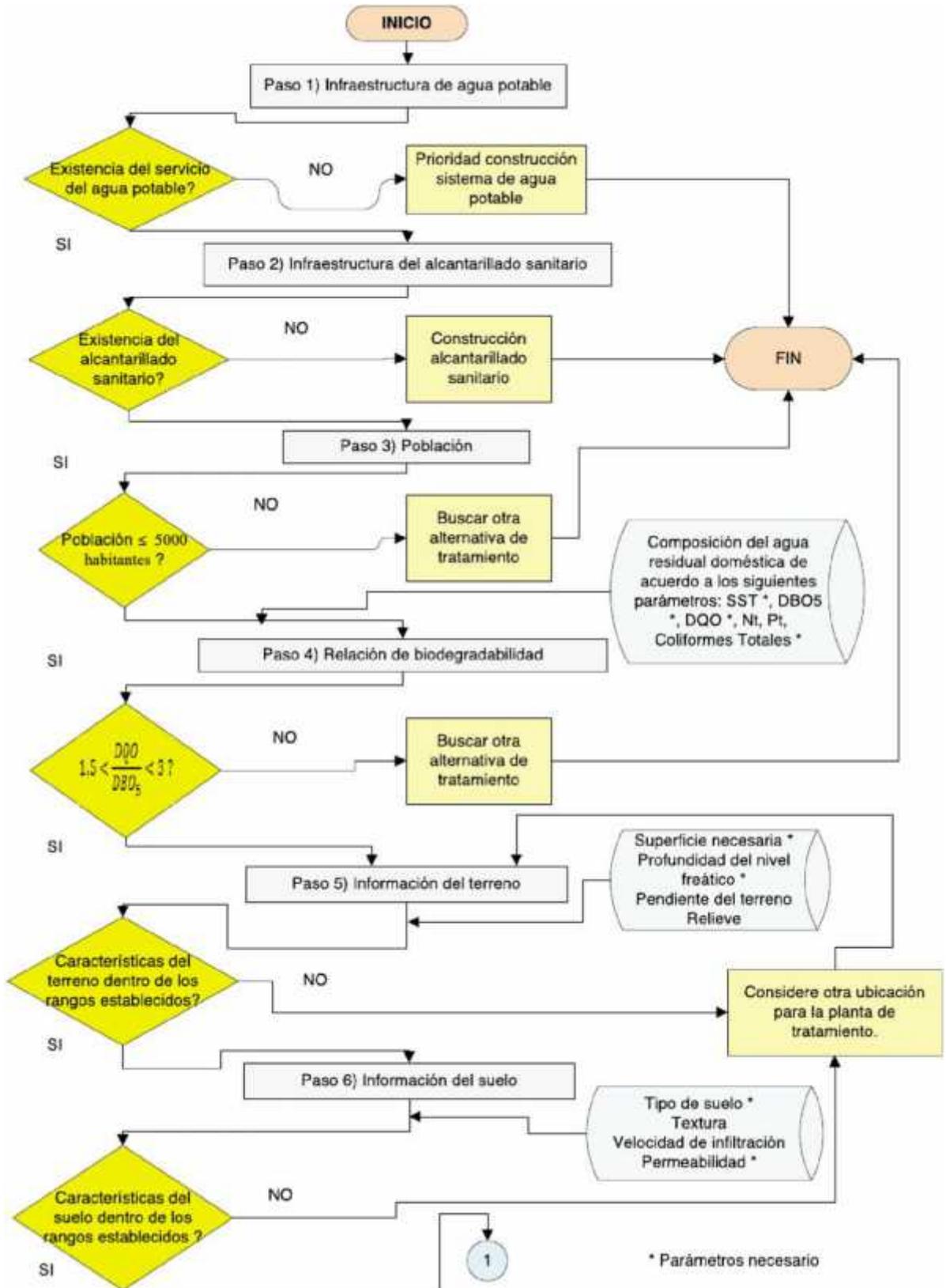
Los criterios de selección, han sido escogidos como los más usuales e importantes que no pueden excluirse del proceso, en base al estudio desarrollado por diferentes autores que han trabajado en el campo de la selección de tecnologías. Entre los factores a considerar están, el objetivo final del tratamiento,

aspectos sociales, económicos, sostenibilidad, impacto en la salud y medio ambiente, características particulares de cada tecnología, requerimientos de construcción, operación y mantenimiento. De tal manera, que la selección de la tecnología sea un proceso simple, amigable y facilite la toma de decisiones, de acuerdo a las condiciones que las pequeñas poblaciones posean.

Tabla 2.1 Criterios de Selección

CRITERIOS DE SELECCIÓN	VARIABLES
Factores Demográficos	Población (rangos para calificación) Existencia y tipo de Alcantarillado Existencia de Agua Potable
Características del terreno	Superficie necesaria Profundidad del nivel freático Pendiente Topografía
Objetivos de Tratamiento	Expectativas de calidad del efluente Nivel de Tratamiento
Características del Agua residual	Origen Composición Caudal Temperatura
Características del Suelo	Tipo Textura Velocidad de infiltración Permeabilidad
Características climatológicas	Precipitación Temperatura Evapotranspiración Viento
Aspectos Tecnológicos	Impacto Ambiental (aire, suelo, agua, salud) Eficiencia del tratamiento Facilidad de operación y Mantenimiento
Costes	Operación y Mantenimiento Construcción

En la figura 2.1 se presenta un diagrama como una herramienta útil para orientar al proyectista en la selección del tratamiento de aguas residuales, indicando secuencialmente el proceso que debe seguir, sustentada en matrices de selección.



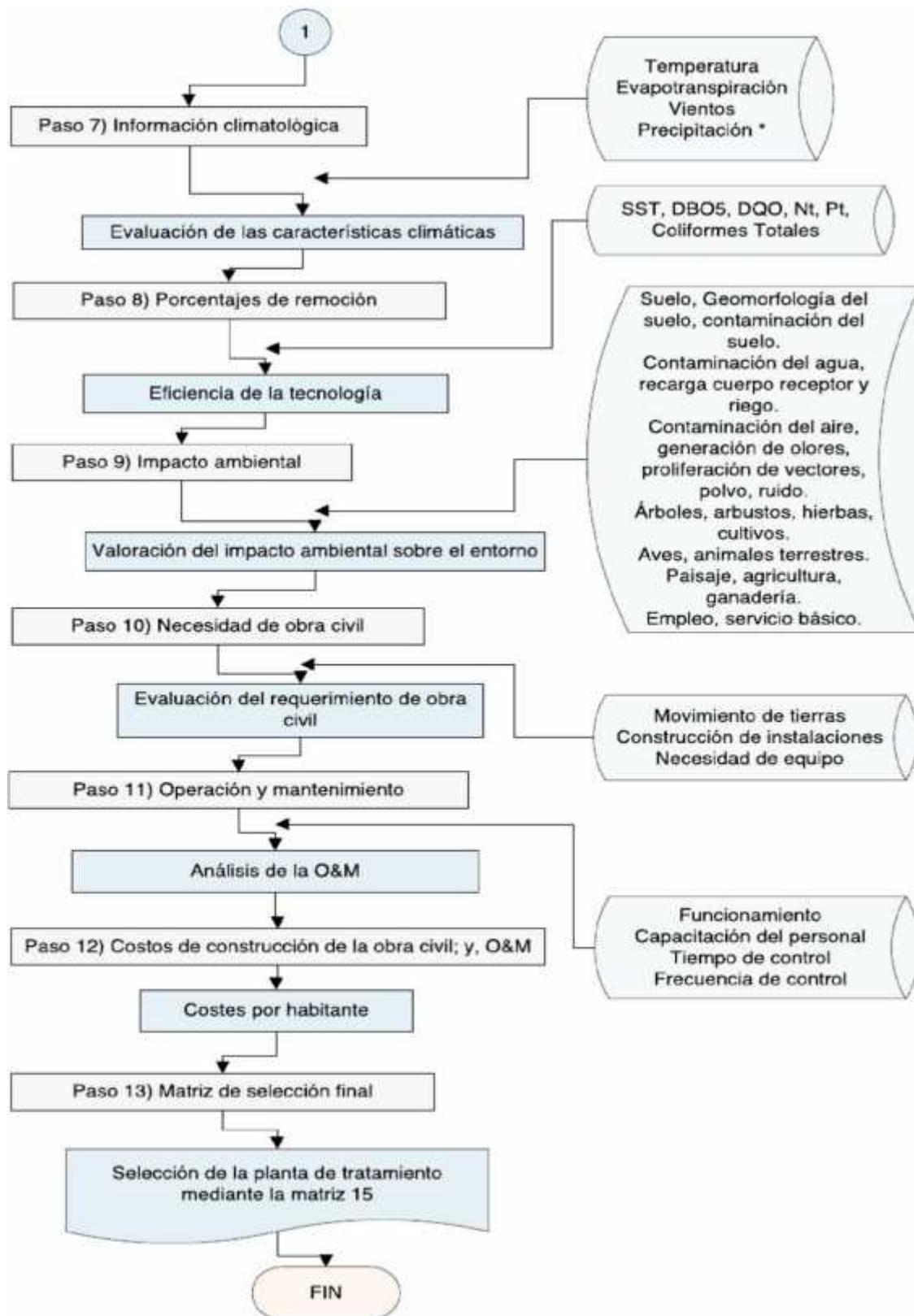


Figura 2.1 Diagrama de la herramienta

Descripción de las matrices de selección

Matriz 1 Cobertura de agua potable: Evalúa la existencia de agua potable en la comunidad donde se seleccionará la tecnología de tratamiento de aguas residuales. Siendo inherentemente preferible que la misma cuente con este servicio. Además se debe considerar, que una población que no esté dotada de agua potable difícilmente podrá priorizar la proyección un sistema de depuración de aguas residuales. La valoración de cada ítem de la matriz 1, está en función de la cobertura del sistema de agua potable en el sector de estudio.

Matriz 2 Existencia y tipo de alcantarillado: La necesidad inherente de planear un sistema de tratamiento de aguas residuales, es que la población cuente con un sistema de alcantarillado que evacue todas las aguas residuales y la lleve a un punto de descarga donde se pueda depurarlas.

Matriz 3 Población recomendada: La población es uno de los factores que delimitan la selección de una tecnología de depuración de aguas residuales, debido a que no todos los tratamientos son adecuados para todas las poblaciones. Se deben presentar los tratamientos más adecuados para cada intervalo de población.

Matriz 4 Descripción de la topografía según las pendientes del terreno: Las características generales del terreno, tales como área disponible para la tecnología, y profundidad del nivel freático, son consideradas las principales variables de decisión, limitando la implementación de un sistema natural de tratamiento de aguas residuales. Además, el peso aplicado a este apartado también depende de las características físicas como pendiente y topografía, para evitar un incremento en los costes de construcción, operación y mantenimiento

Matriz 5 Características del agua residual: La caracterización de las aguas residuales consiste en conocer su composición, definiendo las concentraciones de los diferentes contaminantes y por consiguiente el origen del agua residual de la localidad (origen, caudal y temperatura).

Matriz 6 Características del suelo: El tipo de suelo, textura, velocidad de infiltración, y grado de permeabilidad, se evalúan en una siguiente etapa de este proceso de selección. Estos parámetros se han escogido para evaluar si el suelo

destinado al tratamiento, cumple con las condiciones que cada tecnología demanda para su óptimo funcionamiento.

Matriz 7 Características climáticas: Muestra los intervalos de las condiciones climáticas para cada sistema de tratamiento (temperatura ambiente, evapotranspiración, vientos, precipitaciones de altas frecuencias).

Matriz 8 Eficiencia de las unidades de pre-tratamiento: Se presentan los rangos de remoción de cada una de las unidades de pre-tratamiento. La eficiencia de un tratamiento se mide en función de las condiciones establecidas por la Legislación Ambiental que regula la calidad que debe tener el efluente de un sistema de tratamiento, previa descarga en un cuerpo receptor de agua dulce o su reutilización para uso agrícola.

Matriz 9 Remoción de los parámetros básicos: Se resumen los porcentajes de remoción que alcanzan el pre-tratamiento + el tratamiento, es decir, nos permiten establecer la eficiencia total de la planta depuradora, en función de lo cual estableceremos si cumplimos con la normativa para el vertimiento al cauce natural o con fines de reuso para riego.

Matriz 10 Impacto ambiental sobre el entorno: Se presenta la incidencia de las tecnologías de depuración en los principales factores que se verán afectados con el diseño y construcción de ésta, los cuales han sido valorados en función de la afectación de cada uno al medio.

Matriz 11 Tecnologías de tratamiento y su necesidad de obra civil: Los sistemas de tratamiento naturales comparados con los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales son los que menor requerimiento de obra civil necesitan. En la matriz se presentan las variables escogidas para valorar este parámetro, tales como: movimiento de tierras, construcción de instalaciones, necesidad de equipo. La valoración de cada variable está en función del requerimiento que se tenga que hacer en función de la adecuación del sitio donde se implantará la depuradora.

Matriz 12 Operación y mantenimiento para cada tecnología de tratamiento: Bajo este criterio se agrupan conceptos relacionados con el funcionamiento de la

planta de depuración para garantizar que la depuradora cumpla con su tiempo de vida útil y lo haga en óptimas condiciones. En la matriz 12 se presenta para cada tecnología, dependiendo de su facilidad de operación y mantenimiento una tabla en la que se indica la puntuación asignada, si el proceso es muy simple, simple o complejo, o, si se necesita de poco o mucho control en los mismos. De esta manera podremos obtener la valoración más alta para el tratamiento que mayor simplicidad represente con respecto al resto.

Matriz 13 Costos de construcción de la obra civil: Se detallan los costos por habitante de cada sistema de tratamiento. Los mismos que establecen los gastos de construcción y puesta en marcha de la depuradora, incluye materiales, mano de obra, equipo menor y transporte.

Matriz 14 Costos de operación y mantenimiento: Los costos de O&M dependen de muchas variables como el tipo de tratamiento, tamaño de la misma, necesidad de personal, frecuencia de mantenimiento, necesidad de sustancias químicas y del programa de capacitación.

Los sistemas naturales de tratamiento son los de menor costo porque no requieren de equipos ni de reactivos químicos en el proceso, siendo directamente la interacción de los suelos, las plantas y los microorganismos los autores de la depuración.

Matriz 15 Selección final del tratamiento: En esta se presenta la selección final con cada una de las variables analizadas en las matrices de selección, descritas anteriormente.

Para que un sistema natural de depuración funcione correctamente y que cumpla con el periodo para el cual fue diseñado, es fundamental que el personal encargado de la operación y mantenimiento esté capacitado para que sepa cómo hacerlo, con qué frecuencia, qué insumos y herramientas necesita, que identifique los procesos que hagan posible el funcionamiento óptimo, eficiente y efectivo de la depuradora, sin que se produzcan interrupciones debidas a fallas de sus elementos, procesos u operaciones ocasionadas por una deficiente operación y mantenimiento de cada uno de los elementos de la depuradora.

2.1.2 Criterio BATEA (Mejor Proceso Disponible y Factible Técnica y Económicamente) en la evaluación de sistemas de tratamiento

Fuente: (Criterios para la selección de un Sistema de Tratamiento de Residuos y su Aplicación a la Vinaza de la Industria Alcohólica. Caicedo, Fonseca y Rodríguez, 1997).

La aplicación de uno u otro criterio obedece a la conciencia ecológica de la población y a la política desarrollada por los organismos gubernamentales encargados del control de la contaminación, que generalmente, corresponde a un punto de encuentro entre el desarrollo y la conservación.

En nuestro país a pesar de existir leyes que rigen el vertimiento de contaminación al medio ambiente; debe buscarse una alternativa que estimule el desarrollo de innovaciones, que logre disminuir la contaminación a niveles que garanticen la conservación de las fuentes receptoras y que genere tecnologías propias y económicamente viables. Es decir, se debe implantar un criterio de BATEA donde se consiga, adicional al control ambiental, una interrelación entre Industria - Universidad - Estado que lleve a cuestionar, adecuar y desarrollar tecnología para cada problema.

En el modelo se resumen los criterios para la selección de un sistema de tratamiento de residuos, así:

-) Remoción del 85 % de los sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno DBO.
-) Tratamiento corrientemente disponible.
-) Mejor proceso disponible y factible técnica y económicamente.
-) Remoción del 100% de la contaminación.

A pesar de ser el criterio BATEA muy claro en su definición, la aplicación se hace difícil por la falta de pautas de evaluación que permitan comparar de una manera objetiva los tratamientos y por lo tanto decidir el más conveniente.

Pautas para la aplicación del criterio BATEA

Para la aplicación del criterio BATEA en la selección de sistemas de tratamiento, debe tenerse en cuenta en primer lugar los aspectos generales relacionados con la disponibilidad de sistemas viables de tratamiento, y en segundo los aspectos específicos que cuantifiquen las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Aspectos generales: Tienen que ver con la disponibilidad y exigencias del sistema de tratamiento.

Comprenden:

-) Desarrollo técnico suficiente: El sistema o sistemas que se seleccionen deben ser altamente eficientes para justificar los estudios que optimicen las condiciones de operación.
-) Instalación a corto plazo: Dentro de los sistemas disponibles pueden existir algunos que por su complejidad o poco desarrollo técnico no sean una solución industrial a corto plazo, esto limita su aplicación en casos donde se requiera una solución pronta.

La selección de los sistemas de acuerdo con estos aspectos, requiere una revisión muy amplia de los trabajos y tecnologías disponibles a nivel mundial sobre los residuos a tratar y de los estudios hechos en el país sobre el residuo en particular.

Aspectos específicos: Están relacionados con la bondad misma del sistema de tratamiento desde el punto de vista ecológico y económico. Estos aspectos se han agrupado en cinco factores de ponderación, asignándole a cada uno de ellos un porcentaje de contribución de acuerdo con su incidencia sobre la contaminación y el costo del tratamiento. En la tabla 2.2, se muestran estos aspectos.

Factor de contribución por remoción (FCR): Este factor se considera como uno de los más importantes y se le ha asignado un porcentaje relativo del 45%. Su función es cuantificar el impacto ecológico del tratamiento, evaluando la eficiencia de remoción en un parámetro de la contaminación como 10 es la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Tabla 2.2 Factores de ponderación para evaluación de un sistema de tratamiento según el método BATEA

Factores de ponderación	% de contribución
Factor de Contribución por Remoción de DQO (FCR)	45%
Factor de Costo Inicial (FCI)	20%
Factor de Tasa de Retorno (FTR)	25%
Factor de Disponibilidad (FD)	10%
Factor de Aplicabilidad del Tratamiento (FAT)	100%

Factor de costo inicial (FCI): Un menor costo inicial implica una mayor factibilidad de instalación. Se ha establecido que el costo de un sistema de tratamiento está ligado directamente con el costo de la planta de producción, por lo tanto, en descontaminación, se considera que para que una inversión sea económicamente factible, esta no puede ser mayor del 30 % del costo de la planta.

Factor de tasa de retorno (FTR): Este factor relaciona los beneficios que trae a la empresa contaminadora la instalación de un sistema de tratamiento y el tiempo en el cual se recupera la inversión. Para este estudio se toman los valores en dólares y se fija una tasa mínima de retorno (TMR) del 10%, que representa el tiempo para la recuperación.

Factor de disponibilidad (FD): Cuantifica la disponibilidad de tecnologías en el país para instalar un sistema de tratamiento y la facilidad de operación del mismo. De acuerdo a la dificultad para su cálculo se elabora una tabla de evaluación la cual muestra en la tabla 2.3, donde se tienen en cuenta la disponibilidad de la tecnología en el país y la dificultad de operación que comprende tanto sistemas de análisis y control, como disponibilidad de personal calificado.

El mayor valor se asigna a las tecnologías ya conocidas e implantadas en el país, por cuanto esto implica experiencia en su manejo y disponibilidad de personal para su implementación y control. La diferencia entre las tecnologías disponibles y no disponibles en el país busca fomentar la investigación y el desarrollo de nuevos sistemas de tratamiento.

Tabla 2.3 Factor de disponibilidad para la evaluación de sistemas de tratamiento

Disponibilidad de las tecnologías en el país	Dificultad de operación en %
Tecnología disponible en el país y de fácil operación	8—10
Tecnología disponible en el país y operación con grado medio de dificultad	6—8
Tecnología disponible en el país y operación con alto grado de dificultad	4—6
Tecnología no disponible en el país y fácil operación	1—2
Tecnología no disponible en el país y operación con grado medio de dificultad	0—1
Tecnología no disponible en el país y operación con alto grado de dificultad	0

Factor de aplicabilidad del tratamiento (FAT): Este factor permite la comparación entre los diferentes tratamientos y corresponde a la suma de los cuatro factores anteriores.

Este modelo de selección permite tener en cuenta factores ecológicos y económicos en la evaluación de sistemas de tratamiento.

2.1.3 Modelo conceptual, SELTAR

Fuente: (Modelo conceptual de selección de tecnologías para el control de contaminación por aguas residuales domésticas en localidades menores de 30 000 habitantes. SELTAR. Galvis, Bernal, y Cardona, 2004)

El modelo facilita el proceso de toma de decisiones. La construcción del modelo recopila las experiencias de los diferentes autores, la caracterización de la oferta tecnológica y las relaciona en un marco conceptual que involucra conceptos de: sostenibilidad, teoría general de sistemas, producción más limpia, gestión integrada de recursos hídricos, e impacto en salud y medio ambiente. (Galvis, Bernal, y Cardona, 2004)

Esquemas tecnológicos: Se definen a partir del estudio de las alternativas existentes para el tratamiento de aguas residuales domésticas con mayor potencial de aplicación. Se realiza una tabla que contenga los siguientes parámetros:(tabla 2.4)

Tabla 2.4 Unidades complementarias y Tecnologías según su categoría

Unidades Complementarias	Tecnologías según su categoría
Sistemas de tratamiento convencionales	
Sistemas de Tratamiento Naturales	
Manejo de Lodos	

En este estudio se deben de considerar las características particulares de cada tecnología, su compatibilidad operacional, nivel de tratamiento y eficiencia, ventajas y desventajas y requerimientos para la construcción, operación y mantenimiento; cada uno de ellos combinados para la formulación del esquema tecnológico. En total hay que analizar un número considerable de esquemas tecnológicos divididos por diferentes categorías:

- Nivel de tratamiento primario.
- Nivel de tratamiento secundario.
- Nivel de tratamiento terciario con remoción de nutrientes.
- Nivel de tratamiento terciario con remoción de patógenos.
- Tratamiento y disposición en terreno para el tratamiento de aguas residuales.
- Manejo de lodos.

Bloques temáticos: el modelo conceptual está conformado por 9 bloques temáticos, (ver figura 2.2), a través de los cuales se realiza la selección de tecnologías sostenibles. Los bloques temáticos son:

- 1) Priorización y Factibilidad del Proyecto, la cual tiene en cuenta la normatividad vigente.
- 2) Objetivos Ambientales ligados al nivel de tratamiento requerido para la localidad.
- 3) Aspectos Socioculturales.
- 4) Aspectos Tecnológicos.
- 5) Aspectos Ambientales.

- 6) Reuso y Aprovechamiento de Subproductos.
- 7) Manejo de Lodos.
- 8) Costos de inversión Administración Operación y Mantenimiento.
- 9) Tarifas, Capacidad y Disponibilidad a Pagar.

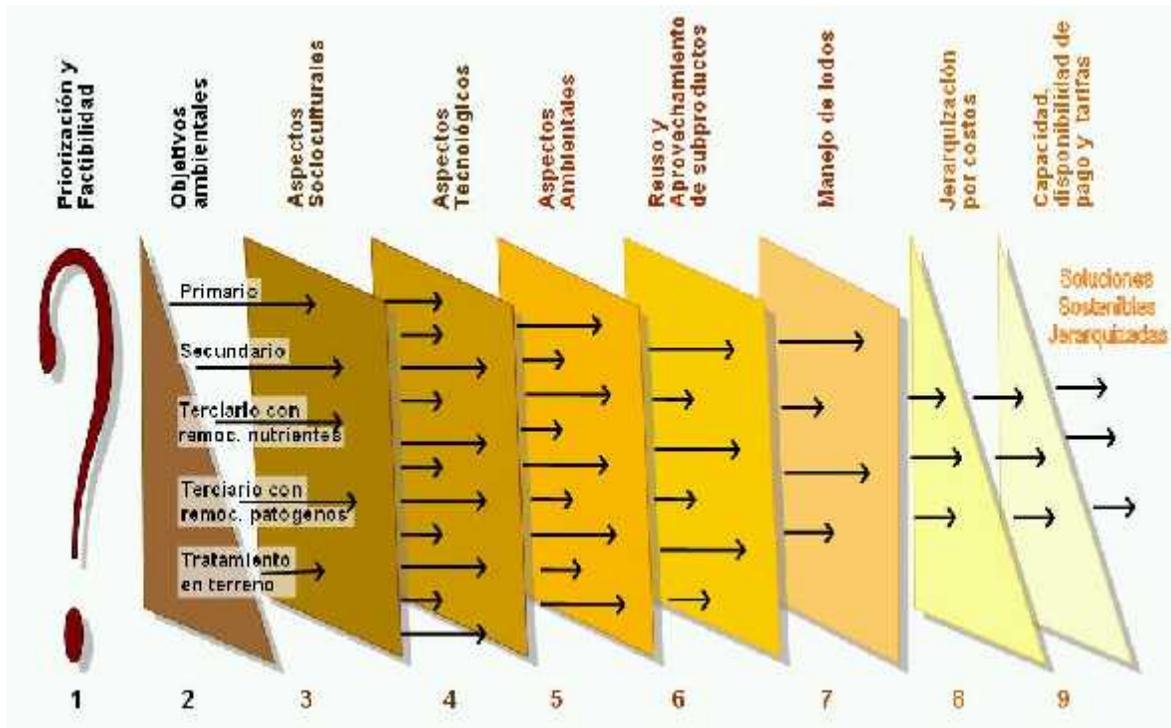


Figura 2.2 Esquema de selección del modelo conceptual (SELTAR)

Luego se analizan factores y variables en los diferentes bloques del modelo de selección.

La estructura del modelo conceptual involucra datos de entrada, criterios básicos, procedimientos y selecciones parciales en cada uno de los bloques. En la Tabla 2.5 se presenta, en forma resumida, la información requerida en cada bloque. Los criterios básicos hacen referencia a aspectos previamente establecidos como por ejemplo la normatividad del sector de agua y saneamiento.

Los procedimientos se ejecutan sobre la base de la información de entrada y los criterios básicos considerados. Finalmente la selección es el resultado de la interrelación de la información suministrada de la localidad, los criterios básicos,

los diferentes procesos ejecutados en el modelo y las tecnologías que armonizan con ellos.

Tabla 2.5 Información requerida en cada bloque del modelo conceptual

Bloque	Información requerida
Priorización y Factibilidad	Plan de ordenamiento de la cuenca, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio, Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas, NBI, Coberturas de: acueducto, alcantarillado, aseo, Disposición de residuos sólidos, Agua potable, macromedición, % de pérdidas en acueductos
Objetivos ambientales	Cauda, Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua residual, Tipo de fuente receptora, cantidad y calidad fisicoquímica y microbiológica del cuerpo receptor
Aspectos socioculturales	Aceptación de la comunidad, Disponibilidad de energía eléctrica, Disponibilidad de materiales de construcción, Disponibilidad de mano de obra, Capacidad de gestión, Acceso a centro regional urbano
Aspectos tecnológicos	Caudal, Temperatura, Área disponible, Nivel freático, Pendiente del terreno y permeabilidad
Aspectos Ambientales	Vocación de usos del suelo en el área de influencia de la planta.
Reuso y aprovechamiento de subproductos	Actividades con potencial de reuso, Conocimiento y aceptación del reuso.
Manejo de lodos	Área de terreno disponible, Caudal de agua residual, Temperatura y precipitaciones, Nivel freático, Pendiente del terreno. Vocación de uso del suelo, Demanda potencial de biosólidos
Análisis de costos	Costos de inversión inicial, Costos de terreno, Costos de administración, operación y mantenimiento.
Capacidad y disponibilidad de pago	Número de usuarios, Ingreso promedio por familia, Capacidad de Pago, Distribución de la población por estrato socioeconómico, Recursos disponibles para subsidios, Disponibilidad a pagar.

2.1.4 Modelo Matemático

Fuente: (Modelo de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Guerrero,J. 2001)

El modelo evalúa los posibles sistemas para el tratamiento de aguas residuales que son factibles a implementar en un área o terreno disponible en una población determinada, para ello, se basa en el sistema experto desarrollado por Yang & Kao (1996), que realiza la selección en dos fases: fase de aproximación, que consiste en la identificación de sistemas de tratamiento de agua residuales factibles, y la fase de síntesis que analiza los atributos de los diferentes sistemas. Una síntesis del modelo teórico propuesto, el cual es una variación del modelo de Yang & Kao (1996) se presenta en la figura 2.3.

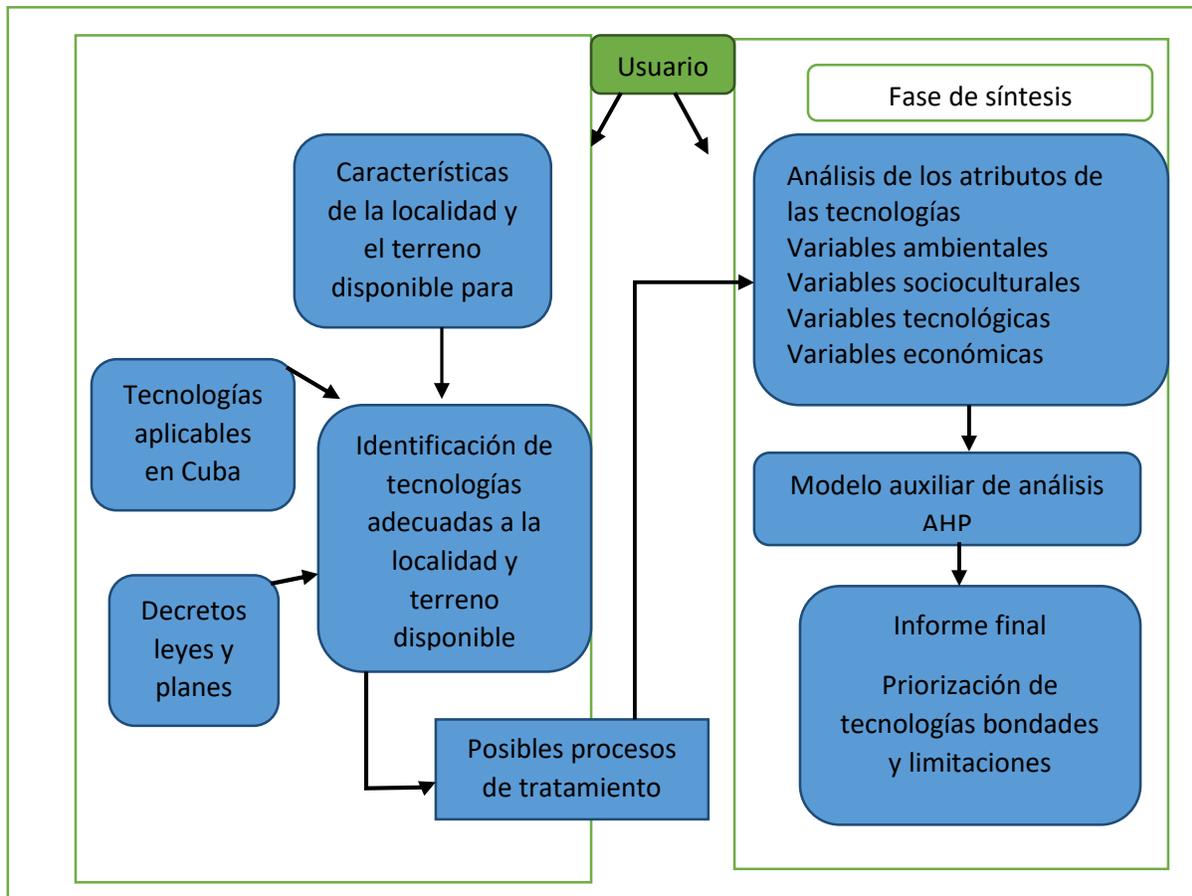


Figura 2.3 Esquema del modelo teórico

Fuente Guerrero,J

En la fase de aproximación se tienen en cuenta aspectos que debido a sus características pueden descartar de manera inmediata uno o varios sistemas a ser aplicados en la localidad, o descartar el lote (área) disponible para este fin por presentar características desfavorables.

Luego se evalúa las coberturas que posee la localidad en cuanto a infraestructura y los requerimientos necesarios que debe tener para la implementación de tecnologías de tratamiento.

El siguiente aspecto tiene que ver con la legalidad institucional del proyecto que se realiza desde el punto de vista de la prospectiva de desarrollo de la localidad, planteada por instancias participativas, en el Plan de Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo Municipal, debe estar contemplada la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la localidad.

Evalrados los aspectos de pertinencia y legalidad, se valoran algunos aspectos técnicos que van a permitir tamizar algunos sistemas y corroborar la viabilidad del terreno (el cual debe estar identificado y disponible) dispuesto para la implementación de la tecnología.

La evaluación de los aspectos técnicos se inicia con la definición del objetivo de tratamiento y las posibilidades de los diferentes sistemas propuestos con respecto a este objetivo. Seguidamente se contrasta la dimensión del área disponible con el área requerida por cada una de los sistemas de tratamiento (de acuerdo con la cantidad y características del agua residual a tratar), para descartar los sistemas que definitivamente no son implementables en el sitio dispuesto.

Se verifica la posible existencia de limitantes para la implementación de la tecnología en el terreno, como la alta susceptibilidad del mismo a movimientos en masa, erodabilidad, torrencialidad o alta vulnerabilidad sísmica. Si existe un alto grado de susceptibilidad a alguna de estas limitantes en el sitio dispuesto, no es recomendable el terreno para ese fin.

Las características básicas del suelo donde se construirá la tecnología: pendiente del terreno (%), el nivel freático medio (m) y la permeabilidad del mismo (cm/d) se

comparan con los requerimientos de cada uno de los sistemas de tratamiento, seleccionando los sistemas las que se adapten a las características del sitio.

Finalmente en la fase de aproximación, se analizan los servicios disponibles en la zona del lote (energía, acueducto, alcantarillado, recolección de residuos sólidos, telefonía), con respecto a los servicios que necesita cada sistema.

El resultado de esta fase son los sistemas preliminares, que cumplen con el objetivo de tratamiento deseado, que se adaptan a los aspectos legales y a las características del terreno disponible, para ser cualificados en la siguiente fase del proceso, fase de síntesis.

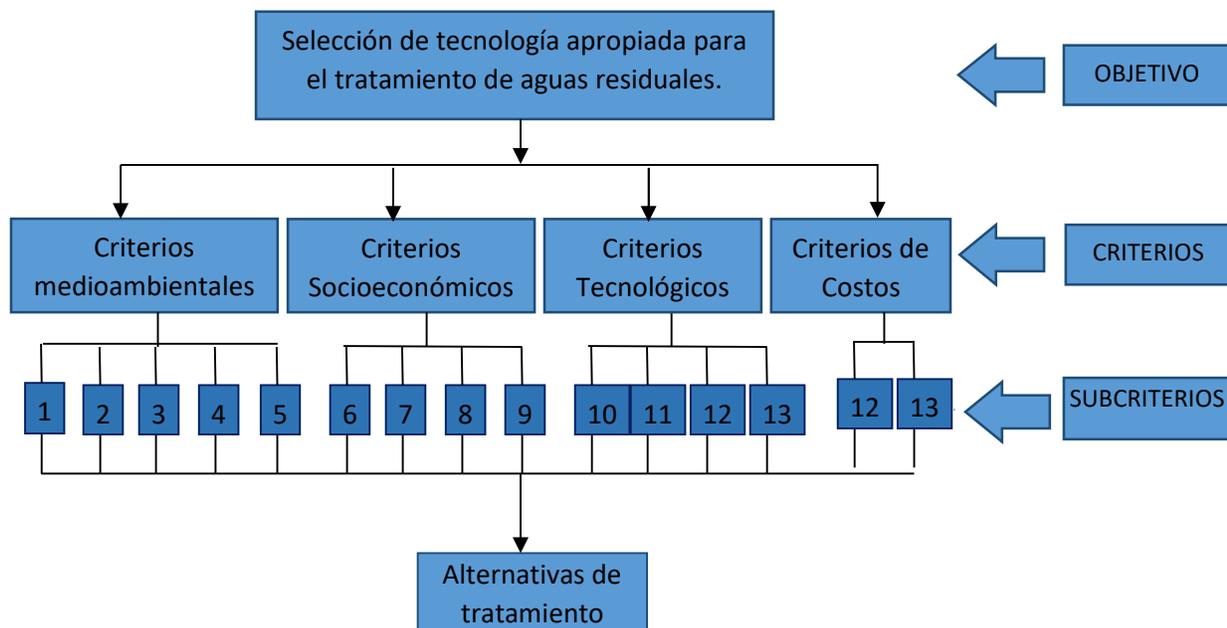
Luego se pasa al análisis de la jerarquía

Teniendo ya un listado de sistemas factibles se debe seleccionar el más apropiado a las características particulares de la localidad. Para ello se deben analizar los atributos (ventajas y desventajas) de cada sistema en contraste con las condiciones locales y el anhelo de la comunidad.

Los aspectos o variables a tener en cuenta para este análisis de atributos son: aspectos medioambientales, aspectos socioculturales de la comunidad donde se implementará el proyecto, aspectos tecnológicos inherentes a cada tecnología y los aspectos socioeconómicos.

La metodología de jerarquización propuesta es el “Proceso de Jerarquía Analítica” (Analytic Hierarchy Process - AHP). En el proceso AHP pondera las tecnologías de acuerdo a su importancia relativa mediante un análisis multicriterio; su ventaja radica en que se analiza cada uno de los aspectos de interés comparándolos con los demás de manera individual, lo que permite obtener resultados objetivos a procesos subjetivos; además este método permite la participación comunitaria en el proceso, pues más allá de los números, el aporte más importante del AHP se refiere a la capacidad de incluir en el modelo jerárquico la visión de desarrollo con respecto al manejo de las aguas residuales que tienen las diferentes instituciones presentes en la localidad y los mismos conciudadanos (representantes) que mediante este método tienen oportunidad de intervenir en la forma en que se orientará el proyecto.

El paso fundamental es desarrollar una representación gráfica del problema, en función de la meta general, de los criterios de evaluación y de las alternativas de decisión. Esta gráfica pone de manifiesto la del problema. La figura 2.4 muestra la jerarquía para la selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales. Observe que el primer nivel de la jerarquía indica que la meta general es seleccionar la mejor tecnología. En el segundo nivel, los cuatro criterios (Ambientales, Socioculturales, Tecnológicos y de Costos) contribuirán a lograr la meta general. El tercer nivel corresponde a subcriterios para cada uno de los cuatro criterios y el cuarto nivel la alternativa de decisión.



- | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Contaminación por ruido | 2. Contaminación visual | 3. Contaminación por vectores |
| 4. Contaminación por olores | 5. Impacto sobre ecosistemas frágiles | 6. Nivel de escolaridad |
| 7. Mano de obra | 8. Capacidad de gestión | 9. Presencia institucional |
| 10. Requerimientos y disponible de insumos | 11. Producción de lodos | 12. Potencial de reuso |
| 13. Operación y Montaje | 14. Costo operación y montaje | 15. Costo de inversión inicial |

.Figura 2.4 Jerarquía para la selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales

Fuente Guerrero,J

Procedimiento para los juicios de sintetización.

Una vez que hayamos desarrollado la matriz de comparación por pares, podemos calcular la prioridad de cada uno de los elementos que se están comparando, estimando la prioridad relativa de cada una de las tecnologías en función de la generación de ruido.

Relación de consistencia

Una consideración importante acerca de la calidad de la decisión final se relaciona con la consistencia en los juicios, demostrada por el tomador de decisiones durante la serie de comparación por pares.

Debe aceptarse que es difícil conseguir consistencia perfecta y que puede aceptarse alguna falta de consistencia en prácticamente cualquier juego de comparaciones por pares. AHP nos da un método para medir el grado de consistencia; si el grado de consistencia es aceptable, el proceso de decidir puede continuar, de lo contrario, el tomador de decisiones debe reconsiderar y posiblemente revisar los juicios de comparación por pares, antes de seguir adelante en el análisis.

Clasificación general de las prioridades

El procedimiento para calcular las prioridades de cada alternativa de decisión se puede comprender mejor si pensamos en la prioridad de cada criterio como un coeficiente de ponderación que refleje su importancia. La prioridad general de cada alternativa se obtiene sumando el producto de las prioridades de los criterios por los subcriterios por la prioridad de su alternativa de decisión.

Estos resultados dan la base para la toma de una decisión respecto a la selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en la localidad o pequeña comunidad que sea objetivo de estudio. Contribuyendo esto así a la selección de la tecnología más adecuada.

CONCLUSIONES

1. Las tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales están constituidas básicamente por sistemas naturales y algunos sistemas convencionales como los sistemas sépticos, el tanque Inhoff y otros aplicables a pequeñas comunidades.
2. Los sistemas naturales, se pueden combinar con elementos de los sistemas convencionales y generar trenes de tratamiento sostenibles viables para pequeñas comunidades.
3. Existe una gran variedad de métodos para la selección de sistemas de tratamiento, que van desde métodos simples basados en diagramas de flujo, hasta métodos más complejos basados en modelos matemáticos.
4. La mayoría de los métodos de selección utilizan variables relacionadas con criterios técnicos, ambientales, económicos y sociales.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar la investigación bibliográfica a los sistemas convencionales sostenibles, viables para pequeñas comunidades.
2. Conformar trenes de tratamiento combinando las tecnologías naturales con las convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación;** Lima, 2003. Especificaciones Técnicas para el diseño de Tanques Sépticos; Zanjias y Pozas de infiltración.
- Alfonso Caicedo; Joaquín Fonseca; Rodríguez, G,** 1997. Criterios para la selección de un Sistema de Tratamiento de Residuos y su Aplicación a la Vinaza de la Industria Alcohólica.
- Alvarado Granados, A; Camacho Calzada, K; Díaz Cuenca, E.** (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. Revista Quivera, Vol. 14, No.1. Universidad Autónoma de México. México
- Corzo Hernández, A; García Serrano, J.** (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial.
- Dueñas, Muriel, Giovanni,** 2018 .Guía para la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales por métodos naturales. Componentes y principales características.
- EPA Environmental Protection Washington, D.C.** (2000). Folleto informativo de sistemas descentralizados .Sistemas de tanque séptico para aplicaciones de alto caudal.
- Galvis, Bernal, y Cardona,** 2004. Modelo conceptual de selección de tecnologías para el control de contaminación por aguas residuales domésticas en localidades menores de 30 000 habitantes. SELTAR
- González Díaz, O.** 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal.
- Guerrero, J.** 2001 Modelo de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.
- Gutiérrez Díaz, J. y García Fernández, J.** (2015). Manual de Lagunas de Estabilización. INRH, La Habana. Cuba.
- Hidrotec.** 2016. Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas. Disponible en, (<https://www.hidrotec.com/>).
- Ingeniería hidráulica y ambiental,** vol xxx, No. 1, 2009. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba.
- INRH.** (2012). Política Nacional del Agua. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba.
- Mercado, A.** 2013. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental UMSS. Santa Cruz. Lagunas de estabilización.
- ONEI.** (2020). Anuario Estadístico de Cuba 2019. Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Edición 2020. Cuba. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu>.

- OPS/CEPIS/05.164 UNATSABAR**, Lima, 2005 .Especificaciones técnicas para la construcción de Tanque Sépticos, Tanque Imhoff y Lagunas de Estabilización.
- P.D.I.I Amílcar Muñoz Cruz**, 2008. Caracterización y Tratamiento de Aguas Residuales
- Red ALFA TECSPAR** .Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en www.tecspar.org.
- Rosales Escalante, E.** 2015 Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. Tecnología en Marcha. Vol. 18 N.º 2 Especial.
- Sáenz, R.** 1985: Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales. Manual DTIAPA N° C-14, CEPIS. Segunda edición.
- Sánchez Morales, R.** 2010. Procedimiento metodológico general para la evaluación del funcionamiento y el diseño de tecnologías naturales de tratamiento de aguas residuales. Santa Clara, Cuba.
- SENACYT.**2010 Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales. Universidad Técnica Particular de Loja .Ecuador.
- Yáñez, F.** 1986: Reducción de organismos patógenos y diseño de lagunas de estabilización en países en desarrollo. Trabajos presentados al seminario regional de investigación sobre lagunas de estabilización. CEPIS (Lima. Perú).