

**SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS “SETTARD”. CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE VILLANUEVA- SANTANDER,
QUEBRADA EL CARRIZAL.**

ERIKA FAVIOLA ALVARADO CABEZA

HELENA JULIETH GONZALEZ LEAL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS “SETTARD”. CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE VILLANUEVA- SANTANDER,
QUEBRADA EL CARRIZAL.**

ERIKA FAVIOLA ALVARADO CABEZA

HELENA JULIETH GONZALEZ LEAL

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIEROS CIVILES

Director

EDGAR RICARDO OVIEDO

Ingeniero Sanitario, MSc, Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a nuestro Director de Proyecto, el profesor Edgar Ricardo Oviedo por la paciencia, dedicación y conocimiento brindado durante el desarrollo de nuestro Proyecto de Grado.

Al municipio de Villanueva-Santander por darnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de grado junto a todo su equipo de trabajo.

Al conjunto de profesores que hicieron parte de todo el proceso de formación académica y personal.

A nuestros familiares y amigos por brindarnos su amistad y su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

| | PAG. |
|--|------|
| INTRODUCCION | 14 |
| 1. DESCRIPCION DE LA LOCALIDAD OBJETO DE ESTUDIO | 15 |
| 2. METODOLOGÍA | 17 |
| 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA LOCALIDAD | 17 |
| 2.2. TECNOLOGÍAS APLICABLES Y HERRAMIENTA DE SELECCIÓN | 17 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 18 |
| 3.1. CARACTERIZACIÓN DE CONDICIONES LOCALES | 18 |
| 3.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES | 18 |
| 3.3. ETAPAS DE TRATAMIENTO | 20 |
| 3.4. OFERTA TECNOLÓGICA | 20 |
| 3.5. TECNOLOGÍAS CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN | 22 |
| 3.5.1. Tanque séptico | 23 |
| 3.5.2. Biodiscos | 23 |
| 3.5.3. Lagunas de estabilización | 23 |
| 3.5.4. Filtro percolador | 24 |
| 3.5.5. Reactor UASB | 25 |
| 3.5.6. Humedales | 25 |
| 3.6. TRENES DE TRATAMIENTO | 27 |
| 3.7. CRITERIOS DE SELECCIÓN | 28 |

| | | |
|--------|------------------------------|----|
| 3.8 | HERRAMIENTA DE SELECCIÓN | 30 |
| 3.8.1. | Diagrama de flujo | 30 |
| 3.8.2. | Matriz de criterios | 31 |
| 3.9. | Aplicación de la herramienta | 32 |
| 4. | CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES | 34 |
| | CITAS BIBLIOGRAFICAS | 35 |
| | BIBLIOGRAFIA | 37 |
| | ANEXOS | 38 |

LISTAS DE FIGURAS

| | PAG |
|---|-----|
| Figura 1. Localización del municipio de Villanueva- Santander | 15 |
| Figura 2. Tecnologías con mayor potencial de aplicación para comunidades pequeñas | 22 |
| Figura 3. Diagrama de flujo | 30 |
| Figura 4. Rejilla y desarenador para la etapa preliminar | 42 |

LISTA DE TABLAS

| | PAG. |
|---|------|
| Tabla 1. Características del agua residual domestica | 20 |
| Tabla 2. Unidades de tratamiento para aguas residuales | 21 |
| Tabla 3. Ventajas y desventajas de las tecnologías aplicables | 26 |
| Tabla 4. Matriz de resultados | 31 |
| Tabla 5. Criterios de calificación de los trenes | 32 |

LISTA DE ANEXOS

| | PAG | |
|---------|---|----|
| Anexo A | Consulta a expertos | 38 |
| Anexo B | Calculo del caudal de diseño para la planta de tratamiento | 39 |
| Anexo C | Etapas de tratamiento | 41 |
| Anexo D | Cálculo del área requerida para cada una de las tecnologías seleccionadas | 43 |

RESUMEN

TITULO: SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS “SETTARD”. CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE VILLANUEVA- SANTANDER, QUEBRADA EL CARRIZAL.*

AUTORES: ERIKA FAVIOLA ALVARADO CABEZA

HELENA JULIETH GONZALEZ LEAL **

PALABRAS CLAVE: tratamiento de aguas residuales domésticas, selección de tecnología, trenes de tratamiento.

DESCRIPCIÓN:

La descarga de aguas residuales domésticas (ARD) sobre fuentes hídricas adyacentes es una de las problemáticas que viven actualmente los municipios de Santander, la baja cobertura de plantas de tratamiento y la inadecuada selección de tecnología contribuye sustancialmente a dicha problemática. El presente proyecto plantea la selección de tecnología para una planta de tratamiento de ARD en el municipio de Villanueva- Santander. Para tal fin se consideraron aspectos tales como la caracterización de las condiciones locales en la que se exponen parámetros referentes a cobertura de servicios y características de las ARD, la identificación de las tecnologías con mayor potencial de aplicabilidad mediante la revisión de literatura existente, el criterio de expertos y la observación de dichas tecnologías en plantas de tratamiento de ARD y la formulación de una herramienta conformada por un diagrama de flujo que muestra los pasos a considerar en la selección y matrices multi-criterio que contempla las variables e indicadores necesarios en el momento de hacer la selección.

Partiendo de las tecnologías que mejor se ajustan a la localidad se propuso cuatro (4) trenes de tratamiento conformados por las etapas preliminar, primaria y secundaria. En la etapa preliminar se encuentran las rejillas y desarenador, en la primaria el Reactor UASB y la laguna anaerobia y por último en la etapa secundaria se hallan lagunas facultativas y humedales sub-superficiales. Dichos trenes fueron calificados mediante la herramienta de selección que permitió considerar el tren conformado por el tratamiento preliminar, el reactor UASB y el Humedal SFS como el más indicado para la localidad objeto de estudio.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director Edgar Ricardo Oviedo.

ABSTRACT

TITULO: Selection of technologies for the treatment of domestic wastewater "SETTARD".
Case study: Villanueva, Santander, the carrizal ravine.*

AUTORES: ERIKA FAVIOLA ALVARADO CABEZA

HELENA JULIETH GONZALEZ LEAL **

KEYWORDS: treatment of domestic wastewater, selection of technology, treatment trains.

DESCRIPTION:

The discharge of domestic wastewater (DDW) on adjacent water sources is currently one of the problems experienced by the towns in Santander, the low coverage of treatment plants and the improper choice of technology contribute substantially to this problem. This project sets out the selection of technology for a DDW treatment plant at Villanueva, Santander. For this, some aspects such as the characterization of the local conditions in which parameters concerning to service coverage and features of the DDW are set, the identification of the most promising technologies for applicability by reviewing existing literature, the opinion of the experts and the observation of these technologies in treatment plants DDW and the formulation of a support tool constituted by a flowchart showing the steps to consider in the selection and some multi-criteria matrixes that includes the variables and indicators needed at the time of selection.

Based on the best fitted technologies for each town, were proposed four (4) treatment trains formed by the next stages: preliminary, primary and secondary. At the preliminary stage are located the mesh strainer and the desander, at the primary one the UASB reactor, and finally in the secondary stage are located some facultative ponds and subsurface wetlands. These trains were rated using the selection tool that allowed us to consider the flowchart constituted by the preliminary treatment, the UASB reactor and Wetland SFS as the most suitable for the town under study.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director Edgar Ricardo Oviedo.

INTRODUCCION

Actualmente uno de los problemas a nivel mundial es la producción de aguas residuales domésticas e industriales a causa de las actividades humanas. Las descargas de aguas residuales en la mayoría de los casos se hacen en la corriente de agua más cercana, alterando su composición y contaminándola, de manera que si éstas no son tratadas podrían no reunir las condiciones necesarias para sus diversos usos (consumo, riego agrícola, recreativo, navegabilidad). El crecimiento poblacional, los procesos erosivos del suelo, el desarrollo industrial, las entidades estatales y privadas que omiten políticas de saneamiento y la falta de cultura ambiental, son algunos de los factores más contribuyentes a dicha contaminación.

Uno de los elementos fundamentales para tener una adecuada protección de las fuentes hídricas es contar con tecnologías que realicen un tratamiento efectivo al agua residual. Pero esta idea debe estar articulada con los recursos económicos y humanos necesarios para que la planta de tratamiento funcione adecuadamente.

El municipio de Villanueva caso de estudio, no es ajeno a la problemática de contaminación en ríos y quebradas que se vive en Colombia. La falta de una legislación ambiental rigurosa hace que cada día empeore la situación y se atente contra la salud pública y el medio ambiente. Los sistemas de tratamiento con que cuentan las empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado, en las grandes ciudades (Bogotá, Medellín, Cali), permiten tratar sólo el 32% de las aguas residuales que se vierten a los cuerpos hídricos. En algunas ciudades de Colombia como Barranquilla, Bucaramanga e Ibagué los porcentajes de tratamiento de agua residual son alarmantes 17%, 26% y 11% respectivamente, en tanto que ciudades con rangos poblacionales entre 110.000 y 850.000 habitantes, no presentan ningún tipo de tratamiento. (SSPD, 2006).

Para el caso de estudio, el municipio no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) y éstas, son vertidas en las quebradas Las Burras y El Carrizal. Surge entonces la necesidad de analizar las tecnologías de tratamiento con mayor potencial de aplicación y las condiciones locales que presenta la comunidad, con el fin de desarrollar el proceso de elección del tren de tratamiento, acorde con las necesidades de la población. El estudio se llevó a cabo considerando una población de 4006 habitantes en la cabecera municipal y con un caudal de diseño para la (PTARD) de 13,6 L/s.

1. DESCRIPCION DE LA LOCALIDAD OBJETO DE ESTUDIO

El municipio de Villanueva Santander está ubicado en el sector nororiental del país, Provincia de Guantán, presenta un área de 99,78 Km² y se encuentra a una distancia de 115 Km de Bucaramanga, capital del departamento (Agustín Codazzi, 2012). La Figura 1 muestra la ubicación geográfica del municipio de Villanueva y los municipios adyacentes.

Figura 1. Localización del municipio de Villanueva-Santander.



Fuente: Secretaria de Planeación Departamental, 2014

Tiene una población de 4.006 habitantes en la cabecera municipal (Secretaria de salud municipal, 2009). Está situado a una altura de 1.450 msnm, la temperatura promedio es de 22°C y su territorio se distribuye en los pisos térmicos medio y templado. La localidad presenta dos épocas de lluvia al año, la primera en los meses de Abril y Mayo, la segunda en Octubre y Noviembre; de igual manera los periodos de sequía corresponden a los meses Diciembre, Enero, Julio y Agosto. Su zona urbana presenta una precipitación media que oscila entre 850 a 1.150 mm/año (Plan Maestro de Alcantarillado, 2010).

La subregión se ubica en la mesa de Barichara, separada por el cañón de los ríos Chicamocha y Suárez, tiene características de paisajes semidesérticos y erosionados, con pendientes disectadas, clima seco y cálido, razón por la cual en su totalidad debe ser objeto de protección ambiental (Alcaldía de Villanueva, 2013).

El municipio tiene una vocación agro-ecoturística, aunque la mayor fuerza económica del Municipio está representada en los ingresos provenientes de las actividades agrícolas

(cultivos de frijol, tabaco, yuca y maíz) y ganaderas con un 58,30% y el tejido artesanal de empaque de fique con un 18,84% (EOT Villanueva, 2000).

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterización de la localidad

Se revisó la información suministrada por la oficina de Planeación Municipal relacionada con el manejo de aguas residuales (Plan maestro de alcantarillado Villanueva, 2010). Se realizó una entrevista semiestructurada a la asesora de la Secretaria de Planeación Municipal sobre temas como la causa de muerte de sus habitantes, el potencial económico del municipio, generación de empleo, manejo de residuos sólidos, información acerca del sistema de alcantarillado y servicio de agua potable. Además se obtuvo información por medio de las consultas realizadas a través de la página web oficial del municipio. Se realizó una visita de campo con el fin de observar el área destinada para la instalación de una PTARD e identificar la problemática de contaminación en las fuentes hídricas.

2.2 Tecnologías aplicables y herramienta de selección

Se indagaron referencias bibliográficas acerca de la selección de tecnología para el tratamiento de ARD; al igual se consultó expertos la calificación de los indicadores de ciertas tecnologías que sirvieron de guía para tener un referente sobre los proceso de depuración (ver anexo 1). Se caracterizaron las tecnologías, identificando aspectos como: i) porcentaje de remoción de DBO5, ii) área necesaria para el tratamiento, iii) requerimiento de operación y mantenimiento (O&M) iv) impacto ambiental y v) costos. Se consideraron las ventajas y desventajas de cada método de tratamiento, con el fin de identificar entre todas las tecnologías, las de mayor potencial de aplicación en el caso de estudio.

Posteriormente se conformaron trenes de tratamiento con las tecnologías de mayor aplicación. Para la elección de los trenes de tratamiento se hizo un listado de tecnologías factibles como las no convencionales (humedales, lagunas y zanjas filtrantes) y aquellas que presentan características intermedias entre tecnologías convencionales y no convencionales (lechos bacterianos y contactores biológicos rotativos), seleccionando las más apropiadas según las características particulares de la localidad. Para ello se analizaron los atributos (ventajas y desventajas) de cada método de tratamiento en contraste con las condiciones locales y el deseo de la comunidad.

Para la realización de la herramienta de selección se elaboró un diagrama de flujo en función de criterios que sirven para efectuar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, con el fin de llegar a la elección más conveniente para la localidad, dependiendo de sus condiciones particulares. Para ello se estudiaron aspectos tales como la población en la cabecera municipal, existencia de sistema de alcantarillado, área necesaria para las tecnologías de tratamiento y la carga orgánica (C.O) que se puede reducir según cada tren de tratamiento (Plan Maestro de Alcantarillado, 2010). Para cada cuadro de decisión del diagrama de flujo, se emplearon matrices con criterio de selección, asignando una calificación a cada una de las variables de la matriz. Con el puntaje respectivo, se obtiene una matriz de decisión final, en donde la más alta puntuación estableció la opción tecnológica viable para el municipio de Villanueva. Además se calculó la C.O para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental (Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984). En la construcción de esta herramienta se empleó el documento Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de AR (Castillo, Achupallas, González, Jaramillo, y Carrión 2010). Siendo elemento fundamental en la orientación de los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de elegir las tecnologías más adecuadas para el tratamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización condiciones locales

El sistema de alcantarillado del Municipio de Villanueva, tiene una cobertura del 90% en el área urbana. Su estado actual es deficiente y presenta problemas recurrentes como acumulación de sedimentos, hundimientos parciales, fisuras tanto en las redes internas como en el emisario final. La disposición final de las aguas residuales es dirigida a la Quebrada El Carrizal por medio de un (1) emisario.

El vertimiento de las aguas residuales se hace sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos de agua natural. Para la Quebrada El Carrizal, se tiene en cuenta como caudal de diseño para la PTARD, un valor de 13,6 L/s.

3.2 Caracterización de las aguas residuales

El pH del vertimiento presentó una variación que se encuentra entre 5,6 y 6,5 unidades. De acuerdo con el Plan Maestro de Alcantarillado (2010), la información de la composición de las aguas residuales del municipio, presenta características típicas de un agua residual doméstica de concentración media (Metcalf & Eddy, 1995). La Tabla 1 registra los resultados obtenidos en el laboratorio sobre la composición del agua residual (muestra 1 y 2).

Tabla 1. *Características del agua residual doméstica*

| PARÁMETRO | UNIDADES | RESULTADOS | | |
|-----------------------|------------------------|------------|-----------|----------------|
| | | Muestra 1 | Muestra 2 | Metcalf & Eddy |
| Ph | Unidades | 5,96 | 5,94 | - |
| Sólidos Sedimentables | mL/L | 13 | 11 | 10 |
| Sólidos Suspendidos | mg SST/L | 120 | 96 | 220 |
| DBO5 | mg O ₂ /L | 235 | 223 | 220 |
| DQO | mg O ₂ /L | 427 | - | 500 |
| Nitritos | mg/L NO ₂ | 0,9 | 0,84 | 0 |
| Alcalinidad | mg/L CaCO ₃ | 122 | 122 | 100 |
| Fosfatos | mg/L PO ₄ | 11,75 | 11,75 | 8 |
| Cloruros | mg/L Cl | 125 | 120 | 50 |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | 70 | 70 | - |

Fuente: *Delgado, 2010.*

3.3 Etapas de tratamiento

Las ARD se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento dependiendo del grado de purificación que se requiere. Normalmente, en el rango de poblaciones del contexto de estudio, se emplean las etapas de tratamiento preliminar, primario y secundario. El nivel de tratamiento está sujeto entre otros aspectos al presupuesto disponible para la planta de tratamiento (ver anexo 3).

3.4 Oferta tecnológica

La Tabla 2 caracteriza los procesos unitarios de depuración del ARD en las diferentes etapas de tratamiento.

TABLA 2. Unidades de tratamiento para aguas residuales*

| CLASIFICACION | UNIDAD DE TRATAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
|--|--|---|
| Tratamiento preliminar o pre-tratamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Rejillas (fina/gruesa) • Trampa de grasas • Desarenador | En esta etapa se remueven del AR los materiales gruesos, que podrían causar daños u obstrucciones en el sistema o en los equipos de tratamiento. |
| Tratamiento primario | <ul style="list-style-type: none"> • Tanque séptico • Sedimentador I • Tanque Imhoff • Laguna anaerobia | El objetivo es remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación. |
| Tratamiento secundario | <ul style="list-style-type: none"> • Reactor UASB¹ • Filtro percolador • Biodiscos • Lodos activados • Zanjón de oxidación • Lagunas de facultativa • Humedales | La finalidad es remover material orgánico y en suspensión. Se utilizan procesos biológicos, a cargo de los microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual define dos grandes grupos, los aerobios y los anaerobios. |
| Tratamiento terciario | <ul style="list-style-type: none"> • Coagulación – floculación • Nitrificación – desnitrificación • Precipitación con cal • Filtros. Medios granulares • Micro cribado • lagunas de maduración | Se pretende alcanzar una calidad aceptable para cuerpos de agua receptores o de acuerdo al reuso del agua. Normalmente se trata de remover nutrientes (Nitrógeno y fósforo) del agua, ya que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas. |

(*) El Reactor UASB también puede ser utilizado para realizar tratamiento primario

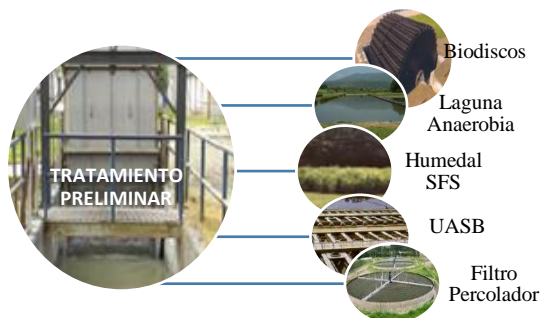
| | | |
|----------------------|---|--|
| Desinfección | <ul style="list-style-type: none"> • Físicos: Filtración y rayos ultravioleta • Químicos: Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc. | Se pretende remover patógenos del agua residual, para mejorar la calidad de efluente. |
| Tratamiento de lodos | <ul style="list-style-type: none"> • Digestión anaerobia • Tratamiento con cal • Compostaje • Lechos de secado | Es el tratamiento de la porción sólida removida del agua residual. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo como una combinación de tiempo y temperatura para eliminar los microorganismos patógenos. |

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

3.5 Tecnologías con mayor potencial de aplicación para el caso de estudio.

La Figura 2 representa las tecnologías con mayor potencial de aplicación para sistemas de tratamiento de AR.

Figura 2. Tecnologías con mayor potencia de aplicación para pequeñas comunidades.



Fuente: URL-1, URL-2, URL-3, URL-4 y URL-5

A continuación se observan las tecnologías de aplicación para las etapas de tratamiento I, II, III. El análisis para la selección se basa en primera instancia en sistemas de tratamiento aplicables a comunidades pequeñas que tengan funciones de operación y mantenimiento (O&M) sencillas y que se ajusten a las condiciones locales del municipio.

3.5.1 Tanque séptico: El tanque séptico es un reactor anaerobio (opera en ausencia de oxígeno) que tiene por objeto tratar el agua residual proveniente de los hogares en forma económica. Contiene una cámara cerrada que sirve para facilitar la separación y digestión de lodos empleando los microorganismos presentes en el agua residual. Uno de los principales objetivos del diseño del tanque séptico es crear dentro de éste, una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. El material sedimentado reposa en el fondo del tanque formando una capa de lodo, que debe extraerse periódicamente (Ayala, 2008).

La materia orgánica presente en el manto de lodos es descompuesta por bacterias anaerobias y una parte de ella se transforma en gases (CH₄ y CO₂). Las burbujas de gas causan una flotación de lodos la cual perturba el proceso de sedimentación (García, 2014).

3.5.2 Biodiscos: Son estructuras utilizadas en la depuración de agua residual (AR), que consta de una serie de discos construidos con un medio filtrante (sintético), situado alrededor de un eje formando un cilindro que se sumerge parcialmente en un tanque de concreto de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1995).

Debido a la rotación de los discos, de forma alterna una parte se encuentra en contacto con el líquido que proporciona nutrientes y carbono orgánico para el crecimiento y reproducción celular y con el aire que le proporciona oxígeno a la biopelícula adherida en los discos (Microorganismos fijos). De esta manera se logra la oxidación biológica aerobia de la materia orgánica. Mediante la cual el metabolismo microbiano logra reducir el contenido de materia orgánica y nitrogenada del agua residual (Metcalf & Eddy, 1995).

3.5.3 Lagunas de estabilización. Las lagunas de estabilización presentan una estructura simple para embalsar el AR, son construidas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas). El funcionamiento del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales, realizando una descomposición biológica natural. Normalmente se diseña el proceso para la remoción de patógenos, DBO₅ y sólidos suspendidos. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (1 a 5m) y tiene periodos de retención relativamente grandes, por lo general varios días (depende del tipo de laguna). Las AR se descargan en la laguna de estabilización, en donde ocurre un proceso de autodepuración o estabilización natural (Ayala, 2008).

Existen varios tipos de lagunas que se diferencian según las condiciones (presencia o ausencia de oxígeno) en que se encuentren los microorganismos, pueden ser:

- Laguna Anaerobia: Debido a la alta carga orgánica que soportan, se presentan condiciones de ausencia de oxígeno, por lo que los microorganismos que en ellas abundan son bacterias anaerobias. su profundidad oscila entre los 3 y 5 m.
- Laguna Facultativa: Se caracterizan por presentar tres estratos claramente diferenciados: uno inferior anaerobio, el superior aerobio, y uno intermedio en el que se dan unas condiciones muy variables y en el que predominan bacterias de tipo facultativo, que son las que dan nombre a este tipo de lagunas. Su profundidad suele oscilar entre 1,5 y 2 m.
- Laguna de Maduración: Al soportar bajas cargas orgánicas y darse en ellas condiciones propicias para la penetración de la radiación solar y medios adecuados para el desarrollo de algas, predominan las condiciones aerobias de oxígeno por lo tanto habitan microorganismo aerobios. Su profundidad suele estar entre 0,8y1m.

3.5.4 Filtro percolador: Para este tipo de tecnología se requiere de una capa granular que permita el goteo del AR por el lecho y el paso del oxígeno que será consumido por la biomasa adherida al material. Es importante tener presente la carga hidráulica superficial ya que es la encargada de efectuar un esfuerzo cortante que evite la acumulación de materia orgánica que obstruya los vacíos de la capa y debe ser suficiente para evitar que se generen moscas (García, 2014).

Las AR se distribuyen sobre el lecho que puede estar constituido de roca o plástico, fluye por esta capa gracias a la gravedad. Se requiere de un tanque construido en concreto reforzado y un brazo rotatorio para distribuir el ARD sobre el filtro. El tratamiento se presenta en una capa de microorganismos que se forma en la superficie adherida al material filtrante y que consumen las partículas orgánicas y las degrada de forma aerobia. Para los filtros percoladores la eficiencia mejora a medida que se aumenta la recirculación al igual que la aireación del sistema pero esto significa un mayor consumo de energía (García, 2014).

3.5.5 Reactor UASB: La operación de los reactores UASB se basa en la actividad de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica, formando un lodo biológico en el reactor. Dichos grupos de microorganismos establecen entre si relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el tratamiento aeróbico es la producción de gas metano como fuente de energía y la baja producción de lodo biológico. Además el UASB reemplaza el sedimentar primario y puede lograr eficiencias de remoción de DBO5 del orden de 70%, el tiempo de retención hidráulico está relacionado con la velocidad del proceso de digestión anaerobio, pero esto depende del tamaño del reactor. Su gran ventaja consiste en que no requiere algún material de soporte para retener la biomasa lo que implica un ahorro importante, es una opción tecnología aplicable para sistemas de tratamiento en zonas rurales (García, 2014). Para ARD la carga hidráulica y la carga orgánica son parámetros importantes en la determinación del tamaño y forma del reactor UASB (Van Haandel y Lettinga, 1994).

3.5.6 Humedales: Son tratamientos naturales que en presencia de plantas flotantes, plantas fijas y microorganismos, forman un ecosistema que ayuda a remover la carga orgánica. Existen dos tipos de humedales sistemas a flujo libre (FWS) y sistemas de flujo subsuperficial (SFS), siendo este último el más indicado ya que no produce una alta tasa de mosquitos que pueden ocasionar problemas a la población civil (García, 2014).

La Tabla 3 muestra algunas ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento para aguas residuales domésticas con el fin de facilitar la selección de tecnologías aplicables.

TABLA 3. Ventajas y desventajas de las tecnologías aplicables

| PROCESOS DE TRATAMIENTO | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-----------------------------------|--|---|
| Tanque Séptico | <ul style="list-style-type: none"> • Apropiado para zonas rurales. • Bajos costos de construcción y operación. • Fácil O&M si se cuenta con estructura de remoción de lodos. | <ul style="list-style-type: none"> • Baja remoción de materia orgánica disuelta, requiere de filtro anaerobio. • No elimina patógenos requiere de tecnologías complementarias. |
| Humedales de Flujo Subsuperficial | <ul style="list-style-type: none"> • Menos olores en relación con humedales a flujo libre y lagunas. • Remoción de fósforo, nitrógeno y metales pesados. • No algas en efluente. • Bajo costo de O&M. | <ul style="list-style-type: none"> • Operación eficiente hasta que se desarrolle la vegetación. • Necesidad de mayores áreas de terreno. |
| Reactor UASB | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de nutrientes. • Soporta altas cargas orgánicas. • Bajo requerimiento de energía. • Lodos se conservan (sin alimento) por largos períodos de tiempo. • Aplicable a pequeña y gran escala. • Baja producción de lodos (10% en relación al tratamiento aerobio). | <ul style="list-style-type: none"> • Muchos compuestos inhiben su crecimiento (alto % de sulfato). • Posible generación de malos olores debido al H₂S. • El arranque del proceso es lento. • Requiere de chimeneas para quemar el biogás, sino se emplea como fuente de energía. • Baja remoción de Nitrógeno, Fósforo y Patógenos. |
| Filtro percolador | <ul style="list-style-type: none"> • Baja producción de lodos • No requiere suministro de oxígeno • Bajos requerimientos de área y costos de construcción. • Facilidad de mantenimiento • Costos de operación y mantenimiento bajos. | <ul style="list-style-type: none"> • Remueve menos DBO que el sistema de lodos activados. • Puede producir olores. • Posible producción de moscas e incrementos del espesor de la biomasa. • Requiere de sed. I y II. |
| Biodiscos | <ul style="list-style-type: none"> • Mayor contenido de sólidos suspendidos del licor mezcla. • Se logra nitrificación estable. | <ul style="list-style-type: none"> • Sensibles a cambios de temperatura • Posible crecimiento de algas. • Acumulación de sólidos en discos. |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Rápido arranque después de paradas del sist. o cambios de carga orgánica. • Lodos de buena sedimentabilidad. • Remueve altas concentraciones DBO₅ | <ul style="list-style-type: none"> • El agua a tratar debe poseer un mínimo de oxígeno disuelto antes de entrar al biodisco. • Puede requerir cubierta por posible generación de gases. |

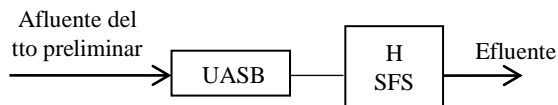
| Tabla 3. Continuación | | |
|---------------------------|--|---|
| Lagunas de estabilización | <ul style="list-style-type: none"> • Soporta sobre cargas hidráulicas. • Tratamiento eficaz en la remoción de bacterias, virus y parásitos. • Mantenimiento sencillo. • No requiere personal calificado. • No requiere de sistema de aireación. | <ul style="list-style-type: none"> • Posible generación de malos olores debido al H₂S. • Necesidad de mayores áreas de terreno. • Deben operar en serie mínimo dos lagunas. • Procesos sensibles a factores ambientales como temperatura y pH. |

Fuente: *Metcalf & Eddy (1995)*.

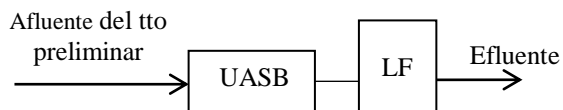
3.6 Trenes de tratamiento

A continuación se muestran los trenes de tratamiento posibles para la depuración del ARD en el municipio de Villanueva.

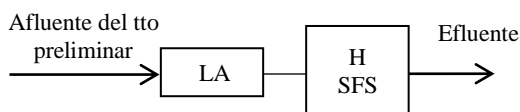
a) Tratamiento Preliminar + Reactor UASB + Humedal SFS



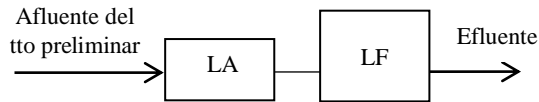
b) Tratamiento Preliminar + Reactor UASB + Laguna Facultativa



c) Tratamiento Preliminar + Laguna Anaerobia + Humedal SFS



d) Tratamiento Preliminar + Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa



Fuente: *Propia*

3.7 Criterios de selección

Es importante tener presente las diferentes variables que pueden afectar la elección de un sistema de tratamiento.

- a) **Servicio de Agua Potable:** para la selección de las tecnologías de tratamiento se debe tener en cuenta si la población cuenta con servicio de agua potable, ya que en caso contrario, la prioridad sería construir este sistema y posteriormente una PTARD. En el diagrama de flujo se muestra la necesidad de cobertura de servicio de agua potable para poder continuar con el proceso de selección. Para el caso de estudio se cuenta con sistema de agua potable en la cabecera municipal.
- b) **Existencia de Red de Alcantarillado:** El sistema de alcantarillado es fundamental para la recolección de agua residual proveniente de los hogares, permitiendo llevar a un punto de descarga las aguas servidas donde puedan ser depuradas. La no existencia de la red de alcantarillado podría limitar el uso de algunas tecnologías debido al grado de complejidad del sistema de tratamiento. Para facilitar el proceso de depuración del agua residual doméstica, se recomienda la existencia de alcantarillado separado, en el caso de estudio, se cumple la condición presente en el diagrama de flujo.
- c) **Población:** La población es uno de los factores que delimitan la selección de tecnologías de depuración del agua residual ya que no todas son adecuadas para pequeñas comunidades. Para el caso de estudio se tiene una población proyectada hasta el año 2035 de 7000 habitantes (Plan maestro de alcantarillado, 2010).
- d) **Área Requerida:** El cálculo de las tecnologías que conforman los trenes de tratamiento seleccionados, es una variable fundamental a considerar en algunos casos ya que incrementa considerablemente los costos iniciales debido a la compra de lotes para la construcción de la PTARD (Ver anexo 4).

- e) **Porcentaje de remoción:** La tabla xx muestra la cantidad de remoción de carga orgánica que alcanza cada tren de tratamiento, permitiendo establecer la eficiencia de la planta depuradora y cumplir con la normativa para el vertimiento al cauce natural o según el reúso que tenga el efluente.

- f) **Impacto ambiental:** La construcción de una planta de tratamiento demanda un estudio del impacto ambiental que afectan factores tales como el agua, el aire, el suelo, etc. La descontaminación del agua por métodos naturales, puede producir efectos o impactos indeseables sobre el suelo, que deben ser analizados y mitigados de ser necesario. La generación de olores puede ocasionar efectos sobre la salud humana como irritación en las fosas nasales debido a los gases que se generan, producto de la degradación de la materia orgánica.

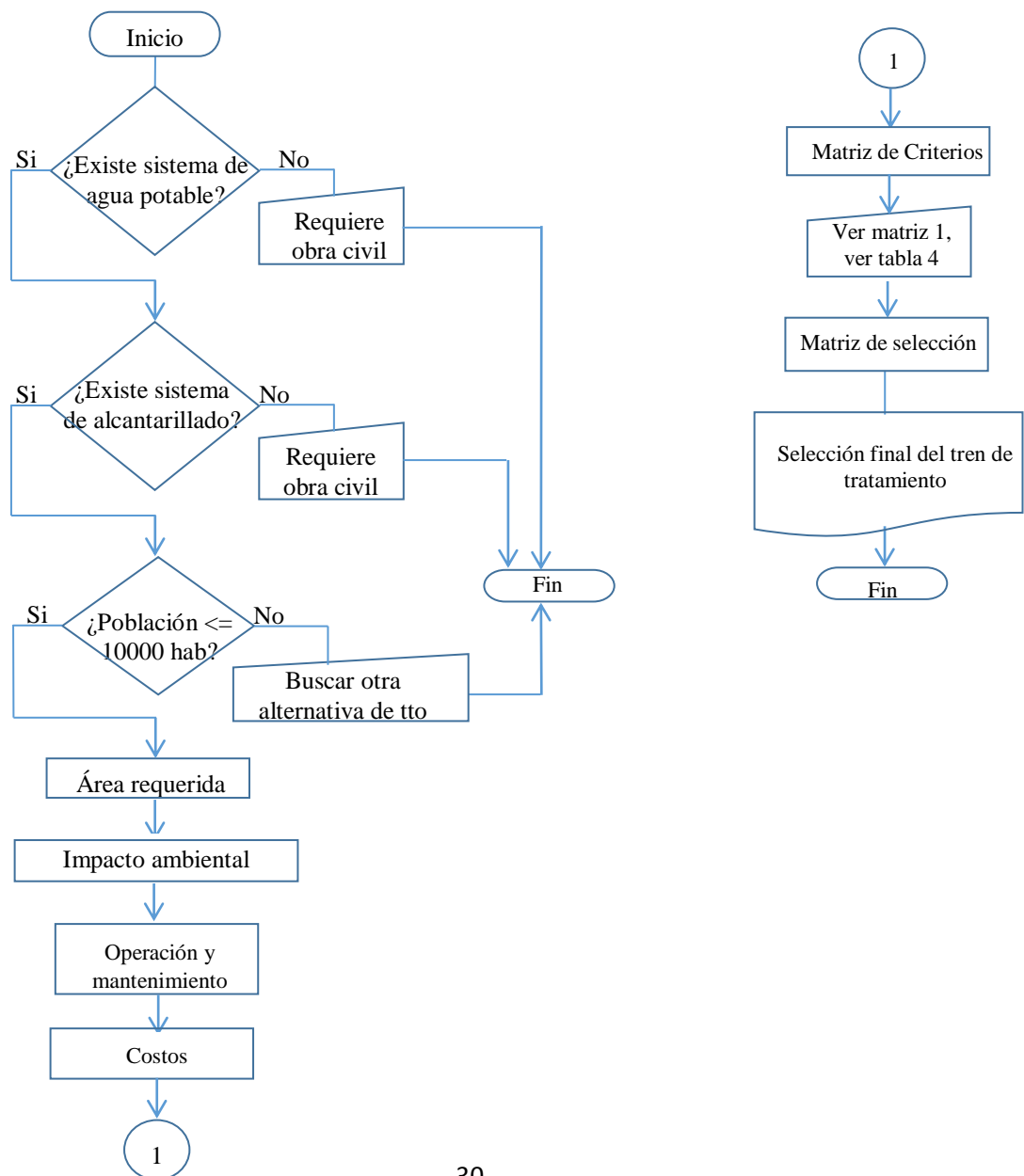
- g) **Operación y Mantenimiento:** La evaluación de los criterios relacionados con el funcionamiento de la planta son de gran importancia para garantizar que cumpla con el tiempo de vida útil para la cual fue diseñada y que opere en condiciones óptimas (Castillo et al., 2010).

- h) **Costos:** Los costos de O&M dependen de variables como el tipo de tratamiento, tamaño, necesidad de personal, frecuencia de mantenimiento, necesidad de sustancias químicas y del programa de capacitación. Los costos de construcción establecen los gastos de la misma y puesta en marcha de la planta de tratamiento, incluye mano de obra, equipo menor y transporte (Castillo et al., 2010).

3.8 Herramienta de selección

3.8.1 Diagrama de flujo: En la figura 3 se presenta el diagrama de flujo como una herramienta útil que sirve de orientación para la selección de tratamiento de aguas residuales domésticas, mostrando secuencialmente el análisis que se debe seguir, respaldada por las matrices de selección.

Figura 3. Diagrama de flujo.



3.8.2 Matriz de criterios

La matriz 1 muestra el valor cualitativo de los criterios identificados para la selección, tales como; el área requerida de cada tecnología, el impacto ambiental, la complejidad del proceso dependiendo de su factibilidad de O&M y los costos de construcción y operación.

La Tabla 5 registra la ponderación que se le puede asignar a cada variable de las tecnologías del tren de tratamiento, con una valoración de 1 a 5 respectivamente justificando su calificación.

Tabla 4. *Matriz de resultados*

| | CRITERIOS | VARIABLES | TECNOLOGIAS | | | |
|----|---------------------------|--------------------------------|-------------|---------|---------|---------|
| | | | UASB | LAN | LF | H |
| 1 | AREA REQUERIDA | Unidad [m ²] | 94 | 230.112 | 110.452 | 163.404 |
| 2 | IMPACTO AMBIENTAL | Suelo | B | B | B | M |
| 3 | | Gen. de Olores | M | A | MA | B |
| 4 | | Ruido | B | B | B | B |
| 5 | | Prolif. de mosquitos | B | A | A | B |
| 6 | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | Funcionamiento | C | S | S | C |
| 7 | | Capacitación del personal | C | S | S | S |
| 8 | | Tiempo de control | N | N | N | S |
| 9 | COSTOS | Costos de construcción USD/hab | 30 | 30 | 30 | 46.5 |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | Costos de operación USD/hab | 1.5 | 0.3 | 0.3 | 3 |
| 12 | | | | | | |

A: Alto, M: Medio, MA: Medio Alto, B: Bajo, C: Complejo, N: Normal, S: Simple,

Tabla 5. Criterios de calificación de los trenes

| CRITERIOS | VARIABLES | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------------|---------------------------|--------------|--------------------|------------|-----------|
| | | 5 | 3 | 2 | 1 |
| Área Requerida | Unidad [m ²] | $x \leq 100$ | $100 < x \leq 180$ | - | $x > 180$ |
| Impacto ambiental | Suelo | Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |
| | Gen. De olores | | | | |
| | Ruido | | | | |
| | Prolif. De mosquitos | | | | |
| O&M | Funcionamiento | Simple | Normal | - | Complejo |
| | Capacitación del personal | | | | |
| | Tiempo de control | | | | |
| Costos | Costo de construcción | $x \leq 20$ | $20 < x \leq 30$ | - | $x > 30$ |
| | Costo de operación | $x \leq 2$ | $2 < x \leq 3$ | - | $x > 3$ |

3.9 Aplicación de la herramienta

A continuación se hace la aplicación de la herramienta para la localidad de Villanueva-Santander y se obtiene el tren de tratamiento.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la matriz de calificación se seleccionan las tecnologías con mayor puntaje y se procede a construir los trenes de tratamiento que satisfagan las necesidades de la comunidad y finalmente se selecciona el tren de tratamiento que suministra la menor carga orgánica al efluente.

El tren de tratamiento recomendado es: Tratamiento preliminar + Reactor UASB+ Humedal SFS, obtuvo una calificación de 72 puntos y arroja 21,807 Kg*DBO5/día al efluente.

| CRITERIOS | VARIABLES | TECNOLOGÍAS | | | |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|----|---|
| | | UASB | LAN | LF | H |
| Área requerida | m2 | 5 | 1 | 3 | 3 |
| Impacto ambiental | Suelo | 5 | 5 | 5 | 3 |
| | Gen. De olores | 3 | 1 | 2 | 5 |
| | Ruido | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Prolif. De mosquitos | 5 | 1 | 1 | 5 |

| Continuación aplicación | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Operación y mantenimiento | Funcionamiento | 1 | 5 | 5 | 1 |
| | Capacitación del personal | 1 | 5 | 5 | 5 |
| | Tiempo de control | 3 | 3 | 3 | 5 |
| Costos | Costo de construcción | 3 | 3 | 3 | 1 |
| | Costo de operación | 5 | 5 | 5 | 3 |
| | Calificación total | 36 | 34 | 27 | 36 |

| Tren de tto | Puntuación |
|-------------|------------|
| UASB+ H SFS | 72 |
| UASB+ LF | 63 |
| LAN+ H SFS | 70 |
| LAN+ LF | 61 |

| Tren de tratamiento | C.O entrada Kg*DBO ₅ /día | C.O removida tto primario Kg*DBO ₅ /día | C.O Salida de tto primario Kg*DBO ₅ /día | C.O removido tto secundario Kg*DBO ₅ /día | C.O salida a efluente Kg*DBO ₅ /día |
|---------------------|---|---|--|--|--|
| P+UASB+HSFS | 363.45 | 254.42 | 109.04 | 87.23 | 21.81 |
| P+UASB+LF | 363.45 | 254.42 | 109.04 | 87.23 | 21.81 |
| P+LAN+HSFS | 363.45 | 218.07 | 145.38 | 116.30 | 29.08 |
| P+LAN+LF | 363.45 | 218.07 | 145.38 | 116.30 | 29.08 |

4 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- La selección de la tecnología debe estar en función de las condiciones locales del municipio en algunos casos las plantas de tratamiento de aguas residuales son abandonadas por la falta de recursos de la población que no puede solventar el sistema. Dependiendo de las características locales y mediante la revisión de literatura, el criterio de expertos y la observación de plantas de tratamiento de ARD en funcionamiento, se lograron identificar las tecnologías con mayor potencial de aplicación para la población objeto de estudio
- Se formuló una herramienta conformada por un diagrama de flujo y matrices multi-criterio que contempla las variables e indicadores, que facilitan la selección de tecnología para el tratamiento de ARD del municipio de Villanueva- Santander. Se recomienda formular matrices de selección que presenten criterios de expertos para evitar que sea subjetiva la puntuación para la elección del tren de tratamiento.
- Algunos aspectos determinantes para la elección del tren de tratamiento es la cantidad de carga orgánica que puede remover ya que se debe ajustar a la normativa ambiental en beneficio de la protección ambiental.
- Es necesario apoyar la toma de decisiones con herramientas que permitan realizar las comparaciones en una forma sencilla, objetiva, económica, todo con base en conocimientos generales sobre el proyecto y los procesos de tratamientos involucrados en las ofertas.
- Según la herramienta planteada se determinó el tren de tratamiento con las siguientes tecnologías: Rejillas (fina/gruesa), desarenador, reactor UASB y Humedal SFS, como el tren de tratamiento con mayor potencial de aplicación en el caso de estudio.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] AYALA, R.. Plantas de tratamiento de aguas residuales. Universidad Mayor de San Simón 2008.
- [2] Castillo et al., Guía para la selección de tecnología de depuración de aguas residuales por métodos naturales 2010.
- [3] Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 para el vertimiento de aguas residuales.
- [4] Delgado J. Jefe de Planta. Empresa de Acueducto y Aseo de Sal Gil. Características del agua residual doméstica 2010.
- [5] EOT. Esquema de ordenamiento territorial Municipio de Villanueva 2000.
- [6] García M. Curso de técnicas de saneamiento ambiental UIS 2014.
- [7] Lettinga G. and Hulshoff P. UASB process desing for vaious types of wastewater 1991.
- [8] Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, volumen I 1995.
- [9] Noyola A. Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales 2013.
- [10] Plan de Desarrollo del Municipio de Villanueva, 2010.
- [11] RAS Titulo E. Tratamiento aguas residuales 2000.
- [12] Rondón D. Ingeniero Civil. Diseño del plan maestro de alcantarillado 2010.
- [13] Salas D, Zapata M, Guerrero J; Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la Región. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [14] SSPD. Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Informe anual de los servicios públicos en Colombia 2006.
- [15] Van Haandel & Lettinga. Tratamiento anaerobio de aguas residuales 1994.

[16] URL – 1: U.S. EPA. Desing Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment 2000.

[17] URL – 2: BIODIGESTORES UASB.
http://200.29.232.126/wordpress/wpcontent/uploads/2013/02/29-PC8-C35C-_La-tecnolog%C3%ADa-anaerobia-Sevilla_.pdf [Citado 22 de Octubre de 2014].

[18] URL – 3: Diseño lagunas de estabilización.
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf> [Citado 22 de Octubre de 2014].

[19] URL – 4: Filtro Percolador <http://es.slideshare.net/yazminmendozacastillo/filtros-percoladores> [Citado 15 de Agosto de 2014].

[20] URL – 5: Discos Rotatorios.
<http://es.slideshare.net/CarlosBaronAristizabal/biodiscos> Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment 2000 [Citado 12 de Septiembre de 2014].

BIBLIOGRAFIA

Ayala R. Estudio sobre plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas para pequeñas comunidades. Perú: Universidad Mayor de San Simón, 2008.

Salas D, Zapata M, Guerrero J; Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la Región. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira.

Delgado J. Jefe de Planta. Empresa de Acueducto y Aseo de Sal Gil. Características del agua residual doméstica 2010.

Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización, volumen I 1995.

[Noyola A. Documento sobre Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales, 2013.

Castillo et al., Guía para la selección de tecnología de depuración de aguas residuales por métodos naturales 2010.

Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 para el vertimiento de aguas residuales.

Delgado J. Jefe de Planta. Empresa de Acueducto y Aseo de Sal Gil. Características del agua residual doméstica 2010.

Rondón D. Ingeniero Civil. Diseño del plan maestro de alcantarillado 2010.

RUSSELL, David Lloyd. Tratamiento de aguas residuales: un enfoque práctico. Barcelona: Reverte, 2012. 273p.

ANEXOS

Anexo A. Consulta a expertos

- En la Tabla 5 se muestra el análisis cualitativo que se obtuvo en una de las consulta realizadas a expertos vía internet.

Tabla 6. Matriz de análisis cualitativo.

| TECNOLOGIAS | NIVELES | REQUISITOS DE TERRENO | PRODUCCIÓN DE OLORES | COSTO O&M | IMPACTO AMBIENTAL | REQUERIMIENTOS DE ENERGIA | REMOCIÓN DE NUTRIENTES | DEPENDENCIA CARACT. DEL SUELO | GENERACION DE LODOS |
|------------------------|------------|-----------------------|----------------------|-----------|-------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| LAGUNAS AEROBIAS | Bajo | | X | | X | X | | | X |
| | Medio | | | X | | | X | | |
| | Medio Alto | | | | | | | | |
| | Alto | X | | | | | | X | |
| LAGUNAS AIREADAS | Bajo | | X | | X | | X | | |
| | Medio | X | | X | | | | | X |
| | Medio Alto | | | | | X | | X | |
| | Alto | | | | | | | | |
| LAGUNAS FACULTATIVAS | Bajo | | | X | X | X | X | | X |
| | Medio | | X | | | | | | |
| | Medio Alto | X | | | | | | | |
| | Alto | | | | | | | X | |
| INFILTRACION RAPIDA | Bajo | | | X | X | X | | | X |
| | Medio | | X | | | | X | | |
| | Medio Alto | X | | | | | | | |
| | Alto | | | | | | | X | |
| INFILTRACION LENTA | Bajo | | | | X | X | | | X |
| | Medio | | X | X | | | | | |
| | Medio Alto | | | | | | X | | |
| | Alto | X | | | | | | X | |
| TANQUE SEPTICO | Bajo | X | | | X | X | X | X | |
| | Medio | | | | | | | | X |
| | Medio Alto | | X | X | | | | | |
| | Alto | | | | | | | | |
| HUMEDAL DE FLUJO LIBRE | Bajo | | X | | X | X | | | X |
| | Medio | | | X | | | X | | |
| | Medio Alto | X | | | | | | | |
| | Alto | | | | | | | X | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BIODISCOS | Bajo | X | X | | X | | X | X | |
| | Medio | | | | | X | | | |
| | Medio Alto | | | | | | | | X |
| | Alto | | | X | | | | | |
| FILTRO PERCOLADOR | Bajo | X | | | X | | X | X | |
| | Medio | | X | | | X | | | |
| | Medio Alto | | | X | | | | | X |
| | Alto | | | | | | | | |

Anexo B. Calculo del caudal de diseño para la planta de tratamiento

1. Caudal de diseño

El caudal de aguas residuales de una población está determinado por los siguientes aportes:

- **Caudal de aguas residuales domésticas**

El aporte del agua residual domestica está dada por la siguiente expresión,

$$Q_D = \frac{CR * C * P}{86.400}$$

CR= coeficiente de retorno.

C= consumo neto de agua potable.

P= número de habitantes en la zona

El coeficiente de retorno de estimo de acuerdo a la tabla 3.1 norma Ras-2000.

| Nivel de complejidad del sistema | Coeficiente de retorno |
|----------------------------------|------------------------|
| Bajo y medio | 0,7 - 0,8 |
| Medio alto y alto * | 0,8 - 0,85 |

Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

$$Q_D = \frac{0,75 * 115 * 7269}{86.400} = 7,26 \text{ LPS}$$

- Caudal de aguas residuales fábricas de la región.

| Nivel de complejidad del sistema | Contribución institucional (L/ s·ha inst) |
|----------------------------------|---|
| Cualquier | 0,4 - 0,5 |

Tabla 7. Determinación de caudal de AR industriales en el municipio

| Tipo de industria | Área industrial | Contribución | Total |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------|
| Chocolatería San Rafael | 0,144 | 0,5 | 0,0864 |
| Chocolatería Al gusto | 0,160 | 0,5 | 0,096 |
| total aporte industrial | | | 0,1824 |

- Caudal de aguas residuales comerciales.

Tabla 8. Determinación de las áreas institucionales de Villanueva.

| Tipo de institución | Área Institucional | Contribución | Total |
|----------------------------|--------------------|--------------|--------|
| Alcaldía + casa cultural | 0,125 | 0,4 | 0,05 |
| Hospital | 0,088 | 0,4 | 0,0352 |
| Comando de policía | 0,09 | 0,4 | 0,036 |
| Casa parroquial | 0,275 | 0,4 | 0,11 |
| Colegio y escuelas | 1,225 | 0,4 | 0,49 |
| Casa del anciano | 0,06 | 0,4 | 0,024 |
| Hogar de bienestar | 0,035 | 0,4 | 0,014 |
| Granja experimental | 0,06 | 0,4 | 0,024 |
| Hoteles | 0,055 | 0,4 | 0,022 |
| Casa campesina | 0,055 | 0,4 | 0,022 |
| Coliseo de deportes | 0,045 | 0,4 | 0,018 |
| Estación de servicios | 0,09 | 0,4 | 0,036 |
| Total caudal institucional | | | 1,2052 |

$$Q_{DISEÑO} = QD + QI + QIND = 7,26 + 0,1824 + 4,944 + 1,2052 = 13,58 \text{ LPS}$$

Anexo C. Etapas de tratamiento

a) Tratamiento Preliminar

Los procesos de tratamiento preliminar son principalmente físicos. Los más simples usan la gravedad para remover arena y partículas minerales antes del tratamiento biológico. En esta etapa se procede a eliminar de las aguas residuales elementos cuya presencia puede provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento en las diferentes unidades de tratamiento.

- **Rejillas (gruesas y finas):** Se emplea para remover del agua residual, material como bolsas de plástico, tapas de recipientes, botellas, etc. Por lo general se dispone de una rejilla gruesa que remueve material de gran tamaño y una rejilla fina que ayuda a retener los materiales que hayan pasado de la etapa anterior y que interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento.
- **Desarenador:** Se emplea para remover arenas y otros materiales presentes en el agua residual que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de la planta de tratamiento. El desarenador se ubica generalmente después del cribado.

La Figura 2 muestra el cribado para la retención de material grueso y el desarenador empleando para remover arenas del agua residual cruda.



Figura 4. Rejillas y desarenador para la etapa de tratamiento preliminar.

Fuente: Noyola (2013).

b) Tratamiento Primario

El tratamiento primario es el proceso que consiste en la remoción de las partículas suspendidas presentes en el agua residual a través de tanques de sedimentación, empleando filtros como auxiliares en las diferentes etapas del tratamiento. Los tanques de sedimentación también pueden estar diseñados para retirar aceites y sólidos flotantes.

mediante rastrillos mecánicos que se encuentran en la superficie del tanque. La separación de grasas y aceites resulta más eficiente con la flotación de aire, siendo éste un proceso físico. También se puede emplear la floculación que permite la aglomeración de coloides y materia finamente dividida que se encuentre en suspensión en el agua residual. Es importante resaltar que la flotación de aire y la floculación reducen los tiempos de sedimentación de los sólidos suspendidos (CIMAD, 2002).

c) Tratamiento Secundario.

El objetivo principal de esta etapa de tratamiento es remover y transformar la materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta en el agua residual ya sea por tratamiento en el terreno, lagunas, lodos activados o métodos de filtración biológica.

Los procesos biológicos se usan principalmente para el tratamiento secundario empleando la carga microbiana para descomponer la materia orgánica suspendida y disuelta en el agua residual. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno). Dependiendo de la forma en que estén soportados los microorganismos, existen dos tipos de procesos.

- Microorganismos en suspensión.
- Microorganismos fijos.

d) Tratamiento Terciario.

Lo que se pretende en esta etapa de tratamiento es eliminar las partículas que aún siguen en el agua residual y posibles sustancias tóxicas para garantizar la calidad del efluente. El objetivo del tratamiento varía de acuerdo al reuso que se le desee dar a estas aguas. Normalmente en esta etapa se remueve nutrientes (nitrógeno y fósforo) y patógenos.

Nota: La descripción de las tecnologías aplicables para cada etapa se encuentran en la Tabla 2. Unidades de tratamiento para aguas residuales.

Anexo D. Cálculo del área requerida para cada una de las tecnologías seleccionadas

1. Porcentaje de remoción

La tabla 8 muestra los porcentajes de remoción que alcanza cada tecnología de tratamiento, permitiendo establecer la eficiencia de la planta depuradora y cumplir con la normativa para el vertimiento al cauce natural o según el reuso que tenga el efluente.

Tabla 9. Porcentaje de Remoción

| Parámetro | Porcentaje de Remoción de c/u de las tecnologías | | | |
|-----------|--|--------|--------|-------|
| | UASB | LAN | LF | H |
| SS | 60-70 | 20-60 | 63-75 | 80-90 |
| DBO5 | 65-80 | 50-70 | 80-90 | 80-90 |
| DQO | 60-80 | - | - | 75-85 |
| N | - | - | - | 35-50 |
| P | 30-40 | - | 30 | 20-35 |
| CF | - | 90-100 | 90-100 | 100 |

Fuente: Adaptado de RAS, 2000.

1. Reactor UASB

Según algunos autores existen tres variables para el dimensionamiento de reactor UASB, las cuales son carga orgánica volumétrica aplicable, velocidad superficial y altura del reactor (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991)

a) Volumen del Reactor

El volumen del reactor anaerobio para tratar aguas residuales domesticas depende de varios factores:

- Carga de DQO total máxima.
- Carga superficial admisible.
- Temperatura mínima.
- Concentración y características del agua residual.
- Carga Volumétrica permisible.
- Eficiencia requerida y nivel requerido de estabilización de lodo.

b) Tiempo de retención hidráulico(THR)

El tiempo de retención hidráulica está directamente relacionada con la velocidad del proceso de digestión anaerobia, que a su vez depende del tamaño de reactor (Ayala, 2008).

Tabla 10. Tiempo de retención hidráulico para reactores UASB

| Temperatura del agua residual °C | Tiempo de retención hidráulica (TRH) | |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| | Media diaria | Mínimo (4-6 horas) |
| 16-19 | > 10-14 | > 7-9 |
| 20-26 | > 6-9 | > 4-6 |
| > 26 | > 6 | > 4 |

Fuente: Adaptado de Lettinga & Hulshoff Pol, 1991

El volumen de reactor se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$Volumen = Q \left[\frac{m^3}{h} \right] * THR[h] = 48,96 * 4,8 = 235[m^3]$$

c) Altura del reactor (H)

Para determinar la altura del reactor se debe tener presente las velocidades superficiales recomendadas, para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 11. Velocidades Superficiales Recomendadas

| Caudal del afluente | Velocidad superficial (m/h) |
|---------------------|-----------------------------|
| Caudal medio | 0,5-0,7 |
| Caudal máximo | 0,9-1,1 |
| Picos temporario | < 1,5 |

Fuente: Adaptado de Lettinga & Hulshoff, 1995.

$$H = TRH[h] * v \left[\frac{m}{h} \right] = 4,8 * 0,5 = 2,4 [m]$$

d) Área del Reactor

La forma del reactor puede ser circular o rectangular. Los reactores de sección circular son más económicos desde el punto de vista estructural, pero la construcción del separador de gases, sólidos y líquidos es más compleja que en un reactor rectangular. En el caso de la forma rectangular, la sección cuadrada es la más barata (Ayala, 2008).

$$\text{Area del Reactor } (A_c) = \frac{\text{Volumen}[m^3]}{H[m]} = \frac{235}{2,5} = 94 [m^2]$$

Se eligió un reactor de sección cuadrada para minimizar costos

$$\text{Lado del Reactor } (L) = A_c^{0.5} = 9.69 [m]$$

e) Verificación de cargas aplicadas

Es recomendable que la carga hidráulica volumétrica no sea mayor a 5 [m³/m³-día], lo que equivale a un tiempo de retención mínimo de 4,8 horas.

$$\text{Carga hidraulica volumetrica } (CHV) = \frac{Q_{med}[\frac{m^3}{día}]}{\text{Volumen}[m^3]} = \frac{1175,04}{235} = 5[\frac{m^3}{día}]$$

$$\text{Carga Volumetrica } (CV) = \frac{C.O [\frac{KgDBO_5}{día}]}{\text{Volumen}[m^3]} = \frac{363,45}{235} = 1,55[\frac{KgDBO_5}{día * m^3}]$$

2. Laguna Anaerobia

Debido a las altas cargas que soporta este tipo de tecnología de tratamiento y a las eficiencias reducidas, se hace necesario el tratamiento posterior, generalmente por unidades de lagunas facultativas en serie (RAS, 2000).

a) Carga Orgánica

Para determinar la carga orgánica se tiene presente el parámetro de equivalente poblacional que es una estimación de lo que cada habitante contamina. El valor oscila entre 50 y 60 (gDBO₅/hab*día).

$$\begin{aligned} \text{Carga Organica } (C.O) &= EP * N^\circ.habitantes = 50 \frac{gDBO_5}{h * día} * 7269h \\ &= 363,45[\frac{KgDBO_5}{día}] \end{aligned}$$

b) Volumen

Para calcular el volumen de la laguna anaerobia se debe considerar que la carga orgánica volumétrica máxima, para temperatura sobre 20°C, será de 300 g DBO₅/m³*día. Si en el estudio de impacto ambiental se establece que el factor de olores no es de consideración, se puede incrementar a 400 g DBO₅/m³*día (RAS, 2000).

$$Volumen = \frac{DBO_5 \left[\frac{mg}{l} \right] * Q \left[\frac{m^3}{día} \right]}{CV \left[\frac{gDBO_5}{m^3 * día} \right]} = \frac{235 * 1175,04}{300} = 920,448 \text{ [m}^3\text{]}$$

c) Área

Se recomienda una profundidad entre 2,5 y 5 m (RAS, 2000)

$$Area = \frac{Volumen \text{ [m}^3\text{]}}{Profundidad \text{ [m]}} = \frac{920,448}{4} = 230,112 \text{ [m}^2\text{]}$$

d) Tiempo de retención hidráulica

Los tiempos de retención hidráulica están en función de la temperatura y de la eficiencia de remoción requerida. Las tablas 12 y 13 presentan valores típicos recomendados para diferentes casos.

Tabla 12. Eficiencia de lagunas anaerobias en función del periodo de retención

| Periodo de retención [días] | Reducción de DBO5 [%] |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 50 |
| 2,5 | 60 |
| 5 | 70 |

Fuente: RAS, 2000.

Tabla 13. Relación entre la temperatura, periodo de retención y eficiencia en lagunas anaerobias.

| Temperatura [°c] | Periodo de retención [días] | Remoción de DBO, % |
|------------------|-----------------------------|--------------------|
| 10-15 | 4-5 | 30-40 |
| 15-20 | 2-3 | 40-50 |
| 20-25 | 1-2 | 50-60 |

| | | |
|-------|-----|-------|
| 25-30 | 1-2 | 60-70 |
|-------|-----|-------|

Fuente: RAS, 2000.

$$TRH = \frac{Volumen[m^3]}{Caudal[m^3/día]} = \frac{9032,904}{1175,04} = 0,794[días]$$

3. Laguna Facultativa

a) Área

El caudal que entra es de 1175,04 [m³/día], la profundidad asumida es de 2,5 [m] y el tiempo de retención debe estar dentro del rango de 5 a 30 [días].

$$Area = \frac{V[m^3]}{Profundidad[m]} = \frac{276,13}{2,5} = 110,452[m^2]$$

b) Volumen

$$Volumen = \frac{DBO_5 \left[\frac{mg}{l} \right] * Q \left[\frac{m^3}{día} \right]}{CV \left[\frac{gDBO_5}{m^3 * día} \right]} = \frac{235 * 1175,04}{1000} = 276,13 [m^3]$$

4. Humedales

Para el cálculo del área del humedal se consideró una profundidad de 2[m], un caudal que entra de 1175,04 [m³/día] y una DBO₅ de 235 [mg/l].

$$Constante\ de\ Temperatura\ (K_T) = 1.35(1.1)^{T-20} = 1.35(1.1)^{23-20} = 1,8 [d^{-1}]$$

a) Tiempo de retención hidráulico

$$TR = \frac{Ln\left(\frac{DBO5\ Afluente}{DBO5\ Efluente}\right)}{K_T} = \frac{Ln(235000/47000)}{1,8} = 0,89[días]$$

b) Área

$$A = \frac{Q\left[\frac{m^3}{día}\right] * Tr(días)}{porosidad * Profundidad[m]} = \frac{58,752 * 0,89}{0,4 * 0,8} = 163,404[m^2]$$

Relación L: W=4:1

$$W = (A/4)^{0,5} = (163,404/4)^{0,5} = 6,39[m]$$

$$L = 4 * W = 4 * 6,39 = 25,56[m]$$