


| | | | | |
|---|---|-------------------|---------------|----------|
|  | UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA | | | |
| | Documento | Código | Fecha | Revisión |
| FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO | F-AC-DBL-007 | 10-04-2012 | A | |
| Dependencia | Aprobado | | Pág. | |
| DIVISIÓN DE BIBLIOTECA | SUBDIRECTOR ACADEMICO | | i(126) | |

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

| | | | |
|---|---|------------------|----------|
| AUTORES | GERALDIN JACOME ISAZA YARLEIDIS MORA CHINCHILLA | | |
| FACULTAD | FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE | | |
| PLAN DE ESTUDIOS | INGENIERIA AMBIENTAL | | |
| DIRECTOR | REINEL NAVARRO LEÓN | | |
| TÍTULO DE LA TESIS | FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTOS DE LOS LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) VÍA PUERTO MOSQUITO DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR | | |
| RESUMEN (70 palabras aproximadamente) | | | |
| <p>LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS REMANENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) UBICADA EN LA VÍA PUERTO MOSQUITO, SE HA CONVERTIDO EN UNA PROBLEMÁTICA, POR LA FALTA DE MEDIDAS PARA LA ESTABILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE ESTOS RESIDUOS SÓLIDOS, QUE CONTIENEN GRAN VARIEDAD DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS QUE CONCENTRADOS Y COMBINADOS CON OTROS COMPUESTOS HACEN QUE ESTE MATERIAL SEA ALTAMENTE CONTAMINANTE, CAUSANDO UN IMPACTO NEGATIVO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.</p> | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | |
| PÁGINAS: 126 | PLANOS: | ILUSTRACIONES:10 | CD-ROM:1 |



FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTOS DE LOS
LÓDOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) VÍA
PUERTO MOSQUITO DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR

AUTORES

GERALDIN JACOME ISAZA

YARLEIDIS MORA CHINCHILLA

Proyecto para Optar el título de Ingeniero ambiental

Director

REINEL NAVARRO LEÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Octubre de 2017

Agradecimientos

Primero que todo y especialmente le damos gracias a Dios por habernos dado la oportunidad de haber culminado exitosamente nuestros estudios y a él gracias por esa sabiduría y conocimiento dada en este proceso.

A nuestros padres por darnos ese ejemplo de seguir luchando por nuestros sueños y apoyarnos es todo momento en este tiempo de estudio.

A los profesores de la carrera de ingeniería Ambiental, que nos guiaron, nos orientaron con sus enseñanzas y brindaron la oportunidad de realizar estos estudios. A REINEL NAVARRO LEÓN Tutor y Director del trabajo de grado por su paciencia, colaboración y aportes para el desarrollo de esta propuesta.

A nuestro compañeros, amigos y demás familiares que nos acompañaron en este proceso académico y por sus consejos y apoyo incondicional en todo momento

Índice

| | |
|---|---------------|
| Capítulo 1. Formulación de alternativas para el aprovechamientos de los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica, Cesar..... | 11 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 11 |
| 1.2 Formulación del problema..... | 11 |
| 1.3 Objetivos..... | 13 |
| 1.3.1 General..... | 13 |
| 1.3.2 Específicos..... | 13 |
| 1.4 Justificación..... | 14 |
| 1.5 Delimitaciones..... | 16 |
| 1.5.1 Conceptual..... | 16 |
| 1.5.2 Operativa..... | 16 |
| 1.5.3 Temporal..... | 16 |
| 1.5.4 Geográfica..... | 16 |
| Capítulo 2. Marco referencial..... | 18 |
| 2.1 Marco histórico..... | 18 |
| 2.1.1. Historia del aprovechamiento de los lodos residuales en el mundo..... | 18 |
| 2.1.2. Historia del aprovechamiento de los lodos residuales en Colombia..... | 21 |
| 2.2 Marco teórico..... | 27 |
| 2.2.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales..... | 28 |
| 2.2.1.1. Características de las aguas residuales..... | 30 |
| 2.2.2. Producción de lodos en PTAR..... | 31 |
| 2.2.2.1. Origen de los lodos..... | 31 |
| 2.2.2.2. Características de los lodos..... | 32 |
| 2.2.2.3. Tratamiento de los Lodos..... | 33 |
| 2.2.3. Descripción del sistema de aguas residuales para el área urbana del municipio de Aguachica..... | 36 |
| 2.2.4. Aprovechamiento de los lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales..... | 39 |
| 2.3. Marco conceptual..... | 39 |

| | |
|--|------------|
| 2.4. Marco contextual..... | 44 |
| 2.5. Marco Legal | 46 |
| Capítulo 3. Diseño metodológico | 58 |
| 3.1 Tipo de investigación. | 58 |
| 3.2 Población..... | 59 |
| 3.3 Muestra..... | 59 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información..... | 60 |
| Capítulo 4. Presentación de Resultados..... | 63 |
| 4.1 Realizar un diagnóstico inicial de todo el sistema actual de los lodos residuales en el sistema de tratamiento Vía puerto mosquito. | 63 |
| 4.2 Elaborar análisis químicos - metales y microbiológicos de los lodos resultantes del STAR. | 75 |
| 4.3.3.1. Alternativa de aprovechamiento de lodos para Abono Orgánico..... | 87 |
| 4.3.3.2. Alternativas de lodos para Usos del Suelo..... | 91 |
| 4.3.3.3. Alternativa de disposición final de los lodos..... | 102 |
| Conclusiones | 108 |
| Recomendaciones | 110 |
| Referencias | 112 |
| Apendices..... | 116 |

Lista de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Manejo de lodos residuales en diferentes países | 20 |
| Tabla 2. Características físicas de las principales PTAR de Colombia | 22 |
| Tabla 3. Características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con biosólidos de EEUU y la UE..... | 23 |
| Tabla 4. Características agrologicas de los biosólidos de Colombia..... | 24 |
| Tabla 5. Indicadores de contaminación fecal de biosólidos en Colombia..... | 24 |
| Tabla 6. Frecuencias de caracterización de biosólidos..... | 25 |
| Tabla 7. Contaminantes importantes de las aguas residuales | 29 |
| Tabla 8. Se muestra la composición típica del lodo..... | 33 |
| Tabla 9. Comparación entre las Composiciones Químicas Típicas de Lodos Crudos y Sometidos a tratamiento (Digestión Anaerobia)..... | 36 |
| Tabla 10. Resultados arrojados por el laboratorio SIAMA LTDA..... | 66 |
| Tabla 11. Muestreo del Sistema de Aguas Residuales STAR..... | 70 |
| Tabla 12. Ubicación estación de muestreo..... | 71 |
| Tabla 13. Técnica de análisis de variables químico-metales y microbiológicas..... | 72 |
| Tabla 14. Comparación de las variables analizadas según la norma..... | 73 |
| Tabla 15. Ventajas y desventajas del compostaje..... | 89 |
| Tabla 16. Clasificación de los sitios de aplicación de lodos de acuerdo a sus características del suelo, topografía y geología..... | 93 |
| Tabla 17. Limites de aplicación de lodos al suelo en base a la permeabilidad..... | 93 |
| Tabla 18. Criterios de profundidad del acuífero en diferentes sitios..... | 94 |
| Tabla 19. Recomendaciones relacionadas con la pendiente..... | 95 |
| Tabla 20. Tasas de aplicación de lodos típicos de diferentes opciones de aplicación al suelo..... | 96 |
| Tabla 21. Sensibilidad de los cultivos a metales pesados..... | 98 |
| Tabla 22. Principales efectos de algunos metales pesados..... | 100 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Tratamientos englobados en la línea de lodos..... | 34 |
|---|----|

Lista de imágenes

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Vía de acceso a la PTAR vía Puerto Mosquito. Municipio de Aguachica | 37 |
| Imagen 2. Lagunas de oxidación vía satelital de Aguachica - Cesar | 38 |
| Imagen 3. Estructura de los sistemas de tratamiento de Aguachica – Cesar | 38 |
| Imagen 4. Ubicación geográfica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales..... | 51 |
| Imagen 5. Cribado del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales..... | 52 |
| Imagen 6. Desarenación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales | 53 |
| Imagen 7. Sección de lagunas Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales | 54 |
| Imagen 8. Diques del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales | 55 |
| Imagen 9. Cajas de distribución del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales | 56 |
| Imagen 10. Manjoles del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales | 57 |

Capítulo 1. Formulación de alternativas para el aprovechamientos de los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica, Cesar

1.1 Planteamiento del problema.

En las últimas décadas se ha venido intensificando una problemática ambiental basada en la contaminación del recurso hídrico y en el recurso suelo, generado por las aguas residuales domésticas, producida como consecuencia al crecimiento indiscriminado y la alta demanda de nuevos complejos habitacionales, en diferentes áreas dentro de las ciudades y fuera de ellas, y que exige de una acción inmediata por parte de los entes ambientales (CHAVEZ, 2007).

Las problemáticas más agobiantes a nivel global son los vertimientos de aguas residuales a cuerpos hídricos sin tratamientos adecuados. Según un reporte del Ministerio de agricultura y desarrollo rural de Colombia, los datos del viceministerio de agua y saneamiento básico indican que sólo el 9% de las aguas de alcantarillado son tratadas en el país, a nivel mundial las aguas residuales sin tratar están entre un 85 a 95% de los vertimientos totales (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2011).

Por lo tanto los lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos denominados biosólidos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos. Otros lodos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos o a un reuso posterior. Así también hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento y en

ocasiones, de acuerdo a sus características de peligrosidad deben ser manejados como desechos peligrosos (CONIL, 2000).

Actualmente dichos lodos son dispuestos en su mayoría en rellenos sanitarios o simplemente vertidos a la fuente hídrica o al sistema de alcantarillado, que conduce aguas residuales tanto domésticas como industriales; en algunas ciudades, los lodos generados actualmente están siendo dispuestos en forma provisional para la recuperación de terreno degradado, ya que la entidad ambiental no otorga el permiso para disponerlos en relleno sanitarios.

La carencia de un método para disponer los lodos residuales resultantes del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Aguachica, se constituye como un problema de impacto ambiental de gran relevancia para los entes competentes. Actualmente los lodos resultantes de la sedimentación de residuos de los afluentes residuales se mantienen dentro de las lagunas facultativas lo que disminuye la capacidad y eficiencia de las mismas para efectuar la retención de sólidos en suspensión. (Bolentinagrio, 2009)

El manejo de los lodos exige una serie de consideraciones sanitarias, de restricciones, requisitos y de condiciones técnicas, las que son indicadas en la normativa vigente, sin embargo, surgen interrogantes en cuanto a la tasa de aplicación de lodos, los suelos y su variabilidad espacial entre otros aspectos. Si bien, los lodos tienen un alto contenido de materia orgánica que favorecen las propiedades físicas intrínsecas del suelo, y mejoran la productividad, también aportan otros compuestos, tales como elementos traza metálicos (ETM) y altas cargas de microorganismos patógenos (Alloway, 1995, Epstein, 2003), los que limitan su uso.

La producción de residuos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de aguas residuales en la Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) ubicada en la Vía puerto Mosquito, se ha convertido en una problemática, por la falta de medidas para la estabilización y disposición de estos residuos sólidos, que contienen gran variedad de microorganismos patógenos que concentrados y combinados con otros compuestos hacen que este material sea altamente contaminante, causando un impacto negativo sobre el medio ambiente y afectando directamente la calidad del agua, el suelo y la salud pública al generar malos olores (ICONTEC, 2003).

1.2 Formulación del problema.

¿Cuáles son las alternativas de uso ambientales que se le pueden dar a los lodos residuales procedentes del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)?

1.3 Objetivos.

1.3.1 General. Formular alternativas para el aprovechamiento los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica, Cesar.

1.3.2 Específicos.

Realizar un diagnóstico inicial de todo el sistema actual de los lodos residuales en el sistema de tratamiento Vía puerto mosquito.

Elaborar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos resultantes del STAR.

Evaluar la información primaria para la toma de decisiones acerca de las alternativas de los lodos provenientes del sistema de tratamiento.

Establecer alternativas de aprovechamiento de los lodos residuales del sistema de tratamiento de Aguachica- Cesar vía puerto mosquito.

1.4 Justificación.

La mala disposición y el poco aprovechamiento de los desechos que se generan diariamente en los procesos productivos en algunas empresas agroindustriales, contribuyen a la contaminación ambiental de los recursos como el suelo, agua y aire. Debido a esta situación se ha generado la necesidad de realizar estudios soportados en resultados que pretendan sustentar alternativas ambientales para implementar un sistema de producción más limpia y aprovechar los residuos generados (M., 2007).

Lo anterior hace referencia a la necesidad de buscar soluciones que permitan aumentar la eficiencia del manejo de los lodos, reducir los riesgos de contaminación al medio ambiente y la posible afectación a salud de los seres humanos por el incremento de la contaminación causada por una mala disposición y manejo de los residuos (CHAVEZ, 2007).

Por eso las políticas de protección del recurso hídrico en Colombia han fomentado la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales tanto a gran escala como a escala domestica (tanques sépticos), para evitar vertimientos con grandes cargas contaminantes. Aunque éstas logran controlar en gran medida los problemas de contaminación hídrica, también generan subproductos, como los lodos, que requieren de un tratamiento para posteriormente

poder realizar una adecuada disposición final con el fin de lograr reducir al mínimo su impacto ambiental (Cit, Entrevista con: PABLO ALBERTO HERRERA. Op.)

Existe la necesidad de gestionar e implementar las alternativas de uso de los lodos residuales procedentes de los tratamientos de Agua, cumpliendo con la legislación ambiental correspondiente para la administración de la gestión ambiental, en aras de la preservación de los recursos naturales y disminución de la contaminación generada por dichos residuos. (LÓPEZ, 2008)

Debido a la inexistencia de antecedentes directos sobre la calidad sanitaria de los lodos de las lagunas de estabilización, que representó una limitante en la discusión del presente trabajo, razón por la cual se considera que los resultados del mismo constituirán un valioso aporte para las futuras investigaciones en la Empresa de Servicios Públicos de Aguachica (ESPA), en la búsqueda de beneficios ambientales y económicos, fundamentado en su potencial de aprovechamiento dado el proceso que los origina (MarcadorDePosición1).

Este problema se ve agravado por la falta de estudios detallado de la factibilidad de las diferentes alternativas de disposición final de los lodos para conseguir la implementación de un programa para la reutilización de los lodos residuales proveniente de la planta de tratamiento.

Por lo anterior, el objetivo principal de esta investigación es formular las alternativas para el aprovechamiento de los lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales, ubicada vía Puerto Mosquito, de la Empresa de Servicios Públicos de Aguachica.

Debido a que se obtienen altos contenidos de nutrientes y materia orgánica que contienen los lodos; propiedades que favorecen las condiciones del suelo en los que se apliquen, dando lugar a un proceso de producción más limpia a la empresa que lo implemente (OROPEZA, 2006).

1.5 Delimitaciones.

1.5.1 Conceptual. La temática del proyecto se enmarcará en los siguientes conceptos: Lodo residuales, contaminación, recuperación de suelos, problemática ambiental, bienestar social, normativa ambiental, impacto ambiental, gestión ambiental.

1.5.2. Operativa. Para la ejecución de este proyecto se trabajara en campo en la zona de las piscinas anaerobias con el tratamiento de lodos y sus usos actuales además de eso se trabaja sus componentes y manejos adecuados para algunas alternativas

1.5.3 Temporal. Para la elaboración del presente proyecto se emplearan (6) meses a partir desde la fecha de su aprobación.

1.5.4 Geográfica. La ejecución del proyecto se llevará a cabo en Colombia, departamento del Cesar del Municipio de Aguachica en el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) que está a cargo de la empresa de servicios públicos de Aguachica (ESPA) vía puerto mosquito.



Figura 1. Municipio de aguachica Fuente: http://www.aguachica-cesar.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2915326

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico.

2.1.1. Historia del aprovechamiento de los lodos residuales en el mundo. OROPEZA. 2006, (García, 2016) en un trabajo titulado “Lodos residuales: estabilización y manejo” hace una descripción de cuatro métodos de manejo de lodos residuales generados en las PTAR. Para ello se basa en experiencias encontradas en Estados Unidos y en Europa. Asegura la autora que: “La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos:

Digestión anaerobia. Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O₂).

Digestión aerobia. Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O₂) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.

Tratamiento químico. Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza (CHAVEZ, 2007).

Incineración. Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo”.

En general, las líneas de tratamiento de lodos residuales se encuentran enfocadas a dos aspectos fundamentales, que son:

Reducción de volumen. Pueden obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20%, sin que, por ello, pueda manejarse con pala), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración (Calderon, 2013).

Reducción del poder de fermentación o estabilización. Consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc.

La autora también se refiere a los factores que determinan la elección de un método particular para el manejo de lodos residuales. De igual manera referencia la experiencia de algunos países Al respecto afirma:

La selección de alguno de estos procesos para la estabilización de un lodo en particular depende de varios factores, tales como: la cantidad y calidad de lodos a tratar, las condiciones particulares del sitio y, la situación financiera en cada caso. En muchos países, la utilización del lodo requiere de una infraestructura costosa pero con fines justificados, ya que soluciona problemas de contaminación e incorpora nutrientes reciclando elementos vitales en los ciclos biológicos naturales; además de convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable y no

peligroso. Así, la denominada gestión de excelencia destina cada residuo a su tratamiento: reciclaje, composteo, incineración y vertedero (Cardona, 2016).

Como ejemplo, el Plan de Residuos de Holanda, fija objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y el 10% de vertido como residuos no aprovechables.

En Viena, el esquema es de 50% de valorización energética, 29% de reciclaje, 12% de compostaje y 9% a vertedero.

El manejo y uso de lodos en otros países se muestra en la tabla No. 1, referenciada por OROPEZA 2006.

Tabla 1.

Manejo de lodos residuales en diferentes países

| PAIS | MANEJO DE LODOS |
|-----------------------------------|---|
| Europa, Australia, Estados Unidos | Actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos especialmente tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas. |
| España | Los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero. |
| Dinamarca | La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone. |
| Chile | En 1999 fue aprobado el anteproyecto del “Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas” estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos genera |

gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.

Argentina Se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.

México Recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004 SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

Nota.Fuente. Frandy Yadira Avendaño. 2015

RODRÍGUEZ, 2008. Describe un sistema de lodos activados mostrando el proceso del mismo y haciendo un análisis de las ventajas y desventajas. Afirma el autor, entre otras cosas, que: los sistemas de lodos activados son sistemas biológicos comúnmente utilizados como tratamientos secundarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales, donde una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada.

Estos sistemas funcionan en base a una suspensión homogénea de microorganismos que biodegradan la materia orgánica del agua residual y las condiciones en las cuales ellos realizan dicha degradación (Rodríguez, 2008).

2.1.2. Historia del aprovechamiento de los lodos residuales en Colombia.

(Daguer 2003) CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE LAS PTAR DE COLOMBIA

En la actualidad, Colombia genera diariamente 274 toneladas de biosólidos (94 toneladas base seca). El 97% de la producción es generada por tres plantas (El Salitre, Cañaveralejo y San Fernando). Caracterizar los biosólidos es fundamental para una adecuada gestión. Dependiendo

de su calidad, se da prelación a una u otra alternativa de aprovechamiento. El control de los biosólidos de las PTAR se basa en el análisis de parámetros físicos, químicos, agrológicos y microbiológicos. Tal como se observa en la tabla 1, los biosólidos de las grandes plantas del país presentan valores de humedad similares; por el contrario, la producción varía dependiendo del sistema de tratamiento de aguas residuales y del caudal afluente (Rodríguez, 2008).

Tabla 2.

Características físicas de las principales PTAR de Colombia

| | Biosólidos PTAR El Salitre Datos Sep 2000-Dic 2002 | PTAR San Fernando (Medellin) Datos de 2003 | PTAR Cañavalejo (Cali) Datos de 2003 | PTAR Rio Frio (Bucaramanga) Datos de 2003 |
|---|---|---|---|--|
| Humedad (%) | 67 | 68 | 66 | 29 |
| Sequedad (%) | 33 | 32 | 34 | 71 |
| Producción Toneladas/día (Base húmeda) | 130 | 80 | 60 | 2 |
| Producción Toneladas/día (Base seca) | 43 | 28 | 20 | 1.4 |

Nota Fuente. (Daguer 2003 Gestión de Biosólidos de la PTAR El Salitre)

Con respecto a las características químicas, es de resaltar que las concentraciones de la totalidad de los metales pesados analizados en los biosólidos de Colombia se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales y en la mayoría de parámetros por debajo de las concentraciones promedio de metales pesados de los biosólidos de EEUU y la Unión Europea, tal como se observa en la tabla 3

Tabla 3.

Características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con biosólidos de EEUU y la UE.

| Contaminante Mg/kg | Colombia (1) | EEUU (2) | Unión Europea (2) | NORMA EPA 40CFR-503 PC-EQ QUALITY | Límites recomendados Unión Europea 86/278/CEE |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|--|--|
| Arsénico | 0.47 | 4.9 | Nd | 41 | No regulado |
| Cadmio | 2.78 | 25 | 4 | 39 | 20-40 |
| Cobre | 180 | 616 | 380 | 1500 | 100-1750 |
| Cromo | 849 | 178 | 145 | No regulado | No regulado |
| Mercurio | 0.85 | 2.3 | 2.7 | 17 | 16-25 |
| Níquel | 65.4 | 71 | 44 | 420 | 300-400 |
| Plomo | 84 | 204 | 97 | 300 | 750-1200 |
| Selenio | 0.46 | 6 | Nd | 100 | No regulado |
| Zinc | 966.3 | 1285 | 1000 | 2800 | 2500-4000 |

Nota Fuente. Daguer 2003

Con respecto a las características agrológicas, los biosólidos de Colombia presentan concentraciones típicas de nitrógeno y fósforo que muestran su alto potencial de aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, actividades forestales, cobertura de rellenos), tal como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. *Características agrologicas de los biosólidos de Colombia*

| Parámetros % | Rango Colombia | Rango Literatura* |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| Nitrógeno total | 1.6-3.3 | 3-8** |
| Nitrógeno orgánico | 0.44-1.9 | 1-5 |
| Nitrógeno amoniacal | 0.6-2.3 | 1-3 |
| Fosforo | 0.04-3.3 | 1.5-5 |
| Potasio | 0.007-0.4 | 0.2-0.8 |
| Sólidos volátiles | 42-50 | - |
| Unidades pH | 6.05-7.9 | - |

Nota Fuente. Rangos típicos de biosólidos digeridos anaeróbicamente (NBP-Manual of good for biosolids) ADEME. Los biosólidos del tratamiento municipal y su uso en la agricultura

Con respecto a las características microbiológicas, las concentraciones de coliformes fecales de los biosólidos de la mayoría de las PTAR de Colombia son las típicas de un biosólido de clase B; sin embargo, con respecto a los huevos de helminto, los biosólidos de las PTAR San Fernando y El Salitre tienen características de clase A tal como se observa en la tabla 4; no obstante, no se cuenta con datos de huevos de helminto de los biosólidos de las otras plantas del país.

Tabla 5.

Indicadores de contaminación fecal de biosólidos en Colombia.

| Indicador | Rango Colombia | NORMA EPA 40CFR-503 |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Coliformes fecales (NMP/g) | $1.5 \times 10^5 - 5.1 \times 10^5$ | <2.000.000 Clase B <1000 Clase A |
| Huevos de helminto (Huevos/4g) | <1* | >1 Clase B <1 Clase A |

Nota Fuente. Datos de las PTAR El Salitre y San Fernando

Los biosólidos de Clase A, pueden ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo). Los biosólidos de clase B pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas. Con respecto al número de caracterizaciones que se deben realizar a los biosólidos, la norma EPA 40 CFR 503 recomienda la frecuencia en función de la producción de las plantas, tal como se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

Frecuencias de caracterización de biosólidos.

| Producción de la planta de tratamiento de aguas residuales (Tonelada/año)(Producción en base seca) | Frecuencia de muestreo |
|---|-------------------------------|
| Menor de 300 | Anual |
| Entre 301 y 1500 | Trimestral |
| Entre 1501 y 15000 | Bimestral |
| Más de 15001 | Mensual |

Nota Fuente. Frandy Yadira Avendaño. 2015

Alternativas de aprovechamiento de biosólidos

En el mundo se da prelación al aprovechamiento benéfico de biosólidos. La disposición o la incineración deben ser las últimas opciones a contemplar. Sin embargo, en algunos países o zonas se convierte en la única posibilidad ante la ausencia de terrenos para el aprovechamiento. La gestión de biosólidos debe contemplar la mayor cantidad de opciones de aprovechamiento en caso de que el lugar de recepción se colme o no requiera más material.

Las alternativas de aprovechamiento de biosólidos son las siguientes:

- Agrícola y pecuario
- Silvicultura (plantaciones forestales, viveros)
- Recuperación de suelos degradados
- Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques)
- Elaboración de abonos y enmiendas
- Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios
- Biorremediación de suelos contaminados
- Elaboración de materiales de construcción

Las opciones de disposición son:

- Codisposición (disposición conjunta con residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios)
- Monodisposición (rellenos exclusivos para la disposición de biosólidos)
- Incineración (más que una disposición en sí misma, es una opción de tratamiento y reducción de volumen que deja un volumen de cenizas que es necesario disponer)

En Colombia se han realizado las siguientes investigaciones con el fin de establecer la mayor cantidad de posibilidades de aprovechamiento de biosólidos:

PTAR El Salitre

- Aprovechamiento como cobertura final en el relleno sanitario Doña Juana
- Compostaje de biosólidos
- Biorremediación de suelos contaminados
- Aprovechamiento forestal
- Recuperación de suelos degradados

- Indicadores de contaminación fecal de lodos y biosólidos de la PTAR El Salitre
- Aprovechamiento agrícola de biosólidos

PTAR San Fernando

- Recuperación suelos degradados
- Compostaje de biosólidos
- Revegetación de taludes
- Aprovechamiento agricultura
- Biorremediación de suelos
- Lombricultura de biosólidos

PTAR Cañaveralejo

- Aprovechamiento como cobertura final del botadero Basura de Navarro
- Aprovechamiento agrícola
- Compostaje de biosólidos
- Lombricultura de biosólidos PTAR Río Frío
- Compostaje de biosólidos
- Aprovechamiento forestal en viveros de la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB)

2.2 Marco teórico.

Hoy en día, el problema de contaminación de las aguas se ha ido mejorando en su mayor parte, tanto a nivel urbano como industrial con el objeto de obtener las mejores calidades y máximos rendimientos en los efluentes que se vierten al medio en unas condiciones tales que no

produzcan impactos en el medio ambiente que los rodean ni supongan un riesgo para los humanos y animales. Sin embargo, estos procesos generan una serie de residuos, los conocidos lodos residuales, cuyo fin es el de retener los contaminantes antes arrastrados por las aguas (Romero, 2010).

Es cierto, que dentro de la preocupación de la empresa de servicios públicos, se encuentra la búsqueda a una solución real y con futuro para el destino final de estos lodos, con el mínimo impacto ambiental y que permita a su vez el beneficio de las materias que contienen.

2.2.1. Características de las aguas residuales. Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales. En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables.

No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado.

El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro. La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C; esto se

debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones (Romero, 2010).

El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos. La tabla 7 presenta una lista de contaminantes que es común encontrar en las aguas residuales municipales, así como la fuente que los genera y sus consecuencias ambientales.

La cantidad de los constituyentes de las aguas residuales varía marcadamente dependiendo del porcentaje y tipo de desechos industriales presentes y de la dilución ocasionada por la entrada de agua subterránea que se infiltra a la red de alcantarillado. En el siguiente cuadro se observan los contaminantes del agua residual.

Tabla 7.

Contaminantes importantes de las aguas residuales

| CONTAMINANTE | FUENTE | IMPORTANCIA AMBIENTAL |
|-------------------------------------|---|---|
| Sólidos Suspendidos | Uso domésticos, desechos industriales y agua infiltrada a la red. | Causa depósito de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos. |
| Compuestos orgánicos biodegradables | Desechos domésticos e Industriales | Causan degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasionan condiciones indeseables. |
| Microorganismos patógenos | Desechos domésticos | Causa enfermedades transmisibles. |
| Nutrientes | Desechos doméstico e Industriales | Pueden causar eutrofización |
| Compuesto orgánicos refractarios | Desechos industriales | Pueden causar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos o carcinogénicos. |

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| Metales pesados | Desechos industriales, minería, etc. | Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Debido al uso doméstico o industrial se incrementa con respecto a su nivel en el suministro de agua. | Pueden interferir con el reúso del efluente. |

Nota Fuente: LIZARAZO BECERRA, Jenny Milena. ORJUELA GUTIÉRREZ, Marta Isabel. 2013.

2.2.2. Producción de lodos en PTAR. Las diferentes actividades productivas y domésticas producen grandes cantidades de aguas residuales, las cuales contienen una diversidad amplia de contaminantes. Estas aguas deben ser procesadas en las PTAR para su reúso o disposición con una calidad mayor. La calidad se mejora al eliminar los contaminantes. Dichos contaminantes son eliminados en diferentes puntos del proceso en forma de lodos, siendo éstos un concentrado de los compuestos más dañinos que constituyen dichas aguas (CONIL, 2000).

Las aguas residuales presentan cada una ciertas características particulares que van a determinar cuál será el tratamiento más adecuado a aplicar en cada caso.

No obstante, las aguas residuales urbanas ofrecen una cierta homogeneidad en cuanto a su composición en elementos contaminantes, por lo que se podrán establecer una serie de esquemas más o menos generales para el tratamiento de las mismas, aunque siempre dichos tratamientos deberán estar adaptados a cada situación en particular.

Por el contrario, en el caso de las aguas residuales industriales las diferencias de unas a otras se hacen aún más patentes que en el caso de otras aguas residuales, ya que los procesos industriales

generan una amplia gama de vertidos contaminantes, muy diferentes en cantidad y calidad, que pueden tener orígenes muy diversos: aguas usadas como medio de transporte, aguas de lavado y enjuague, transformaciones químicas que usan el agua como disolvente.

En general, entendemos por aguas residuales industriales, aquellas que se generan en cualquier actividad o negocio como consecuencia de utilizar el agua en sus procesos de producción, transformación o manipulación. Se incluyen en esta definición los líquidos residuales, las aguas de proceso y las aguas de refrigeración.

2.2.2.1. Origen de los lodos. El tratamiento de las aguas residuales implica la separación de las sustancias contaminantes, obteniéndose un efluente líquido una fracción de sólidos. Esta separación no es completa, por una parte la fracción de agua mantiene ciertos niveles de sólidos suspendidos y sustancias disueltas, mientras que los lodos se caracterizan por un alto contenido elevado de agua (Henríquez, 2011).

En los países industrializados, el número de habitantes que recibe servicios de los dispositivos de depuración de aguas negras de origen doméstico y las cantidades de aguas residuales producidas, aumentan de un año a otro por las siguientes razones:

- Incremento demográfico.
- Mejoramiento de las condiciones sanitarias.
- Aumento de los aparatos domésticos consumidores de agua.

- Que las autoridades nacionales, regionales y locales están conscientes de los problemas de contaminación.

Sin embargo, estos lodos pueden aumentar debido a que no se cuenta con alcantarillado pluvial, lo que me indica que ciertos lodos pueden estar comprendidos en una mayor cantidad de arena y de más material reciclable.

Algunas experiencias en América latina como México, Brasil, Chile y Argentina, son los países que más esfuerzos han dedicado a validar algunas de las experiencias norteamericanas y europeas y, en algunos casos, a plantear nuevas hipótesis argumentativas (Henríquez, 2011).

En Colombia el proceso de tratamiento de aguas residuales es relativamente reciente y solo ciudades como Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga han utilizado este procedimiento. En este país tan solo se han llevado a cabo ensayos que, si bien es cierto han arrojado resultados preliminares interesantes, que carecen de soporte estadístico.

2.2.2.2. Características de los lodos. Los lodos son el subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Pueden ser primarios, secundarios o digeridos. Para definir los procesos a emplear en el tratamiento de lodos residuales, es importante conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas que presentan. Estas pueden variar en función de su origen y el tipo de proceso de donde se han generado.

Tabla 8.

Se muestra la composición típica del lodo.

| PARAMETRO | LODO PRIMARIO | | LODO PRIMARIO DIGERIDO | | LODO ACTIVADO SIN TRATAR |
|--------------------------|---------------|--------|------------------------|--------|--------------------------|
| | Rango | Típico | Rango | Típico | Rango |
| ST, %(materia seca) | 5 – 9 | 6 | 2 - 5 | 4.0 | 0.8 – 1.2 |
| STV, % de ST | 60 – 80 | 65 | 30 - 60 | 40 | 59 - 88 |
| Nitrógeno, % de ST | 1.5 – 4.0 | 2.5 | 1.6 – 3.0 | 3.0 | 2.4 – 5.0 |
| Fosforo, % ST (P205) | 0.8 -2.8 | 1.6 | 1.5 – 4.0 | 2.5 | 2.8 - 11 |
| Alcalinidad (mg/L CaCO3) | 500 - 1500 | 600 | 2500 - 3500 | 3000 | 580 - 1100 |

Nota Fuente. COLLAZOS, Carlos Julio. Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. 2008

2.2.2.3. Tratamiento de los Lodos. El tratamiento de las aguas residuales conduce a la protección de unos subproductos conocidos como lodos o fangos.

Cabe distinguir entre “lodos primarios” (sólidos decantados en el tratamiento primario) y “lodos secundarios o biológicos” (sólidos decantados en clarificador tras el paso de las aguas por el reactor biológico).

La figura 1, muestra los distintos tratamientos englobados en la línea de lodos, el objetivo de estos tratamientos y la naturaleza de los procesos que en ellos tienen lugar.



Figura 1. Tratamientos englobados en la línea de lodos

- **Clasificación de los Lodos**

En principio, los lodos pueden ser clasificados en tres categorías: aprovechables, no aprovechables y peligrosos. (García, 2009).

- **Lodos Aprovechables**

Son los lodos provenientes de un proceso de tratamiento que puede ser reutilizado directa o indirectamente en reciclaje, compostaje y generación de energía. La mayoría de los lodos provenientes de los procesos de tratamiento aerobios y anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una vez estabilizados, pueden ser utilizados como abonos, acondicionadores y restauradores de suelos (CHAVEZ, 2007).

- **Lodos No Aprovechables**

Son lodos que no tienen características aceptables para algún aprovechamiento, por ejemplo tienen muy poca o nula carga orgánica o poder calorífico muy bajo, estos pueden ser desechados junto con los residuos sólidos de origen doméstico en rellenos municipales o monorellenos. En esta categoría se encuentran los retenidos por rejillas gruesas y finas de las plantas de tratamiento.

- **Lodos Peligrosos**

Son aquellos que contienen sustancias que pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente que deben ser dispuestos en sitios especiales con las medidas adecuadas de seguridad.

Comúnmente se suele confundir el término lodo y biosólidos. La principal diferencia radica en que el biosólido es un lodo ya estabilizado es decir, que ha tenido un proceso de tratamiento destinado a reducir la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad, logrando reducir el nivel de peligrosidad y el grado de restricción para su reutilización (Calderon, 2013).

Tabla 9.

Comparación entre las Composiciones Químicas Típicas de Lodos Crudos y Sometidos a tratamiento (Digestión Anaerobia)

| Parámetro | Unidades | Lodos Crudo | Lodos dirigidos anaeróbicamente (Biosólidos) |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------|---|
| pH | Unidades | 5 – 8 | 6.5 – 7.5 |
| Alcalinidad | mg/L de CaCO ₃ | 500 – 1500 | 2500 - 3500 |
| Nitrógeno | % de ST | 1.5 – 4 | 1.6 - 6 |
| Fosforo | P ₂ O ₅ % de ST | 0.8 – 2.8 | 1.5 - 4 |
| Aceites, grasas | % de ST | 6 – 30 | 5 – 20 |
| Proteínas | % de ST | 20 – 30 | 15 - 20 |
| Ácidos orgánicos | mg/L Hac | 6800 – 10000 | 2700 - 6800 |
| Solidos totales | % | 2 – 8 | 6 - 12 |
| Solidos volátiles | % de ST | 60 – 80 | 30 - 60 |

Nota Fuente: Tomada de (Crites al, 1998)

2.2.3. Descripción del sistema de aguas residuales para el área urbana del municipio de Aguachica. Área de Tratamiento de Aguas residuales. Las áreas de tratamiento de aguas residuales se encuentran distribuidas en dos zonas por cuanto el sistema de alcantarillado tributa en dos fuentes hídricas luego de ser tratadas en dos sistemas de tratamiento como son:

Las localizadas hacia las afueras del Barrio 7 de Agosto en la Vereda Las Bateas por la vía que conduce a Puerto Mosquito, en las coordenadas geográficas 8°17'45" de Latitud Norte y 73°38'03.44" Longitud Oeste, a 138 msnm, cuyas descargas luego de ser tratadas tributan al caño El Cristo, el cual cuenta con ingresos en carretera destapada y en buen estado, con vías de

acceso propio, no se han definido las vías de circulación interna, por lo que resulta dispendiosa cualquier operación. (Ver Imagen 1).



Imagen 1. Vía de acceso a la PTAR vía Puerto Mosquito. Municipio de Aguachica
Fuente. Yelitza Vanegas Arenillas (Aprovechamiento del lodo resultante del tratamiento de las aguas residuales como alternativa para obtener abono orgánico)

El sistema de tratamiento localizado hacia las afueras del barrio Jerusalén, en predios de la finca Los Almendros de propiedad del municipio en la Vereda Corral, en las coordenadas geográficas $8^{\circ}19'11.51''$ de Latitud Norte y $73^{\circ}38'07.37''$ Longitud Oeste, a 110 msnm, cuyas descargas luego de ser tratadas tributan al Caño El Pital.

Debido a su topografía el municipio de Aguachica tiene dos sistemas de tratamiento de aguas residuales compuestos cada uno por lagunas facultativas.

En la figura 2, se muestra la ubicación de estas, por una foto satelital de Aguachica.

El sistema más grande es el ubicado en el sector de la vía Puerto Mosquito cuya fuente receptora es el Caño El Cristo. Mientras el otro sistema está ubicado en el sector de Jerusalén cuya fuente receptora es el Caño Pital.

El sistema de la vía Puerto Mosquito recibe aproximadamente un 60 % de las redes de alcantarillado y las de Jerusalén el 40%. Las lagunas de oxidación trabajan con bacterias

facultativas, por las condiciones en que se encuentra el municipio de Aguachica, por lo que hacen un proceso muy eficiente en la remoción de las cargas contaminantes.

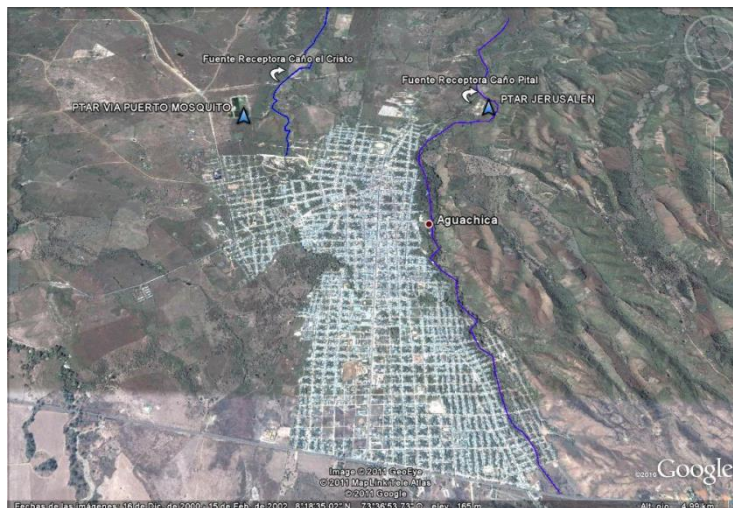


Imagen 2. Lagunas de oxidación vía satelital de Aguachica - Cesar

Fuente: VARGAS CASTRO, Luis Alfonso. Plan de emergencia y contingencia de la empresa de servicios públicos de Aguachica. 2013.

Cada sistema comprende dos secciones compuestas por dos lagunas cada una, y la remoción llega al 80% reduciendo los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendedos Totales. La figura 3, muestra los sistemas de tratamiento de las lagunas de oxidación.

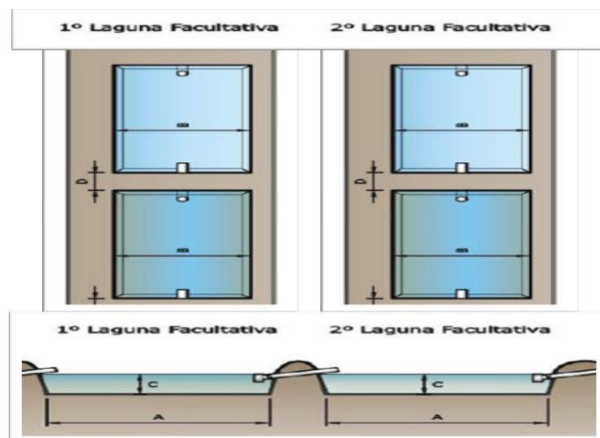


Imagen 3. Estructura de los sistemas de tratamiento de Aguachica – Cesar

Fuente: VARGAS CASTRO, Luis Alfonso. Plan de emergencia y contingencia de la empresa de servicios públicos de Aguachica. 2013.

2.2.4. Aprovechamiento de los lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales.

El principal propósito de la disposición final de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, consiste en devolver estos o sus subproductos al medio ambiente sin que presenten un peligro potencial para la salud; y su tratamiento lo transforma en valiosa fuente de nutrientes (abono orgánico) y como acondicionador de suelo. Sin embargo el proceso comprende el origen, tratamiento y disposición fina (Calderon, 2013)

2.3. Marco conceptual.

Aprovechamiento: Proceso mediante el cual, a través del manejo integral de residuos sólidos y líquidos los materiales orgánicos recuperados previamente separados, tratados y transformados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente.

Bienestar Social. Conjunto de factores que participan en la calidad de la vida de las personas en una sociedad y que hacen que su existencia posea todos aquellos elementos que dan lugar a la satisfacción humana o social.

Contaminación. Presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal. Esta degradación del medio ambiente por un contaminante externo puede provocar daños en la vida cotidiana del ser humano y alterar las condiciones de supervivencia de la flora y la fauna.

Demanda biológica de oxígeno (DBO). La demanda biológica de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Demanda química de oxígeno (DQO). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/l O₂.

Efluente. Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Gestión ambiental. Acciones que se pueden ejecutar para evitar un impacto negativo sobre el ambiente como consecuencia de cualquier actividad del ser humano.

IDEAM. Es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Es una entidad del gobierno de Colombia, dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia.

Impacto ambiental. Cambio o una alteración en el medio ambiente, siendo una causa o un efecto debido a la actividad y a la intervención humana. Este impacto puede ser positivo o negativo, el negativo representa una ruptura en el equilibrio ecológico, causando graves daños y perjuicios en el medio ambiente, así como en la salud de las personas y demás seres vivos.

In situ. Es una expresión latina que significa «en el sitio» o «en el lugar», y que es generalmente utilizada para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar (Henríquez, 2011).

Límite máximo permisible (LMP). Medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Lodos residuales. Parte de la masa bacterial que se llama los lodos en el subproducto que se generan en el tratamiento de aguas residuales, se recircula hacia los reactores de lodos activados para que continúe con el proceso de tratamiento y otra parte se lleva a procesos de espesamiento, digestión y deshidratación. (Calderon, 2013)

Multiparámetro. Instrumento utilizado para medir diferentes parámetros tales como: temperatura, pH y oxígenos disueltos.

Normativa ambiental. Disposiciones legales que establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, cuáles serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del medio ambiente.

Oxígenos disueltos. Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Plantas de tratamiento de aguas residuales. Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o

medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reuso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo personal).

Problemática ambiental. Percepción de una situación o estado no satisfactorio con respecto a una parte o a la totalidad del medio ambiente. Es el empeoramiento cualitativo del entorno causado por la actividad antrópica, como la industrialización la urbanización, la explotación irracional de los recursos, la explosión demográfica, y otros, o en algunos casos por factores naturales.

PTAR: Planta de tratamiento de agua residual.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento, en el cual se deben llevar a cabo los muestreos y se encuentra ubicado antes de su incorporación a un cuerpo de agua.

Recuperación de Suelos. El término "recuperación de suelos" involucra una serie de factores a considerar. A modo de ejemplo, un suelo puede presentar una condición de degradación, un proceso de desertificación, un proceso de erosión (eólica y/o hídrica), una condición de contaminación (por derrames de productos químicos, saturación química por abuso de agroquímicos, relaves volcánicos, depósito de lodos contaminados generados en procesos industriales, etc.), de igual manera puede referirse a la pérdida de materia orgánica, la pérdida de la fertilidad natural, sin descontar modificaciones extremas en lo que respecta a la conductividad eléctrica y pH de un suelo (grado de acidez o alcalinidad), infestación sanitaria crónica (ejemplo

nematodos), sin descontar alteraciones de orden físico como modificación negativa del perfil del suelo, entre otras opciones.

Saneamiento ambiental básico. Es el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental.

Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y excretas, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación.

Sistema de Alcantarillado. Sistema de estructuras y tuberías usadas para el transporte de aguas residuales o servidas (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia, (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten a cauce o se tratan.

Sistema de lodos. Son sistemas biológicos comúnmente utilizados como tratamientos secundarios en las plantas de tratamientos de aguas residuales tanto urbanas como industriales, donde una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Estos sistemas funcionan en base a una suspensión homogénea de microorganismos que biodegradan la materia orgánica del agua residual y las condiciones en la cuales ellos realizan dicha degradación (Calderon, 2013).

STAR: Sistema de tratamiento de agua residual.

Vertimiento puntual. Es aquel vertimiento realizado en un punto fijo, directamente o a través de un canal, al recurso.

Vertimientos. Es cualquier descarga final al recurso hídrico, de un elemento, sustancia o compuesto que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios o aguas residuales. (Donado, 2013)

2.4. Marco contextual.

Aguachica está ubicada al Sur del Departamento del Cesar, a los 8° 18' 45" de Latitud Norte y 73° 37' 37" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, entre la Cordillera Oriental y el valle del Río Magdalena, a una distancia de 301 kilómetro de Valledupar, la capital del Cesar.

Su extensión territorial es de 876.26 kilómetros cuadrados que ocupa el 3,8% de la superficie del Departamento. Limita por el Norte con el municipio de La Gloria (Cesar), El Carmen (Norte de Santander); por el este con Río de Oro (Cesar); por el Sur con Río de Oro, San Martín (Cesar) y Puerto Wilches (Santander) y por el Oeste con Gamarra (Cesar) y Morales (Bolívar). El territorio de Aguachica tiene una zona montañosa al Norte, representadas por la estibaciones Noroccidentales de la Cordillera Oriental con elevaciones entre los 200 2.150 metros sobre el nivel del mar (msnm); al sur una zona de planicie o llanura regada por los ríos Lebrija y Magdalena y sus numerosas quebradas y arroyos, cuya fisiografía oscila entre los 50 y los 200 msnm. (Tejada, 2017)

En el municipio existe una selva tropical inferior que se extiende entre los 50 y los 1000 msnm, ubicada entre la zona del valle del Río Magdalena y Lebrija y ciertos humedales. Aunque esta zona ha perdido su fisonomía selvática y la riqueza de su fauna y flora, por el avance de las fronteras agropecuarias, las talas y las quemadas indiscriminadas, aún se observan algunos parches de pequeños bosques, que cubren una extensión total de 12.148.98 hectáreas, como los ubicados

en las cuchillas de La Esperanza, La Quebra, La Morena, cerros de las Múcuras, filo Santo Domingo y los bosques el Agüil y Potosí que se encuentran en el perímetro del área urbana.

La economía de Aguachica gira alrededor del sector agropecuario, la agroindustria y el comercio, lo cual ha permitido el surgimiento de una serie de servicios de apoyo como el agro técnico, los financieros, el transporte y otros servicios empresariales y personales dirigidos a los diferentes sectores económicos y a la población regional.

El municipio de Aguachica es un centro urbano importante de la región del Magdalena Medio, donde confluyen diversas actividades económicas regionales de Norte Santander, occidente de Santander, sur de Bolívar, sur y centro de Cesar. Sostiene intercambio comercial, principalmente, con los centros urbanos de Bucaramanga (165 km), Cúcuta (245 km), Ocaña (40 km), Valledupar (301km), Barranquilla (479 km), Bogotá (538 km) y Medellín (937 km) (MarcadorDePosición1).

Los factores que hacen de Aguachica un centro subregional son los siguientes:

- Su situación geográfica central equidistante de todos los municipios sobre los cuales ejerce influencia.
- Es punto de convergencia para el mercado de los productos agrícolas.
- Es un punto nodal para el abastecimiento de los mercados regionales.

Los suelos del municipio de Aguachica son variados con diferentes relieves, planos y altos, desde planicies inundables hasta sabanas y colinas bien drenadas y con buenos grados de fertilidad, que permiten la explotación agrícola y ganadera. En la zona alta o de laderas

predomina una economía campesina caracterizada por cultivos de pan coger, café, maíz, fríjol, y otros.

En la zona plana se explota la ganadería y la agricultura empresarial con cultivos de algodón, arroz, maíz, sorgo, y otros menos comerciales como la yuca, la patilla, el aguacate y el mango, entre otros

2.5. Marco Legal

La normatividad ambiental existente responde a la preocupación del Estado por la preservación del medio ambiente y procura garantizar a los habitantes del territorio nacional el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano que se encuentra consagrado en la Constitución Nacional de Colombia de 1991. Los esfuerzos del Gobierno Nacional, para controlar y minimizar el impacto ambiental generado por los diferentes agentes de contaminación se ven reflejados en los decretos, resoluciones, y estatutos ambientales vigentes.

Sin embargo, los esfuerzos nacionales y locales no son suficientes. La Nación en desarrollo de las diversas actividades productivas y comerciales debe tomar conciencia de la obligación que tiene de preservar el medio ambiente y, esto sólo se logra a través del cumplimiento normativo. Si bien es cierto que la adopción de medidas ambientales para minimizar los efectos nocivos causados por los distintos agentes contaminantes resulta para los empresarios un poco costosa, las consecuencias para las futuras generaciones serán aún más graves y los costos no solo serán económicos.

La legislación ambiental a su vez, constituye límites o restricciones a los derechos de la propiedad privada e iniciativa económica. Ello significa que en el ejercicio de los mismos, no se debe abusar degradando sin importar el medio ambiente. El marco legal de todas las disposiciones sobre asuntos ambientales vigentes, se encuentra constituido por:

Constitución política de Colombia. Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. (República de Colombia, Constitución Política de Colombia, 2012)

Artículo 95. La calidad de colombiano enaltece a todos los miembros de la comunidad nacional. Todos están en el deber de engrandecerla y dignificarla. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta Constitución implica responsabilidades.

Toda persona está obligada a cumplir la Constitución y las leyes.

Son deberes de la persona y del ciudadano: Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano; Contribuir al financiamiento de los gastos

e inversiones del Estado dentro de conceptos de justicia y equidad. (República de Colombia, Constitución Política de Colombia, 2012)

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Se dio inicio a una nueva estructura institucional normativa para la gestión ambiental nacional. En esta nueva estructura el Impacto Ambiental juega un papel preponderante al considerarse como un instrumento de planificación que apoyará el proceso de convertir el concepto de desarrollo sostenible en algo tangible (República de Colombia, Ley 99 de 1993, 2012).

De igual manera el Decreto 1594 de 1984 (Ministerio de Desarrollo Económico, 1984), correspondiente a los usos de las aguas y los residuos líquidos se tiene que los sedimentos, lodos y sustancias sólidos provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

Decreto – Ley 2811 de 1974 ó Código de los Recursos Naturales de Protección al Medio Ambiente: define normas generales de política ambiental, reglamenta la propiedad, usos e influencia ambiental de los recursos naturales renovables: aguas no marítimas, atmósfera y espacio aéreo, el mar y su fondo, recursos energéticos primarios, recursos geotérmicos, la tierra y los suelos, flora terrestre, fauna terrestre, recursos hidrobiológicos, el paisaje, su protección y

modos de manejo de los recursos naturales renovables (República de Colombia, Decreto – Ley 2811 de 1974, 2000).

Resolución 0631 del 7 marzo del 2015. Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad con el artículo 18 de la presente resolución.

RESOLUCIÓN 1074 DE 1997 (octubre 28) Derogada por el art. 25, Resolución SDA 3956 de 2009 por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos.

El Director del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA, en uso de sus facultades legales, en especial las conferidas en el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, el Decreto 673 de 1995 y el artículo 10 del Acuerdo 19 de 1996, y considera que:

- Decreto 1594 de 1984, reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos.
- Todo vertimiento, además de las disposiciones contempladas en el artículo 82 del Decreto 1594 de 1984, deberá cumplir con las normas que sobre estos se establezcan.
- Según lo establecido en los artículos 113 y 120 del Decreto 1594 de 1984, las personas naturales y jurídicas que recolecten, transporten y dispongan residuos líquidos, deberán cumplir con las normas de vertimiento y obtener el permiso correspondiente.

- El artículo primero del Decreto Distrital 673 de 1995, dispone: "EL DAMA es la autoridad ambiental dentro del perímetro urbano del Distrito Capital.
- El numeral 4 del Decreto 673 de 1995, dispone: El DAMA podrá expedir o tramitar las normas reglamentos necesarios para prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales y preservar, administrar y conservar el medio ambiente y los recursos naturales en el Distrito Capital.
- A fin de asegurar el interés colectivo de un medio ambiente sano y adecuadamente protegido y de garantizar el manejo armónico y la integridad del patrimonio natural de la Nación, el ejercicio de las funciones en materia ambiental por parte de las entidades territoriales se sujetará a los principios de armonía regional, gradación normativa y rigor subsidiario.
- Decreto Reglamentario 901 del 1 de abril de 1997 emanado por el Ministerio del Medio Ambiente establece la regulación de tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como cuerpo receptor de residuos contaminantes.
- El numeral 2 del artículo 10 del Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital (Acuerdo 19 de 1996), establece que la Autoridad Ambiental es la entidad competente para fijar los índices, factores, niveles o estándares permisibles de la calidad ambiental.
- De acuerdo al análisis estadístico de la información obtenida mediante muestreos continuos de los afluentes, para los diferentes sectores productivos localizados dentro del área de jurisdicción DAMA, se determinaron los estándares máximos permisibles rangos óptimos a vertir en la red matriz de alcantarillado público y en cuerpos de agua.

Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"

Resolución 1096 de 2000. Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, "RAS".

Considera que corresponde al Ministerio de Desarrollo Económico, formular la política de gobierno en materia social del país relacionada con la competitividad, integración y desarrollo de los sectores productivos del agua potable y saneamiento básico y expedir resoluciones, circulares y demás actos administrativos de carácter general o particular necesarios para el cumplimiento de sus funciones;

ARTICULO 121 Sistemas de instrumentación y control.

ARTICULO 175 Desinfección de los efluentes de las PTAR. El proceso de desinfección debe realizarse en el efluente de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), cuando este último pueda crear peligros para la salud de las comunidades aguas abajo de la descarga. El proceso de desinfección que se utilice debe seleccionarse después de la debida consideración de: caudal de aguas residuales a tratar; calidad final deseada de desinfección; razón de aplicación y demanda; el pH del agua que va a desinfectarse; costos del equipo y suministros y disponibilidad.

ARTICULO 176 Manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Todos los niveles de complejidad deben contemplar el manejo de lodos en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Para esto, deben presentarse balances de masa de los procesos

con los trenes de tratamiento de agua y lodos. Los efluentes líquidos del tren de lodos deben integrarse en los balances de masa del tren líquido. Además deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones: No deben descargarse dichos efluentes a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Los lodos primarios deben estabilizarse; se debe establecer un programa de control de olores; se debe establecer un programa de control de vectores. Además se debe hacer una caracterización de los siguientes parámetros en los lodos: sólidos suspendidos, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo y metales; adicionalmente para el nivel alto de complejidad, cromo, plomo, mercurio, cadmio, níquel, cobre y zinc.

Decreto 1369 de 2014. Por el cual se reglamenta y establece el uso de la publicidad alusiva a cualidades, características o atributos ambientales de los productos que generen beneficios ambientales reales, de conformidad con la reglamentación de que trata el artículo 4 del presente decreto, se aplicará a todas las personas naturales y jurídicas que desarrollen actividades publicitarias alusivas a las cualidades, características o atributos ambientales de los productos. Para efectos de lo dispuesto en el presente decreto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá las definiciones y los requisitos que deberán aplicarse para anunciar un producto que genere beneficios ambientales, Previa expedición, las definiciones y requisitos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, deberán surtir el efecto de notificación internacional, a través del Punto de Contacto, ante la Organización Mundial del Comercio y demás socios comerciales.

CONPES 3137 de 2002. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales

Este documento somete a consideración del CONPES las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación.

La política de agua potable y saneamiento básico establece la necesidad de formular un Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales donde sea viable y sostenible económica, social y ambientalmente. Para ello se requiere la articulación de instrumentos económicos y financieros y recursos para la inversión en tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las fuentes hídricas, así como la capacidad de pago de la población, la sostenibilidad financiera e institucional de las empresas para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado y las metas de aumento de coberturas de dichos servicios. En junio de 1999 se definió una agenda conjunta de trabajo entre los Ministerios de Desarrollo Económico (MDE) y de Medio Ambiente (MMA), en la cual se propusieron líneas de acción en materia de política, regulación, fortalecimiento institucional y proyectos sectoriales. En el marco de esta Agenda, los Ministerios y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) han llevado a cabo diversas acciones, llegando a acuerdos entre los que se destacan los siguientes: necesidad de articular los instrumentos de las políticas sectoriales de agua potable y saneamiento básico y de medio ambiente para la formulación del PMAR que promueva la descontaminación y mejoramiento de la calidad de los cuerpos hídricos.

Dicho Plan deberá tener en cuenta las condiciones socioeconómicas de los municipios y de los usuarios de los servicios, construir criterios y metodologías para realizar una identificación de

las inversiones requeridas en descontaminación de los cuerpos de agua de la Nación y priorizar los principios que requieren atención inmediata y que a su vez cuenten con las condiciones ambientales, técnicas e institucionales requeridas para la construcción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, realizar una priorización de las inversiones en tratamiento de aguas residuales, se realizara cobro en las tarifas del agua para recuperar las aguas ya contaminadas por uso doméstico o industrial.

La contaminación de un cuerpo de agua depende del tamaño y calidad del vertimiento así como del tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación.

Los cuerpos hídricos del país son receptores de vertimientos de aguas residuales y su calidad se ve afectada principalmente por los vertimientos no controlados provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial.

Estrategias en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: El Gobierno Nacional ha desarrollado las siguientes estrategias: i) aumento de coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado, ii) ampliación del tratamiento de aguas residuales, y iii) desarrollo de esquemas tarifarios que permitan financiar los costos de inversión y operación de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Ampliación del tratamiento de aguas residuales: Con el fin de avanzar en la descontaminación del recurso hídrico, el MMA conjuntamente con las Autoridades Ambientales Regionales -CAR- (Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones para el Desarrollo Sostenible y Autoridades Ambientales de los Grandes Centro urbanos) ha venido apoyando la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales. En la actualidad existen 237 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas 10 construidas en 235 municipios, que tratan cerca del 8% de los vertimientos producidos por éstos. Sin embargo, gran parte de estos

sistemas de tratamiento de aguas residuales presentan deficiencias en cuanto a su capacidad y no cumplen con el proceso completo de tratamiento.

Así mismo, aunque la Ley 142 de 1994 contempla la recuperación de los costos de operación y mantenimiento, en la mayoría de los casos estos no fueron incluidos en la estructura de costos de los prestadores, y a la fecha no ha sido posible garantizar la sostenibilidad de dichas inversiones. Las Empresas de Servicios Públicos (ESP), especialmente de las grandes ciudades han realizado inversiones en tratamiento de aguas residuales, incluida la construcción de colectores e interceptores para recolectarlas

Decreto 1287 de 2014. Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, aplica a todas las personas prestadoras del servicio público domiciliario de alcantarillado en el componente de tratamiento de aguas residuales municipales como productores de biosólidos así como a los distribuidores y a los usuarios de los mismos en el territorio nacional.

Resolución 058 de 2002. Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos tiene como objeto Establecer los límites máximos permisibles y requisitos de operación para incineradores de residuos sólidos y líquidos con el fin de mitigar y eliminar el impacto de actividades contaminantes del medio ambiente.

Decreto 948 de 1995. Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención,

control y atención de episodios por contaminación del aire, generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, se regulan el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.

El presente decreto tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del desarrollo sostenible.

CONPES 3550 de 2008. Este documento somete a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, los lineamientos para la formulación de una Política Integral de Salud Ambiental, con el fin último de contribuir bajo un enfoque integral al mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar de la población colombiana. El documento presenta un diagnóstico, marco conceptual, objetivos, lineamientos, organización institucional y un plan de acción que tienen como propósito fortalecer la gestión integral para la prevención, manejo y control de diferentes factores ambientales que tienen el potencial de originar efectos adversos en la salud humana, enfatizando especialmente en los componentes de calidad del aire en exteriores e interiores, calidad de agua y seguridad química.

En Colombia no se dispone de leyes, reglamentos o normas sobre la gestión de biosólidos. Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural estudian un borrador de norma “Por la cual se reglamenta el Artículo 70 del Decreto 1594 de 1984 sobre lodos estabilizados generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, para su incorporación al ciclo económico productivo, y se dictan otras disposiciones” (CONIL, 2000)

DECRETO 1287 DE 2014 “Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”. Que los artículos 79 y 80 de la Constitución Política consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente. Que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, como responsable de la formulación de políticas de agua y saneamiento básico, viene promoviendo el incremento en los niveles de tratamiento de los vertimientos de los sistemas de alcantarillado municipales, lo que ha originado que en el país se haya aumentado la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales. Que el tratamiento de aguas residuales municipales combina una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico, considerados tratamientos primarios y secundarios en su mayoría, cuyo resultado es la producción de residuos o subproductos llamados lodos, los cuales deben ser sometidos a procesos de estabilización para reducir la carga contaminante, y al final se obtiene un producto denominado “biosólidos”. Que estos biosólidos poseen características físicas, químicas y microbiológicas que deben ser evaluadas para determinar sus posibles usos o una adecuada disposición final.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación.

Dado el tipo de estudio y los objetivos planteados anteriormente la metodología a realizar es Descriptiva y Cualitativa, ya que se propuso la formulación de alternativa para el aprovechamiento de lodos del STAR de Aguachica- Cesar, buscando disminuir los impactos ambientales que se puedan producir en el proceso realizado.

La investigación es de tipo descriptiva, ya que “responde a las preguntas quién, qué, cuándo, dónde y cómo” (Abreu, 2012, pág. 192). Esto quiere decir que el objetivo principal es caracterizar la situación o problema que se presenta en el área de estudio, mediante el respectivo registro, análisis e interpretación de los datos recopilados, los cuales se obtienen de diferentes maneras.

La investigación cualitativa es aquella donde se estudia la calidad de las actividades, relaciones, asuntos, medios, materiales o instrumentos en una determinada situación o problema. (Lamberto Vera Vélez, UIPR, Ponce, P.R.)

Para la realización de este proyecto se evaluará todos los procesos realizados en el STAR de Aguachica-Cesar, con el fin de realizar un diagnóstico, se analizará el estado actual del sistema con la normatividad ambiental vigente, para formular medidas ambientales en la ejecución de la gestión interna y externa, por último para el desarrollo de lo anterior se utilizará un plazo de seis meses.

3.2 Población.

Se establece el concepto de Población como “el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación” (López, 2004),

La población en este caso hace referencia a la totalidad de los lodos residuales, resultantes del sistema de tratamiento de aguas por medio de lagunas de oxidación del STAR vía puerto Mosquito, la cual está a cargo de la empresa de servicios públicos ESPA. S.A. del municipio de Aguachica Cesar, será la

3.3 Muestra.

La Muestra es “un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación (...) es una parte representativa de la población” (López, 2004).

Diariamente ingresan al sistema un aproximado de 53,93m³ de sedimentos, de los cuales se retienen un 77,53% equivalente a 41,81 m³ de sedimento. Aunque este valor se estimó experimentalmente el porcentaje de retención y la cantidad de sedimentos diarios varía de acuerdo a la carga de residuos generada.

Para establecer la cantidad de sedimento se tomaron muestras en el afluente, en la laguna de estudio y en el efluente, para luego ser llevadas al laboratorio donde se tomaron varias alícuotas con diferentes volúmenes, en donde posteriormente fueron sometidas en el proceso de centrifugación para determinar los niveles de producción de lodo en el sistema de tratamiento de aguas residuales, con este proceso se determinó que diariamente entra al sistema un porcentaje promedio de 0,89%, se retiene 52,45% y sale un 0,20%, para hallar estos porcentajes se tuvieron en cuenta el volumen de la muestra, el volumen de sedimentación y el porcentaje de

sedimentación, estos dos últimos eran arrojados por la centrifugadora dependiendo del volumen de cada muestra .

Para la determinación de la muestra en la presente investigación se utilizando la siguiente fórmula estadística para población finita.

$$n = \frac{N(Z_c)^2 xPxQ}{(N - 1)(E)^2 + (Z_c)^2 xPxQ}$$

Dónde:

n = Número de elementos de la muestra.

N = Número de elementos del universo.

P/Q = Probabilidades con las que se presenta el fenómeno.

Z^2 = Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido: siempre se opera con valor sigma. Véase la tabla de valores de Z.

E = Margen de error o de imprecisión permitido (lo determinará el director del estudio).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información.

La propuesta de formular alternativas para el aprovechamiento de los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) vía puerto mosquito de municipio de Aguachica Cesar se desarrollara atendiendo a la necesidad de información que se tendrá para cada objetivo específico planteado de la siguiente manera:

Etapa 1:

Es necesario conocer la planta de tratamiento de aguas residuales y los lodos generados en el municipio de interés, para esto se realizaron el levantamiento de información primaria y secundaria

Información primaria. Se realizara visitas a ESPA. S.A. que es la empresa operadora de la STAR, en donde se realizaran diferentes entrevistas y aplicación de una encuesta para conocer el manejo de los lodos y formular las respectivas mejoras.

Información secundaria. Se llevara a cabo el análisis hecha a las aguas residuales, y se consultara en diferentes fuentes de información secundaria como libros, tesis, internet, etc...

Etapa 2.

De acuerdo al decreto 1287/2014 donde se establecen los criterios para el uso de los biosolidos generados en la planta de tratamiento de aguas residual, por medio del laboratorio certificado; para analizar los parámetros:

Químicos – Metales (Arsénico, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc.),

Microbiológicos (Coliformes fecales y Salmonella sp.). Para la caracterización de estos parámetros se llevará a cabo el siguiente procedimiento.

En los parámetros microbiológicos no se te tuvieron en cuenta los huevos de hemiltos porque se presentó inconvenientes en la parte técnica causándonos retraso a la hora de ejecutar el proyecto por parte de la empresa que nos estaba facilitando el proceso.

Etapas 3.

Partiendo de la información recolectada en libros, encuestas y visitas realizadas, se analizará para establecer las alternativas de aprovechamiento de los lodos residuales del sistema de tratamiento de aguas residuales doméstica e industriales del municipio.

3.5 Análisis de la información

Inicialmente se buscará información sobre el tema alternativas para los aprovechamientos de los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica.

Posteriormente se hará un análisis a la información recopilada para determinar de dónde proviene y que expectativas puede brindar para generar alternativas y aprovechamiento de los lodos.

Luego se laborará un documento con la información previamente seleccionada y de manera ordenada a fin de mostrar información que sea de utilidad para nuevos investigadores.

La recolección de la información necesaria para estructurar el proyecto, se basará en encuestas y entrevistas, formato, etc. La observación directa es necesaria para las respectivas fases de la revisión documental, pues es requerida para la elaboración del documento y de otros ítems relacionados con el tema en desarrollo.

Capítulo 4. Presentación de Resultados

4.1. Realizar un diagnóstico inicial de todo el sistema actual de los lodos residuales en el sistema de tratamiento Vía puerto mosquito.

El sistema de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito fue construido por la ESPA S.A.S. empresa que presta los servicios públicos en el municipio y que actualmente realiza la operación.

El sistema de tratamiento vía Puerto Mosquito recibe aproximadamente un 60 % de las redes de alcantarillado. Las lagunas de oxidación trabajan con bacterias facultativas, por las condiciones en que se encuentra el municipio de Aguachica, por lo que hacen un proceso muy eficiente en la remoción de las cargas contaminantes. Cada sistema comprende dos secciones compuestas por dos lagunas cada una reduciendo los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendedos Totales.

Imagen 4. Ubicación geográfica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Empresa de Servicios Públicos (ESPA.S. A) La estructura del sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito se compone por las siguientes secciones:

Cribado

Desarenación

secciones de lagunas

manjoles

diques.

Cribado: El sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito cuenta con 1 (uno) sección de cribado que tiene como función la remoción de los sólidos gruesos normalmente presentes en las aguas de origen doméstico, provenientes de todo el casco urbano del municipio de Aguachica-cesar.

Imagen 5. Cribado



Fuente. Autoras

Desarenación: El sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito cuenta con 1 (uno) sección de Desarenación el cual tiene como función la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Este proceso se realiza con el fin de evitar que se produzcan depósitos en las obras de conducción y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.

Imagen 6. Desarenación



Fuente. Autoras

Secciones de lagunas: El sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito se encuentra conformado por dos secciones. Una sección anaerobia conformada por 2 (dos) lagunas de oxidación. Y otra sección facultativa compuesta de igual manera por 2 (dos) lagunas de oxidación, para un total de 4 (cuatro) lagunas de oxidación.

Las cuales tienen como función la remoción de materia orgánica y otros parámetros como Demanda biológica de oxígeno (DBO), Sólidos suspendidos totales (SST), Aceites y grasas, sólidos sedimentables entre otros. La sección de lagunas que conforma el sistema de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito está operando de manera ineficiente debido a que la remoción en parámetros es muy baja como se muestra a continuación: 70% DBO y 55% SST, siendo la fuente receptora el caño el Cristo respectivamente, lo que da a conocer que el

funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales no es efectivo ya que la remoción debe ser $>80\%$ como lo estipula el decreto 1594 de 1984

Imagen 7. Sección de lagunas



Fuente. Autoras

Diques: El Sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito se encuentra conformado por una serie de diques o también llamados cajas los cuales están distribuidos de la siguiente manera: 5 (cinco) diques por cada laguna de oxidación para un total de 20 (veinte) los cuales hacen presencia en la parte interior de cada una de las lagunas y que en el momento se encuentran operando.

Los diques son conectores de flujo de agua residual que actúan después de que hayan pasado un determinado tiempo de retención. Además, regulan el flujo superficial del agua

residual y hace que esta se transporte de una laguna a otra. Hasta que se realiza el proceso de tratamiento.

Imagen 8. Diques



Fuente. Autoras

Caja de distribución: El sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito cuenta con 1 (uno) caja de distribución que tiene como función la distribución del agua residual después de que esta haya pasado por el proceso de cribado y Desarenación. Posteriormente procede a cada una de las lagunas de oxidación.

Imagen 9. Caja de distribución



Fuente. Autoras

Manjoles: El sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito cuenta con 34 (treinta y cuatro) manjoles los cuales tienen como función la distribución del agua residual a cada una de las lagunas de oxidación, después de que esta haya pasado por la sección de caja de distribución.

Los manjoles que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales desempeñan su función según lo exigido. Actualmente un pequeño porcentaje de manjoles (8) se encuentran sin su respectiva “tapa” debido al vandalismo presentado en la zona, pero esto no tiene gran incidencia debido a que el proceso sigue normalmente. Sin embargo, la proliferación de olores se incrementa debido al escape de gases que esto ocasiona. La figura muestra la estructura de los manjoles que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Imagen10: Manjoles



Fuente. Autoras

La empresa de servicios públicos de Aguachica semestralmente realiza los análisis de las aguas residuales para la determinación de producción de lodo en el STAR, el cual es necesario establecer la calidad del agua tratada por las lagunas de oxidación vía Puerto Mosquito; para ello, se analizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual tratada.

Se realizó una caracterización del agua residual en el afluente y efluente, por medio del laboratorio certificado, laboratorio Ambiental y de alimentos Nancy Flórez García el día 17 de marzo del 2017 analizando los siguientes parámetros: - físico (temperatura), químicos (pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, nitrógeno total, nitrato y fosforo.), microbiológicos (demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), Coliformes totales y Escherichia coli.).

Tabla 10.

Resultados emitidos por el laboratorio

| VARIABLES | AFLUENTES | EFLUENTES |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| pH | 7.78 | 8.10 |
| Temperatura °C | 27.9 | 29.6 |
| Grasas y aceites mg/L | 18.2 | 17.5 |
| Solidos suspendidos mg/L | 117 | 99.4 |
| DBO5 mg O ² /L | 158 | 66.4 |
| DQO mg O ² /L | 223 | 63.0 |
| Fosforo total mg P/L | 2.42 | 1.88 |
| Caudal L/s | 79.0 | < 0.886 |
| Solidos totales mg/L | 491 | 6.95 |
| Nitratos mg NO ₃ /L | 2.60 | 435 |
| Oxígeno disuelto mg O ² /L | 0.78 | 156 |
| Nitrógeno total mg N/L | 24.1 | 19.3 |
| Coliformes totales NMP/100 mL | 248.9x10 ⁵ | 135.4x10 ⁵ |
| Escherichia coli NMP/100 mL | 73.3x10 ⁵ | 461.1x10 ⁵ |

Nota. Fuente: ESPA.S. A

La siguiente información fue tomada de un Proyecto realizado en la empresa de servicios públicos de Aguachica Cesar ESPA.S.A. Desarrollado en el 2013 por una pasante de la UPC, el cual nos facilitó la información para establecer los niveles de producción de lodo en el sistema de tratamiento de aguas residuales, en donde se realizó un muestreo de los efluentes evaluados,

posteriormente cada una de las muestras se sometió a proceso de centrifugación para determinar el porcentaje de sedimentación a la entrada de agua residuales, en la laguna facultativa No. 1, y en la salida de agua del sistema.

No fue posible la elaboración del Método de batimetría para saber con exactitud cuántos lodos existen actualmente ya que la empresa prestadora de servicios no cuenta con los materiales necesarios para la realización de este método

Tabla 11.

Muestreo del Sistema de Aguas Residuales STAR

| PORCENTAJE DE SEDIMENTOS DETERMINADOS POR CENTRIFUGACIÓN | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------------|--|---|-----------------------------|--|---|-----------------------------|
| AFLUENTE DEL SISTEMA | | | LAGUNA FACULTATIVA 1 | | | EFLUENTE DEL SISTEMA | | |
| VOLUMEN DE LA MUESTRA cm ³ | VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN cm ³ | PORCENTAJE DE SEDIMENTACIÓN | VOLUMEN DE LA MUESTRA cm ³ | VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN cm ³ | PORCENTAJE DE SEDIMENTACIÓN | VOLUMEN DE LA MUESTRA cm ³ | VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN cm ³ | PORCENTAJE DE SEDIMENTACIÓN |
| 9,544 | 0,089 | 0,94% | 9,698 | 4,002 | 41,27% | 10,006 | 0,023 | 0,23% |
| 9,698 | 0,092 | 0,95% | 9,390 | 5,311 | 56,56% | 9,544 | 0,015 | 0,16% |
| 10,006 | 0,092 | 0,92% | 9,852 | 4,587 | 46,56% | 9,698 | 0,015 | 0,16% |
| 9,082 | 0,088 | 0,97% | 8,928 | 5,234 | 58,62% | 10,006 | 0,015 | 0,15% |
| 9,236 | 0,077 | 0,83% | 9,082 | 5,188 | 57,12% | 9,544 | 0,031 | 0,32% |
| 9,698 | 0,088 | 0,90% | 9,852 | 5,111 | 51,88% | 9,698 | 0,023 | 0,24% |
| 9,852 | 0,086 | 0,88% | 9,698 | 4,433 | 45,71% | 10,006 | 0,023 | 0,23% |
| 9,390 | 0,092 | 0,98% | 9,236 | 3,695 | 40,00% | 9,852 | 0,015 | 0,16% |
| 9,852 | 0,072 | 0,73% | 8,928 | 5,126 | 57,41% | 9,852 | 0,015 | 0,16% |
| 9,544 | 0,075 | 0,79% | 9,698 | 5,650 | 58,25% | 9,698 | 0,015 | 0,16% |
| 9,544 | 0,074 | 0,77% | 9,390 | 5,388 | 57,38% | 9,544 | 0,015 | 0,16% |
| 8,928 | 0,092 | 1,03% | 9,852 | 5,773 | 58,59% | 9,236 | 0,023 | 0,25% |
| Porcentaje Promedio | | 0,89% | Porcentaje Promedio | | 52,45% | Porcentaje Promedio | | 0,20% |

Nota. Fuente: ESPA.S. A

Al efectuar el cálculo de volumen de las muestras se determinó que el porcentaje promedio de sedimentos en el afluente de aguas residuales del sistema es equivalente a 0,89%, así mismo

el porcentaje de sedimentación presente en la laguna facultativa No. 1 corresponde a 52,45%. Por su parte la sedimentación presente en los efluentes presentó un promedio de 0,20% de sedimentos.

La eficiencia del sistema fue evaluada teniendo en cuenta la remoción de la carga contaminante y el comportamiento de la remoción, utilizando la siguiente ecuación tomada del índice de cálculos para tratamientos biológicos:

$$R = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

Donde;

R: Remoción de la planta en porcentaje (%)

So: Concentración del constituyente X a la entrada

S: Concentración del constituyente X a la salida

Las siguientes ecuaciones fueron modificadas teniendo como base inicial la ecuación anteriormente descrita y de acuerdo a la información obtenida en el proceso de centrifugación.

- Caudal de sedimentos afluentes del sistema

El sistema de entrada de aguas residuales maneja un caudal de 0,07 m³/s, a partir de esta información se procedió al cálculo de entrada de sedimentos.

$$S = \frac{C_e \times S_e}{M_e}$$

En donde,

Ce: Caudal de entrada

Me: Muestra experimental

Se: Sedimentación experimental

$$S = \frac{70000 * 0.085}{9.531} = 624.28 \text{ cm}^3 /s$$

De acuerdo a lo anterior se puede establecer que el volumen de lodos que ingresa cada segundo al sistema equivale a 624,28 cm³; que ratifican un promedio de 53,93 m³ de sedimentos diarios.

- Retención de sedimentos en el sistema

Se realizó un muestreo de los efluentes del sistema para determinar el porcentaje de retención de sedimentos que ejercen las lagunas facultativas y la cantidad de sedimentos que retornan a los cuerpos de agua que son alimentados.

Teniendo en cuenta que el porcentaje de sedimentos presente en los efluentes de agua equivale al 0,46%, podemos determinar:

$$RS = 1 - \left(\frac{PSE}{PSA} \right)$$

En donde,

PSE: Porcentaje de sedimentos de los efluentes

PSA: Porcentaje de sedimentos de los afluentes

$$RS = 1 - \left(\frac{0.20\%}{0.89\%} \right) = 77.53\%$$

De acuerdo a lo anterior, se estableció un porcentaje de retención de sedimentos equivalente a 77,53%, lo cual indica que la laguna facultativa No. 1, objeto de estudio retiene diariamente un 41,81 m³ de sedimentos.

Sin embargo, cabe aclarar que la cantidad de sedimentos retenidos no es constante, puesto que los sedimentos que ingresan al sistema son variables, los cuales dependen directamente a la carga de residuos generada diariamente en el municipio.

4.2. Elaborar análisis químicos - metales y microbiológicos de los lodos resultantes del STAR.

Los análisis realizados en esta etapa se desarrollaron bajo el Decreto 1287 del 2014 por el cual se establecen los criterios para el uso de los biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

El municipio de Aguachica no cuenta con una planta de tratamiento como tal, sino con un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) debido a que cuenta con cuatro lagunas de oxidación las cuales trabajan con microorganismos para el tratamiento de las aguas servidas.

Las variables analizadas fueron realizadas por el laboratorio de servicios integrados para la industria del agro, minero-energética y el medio ambiente (SIAMA. LTDA), los parámetros que se analizaron fueron: -químicos-metales (Arsénico, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc), microbiológicos (Coliformes fecales y Salmonella sp.). Para la caracterización de estos parámetros se llevó a cabo el siguiente procedimiento.

Toma de muestra de lodo residual de las lagunas de oxidación, para la toma de esta muestra se utilizó un equipo de succión de presión para extraer los lodos del sistema de tratamiento, el procedimiento se puede evidenciar en el anexo B, la toma de muestra se realizó el día 14 de septiembre a las 11:30 am; recolectándose una muestra simple para el análisis de los químicos metales y microbiológicos en el STAR. En la tabla 12 se describe la ubicación de la estación de muestreo.

Tabla 12.

Ubicación estación de muestreo

| ESTACIÓN DE MUESTREO | COORDENADAS |
|--|----------------|
| Laguna de oxidación N° 1 del STAR vía puerto | N: 8°17'54,4" |
| mosquito | W: 73°38'02,4" |

Nota.Fuente. Autoras

En el lugar de muestreo no se tomaron parámetros IN SITU por lo que este tipo de muestras no lo requerían, ya que lo que se quiere saber es el grado de peligrosidad de los metales existentes en los lodos residuales.

- Transporte de la muestra. Finalmente, la muestra fue empacada cuidadosamente en posición horizontal en una nevera de icopor que aseguro el mantenimiento de la cadena de frio, adicionando hielo en cantidad suficiente de tal manera que se alcanzó temperaturas de 6°C y 4°C. después de embalada y tapada la nevera fue sellada y transportada inmediatamente al laboratorio.

- Control y vigilancia del muestreo. Para asegurar de la integridad de la muestra desde su recolección hasta el transporte de la muestra; estas fueron enviadas al laboratorio en el menor tiempo posible manteniendo la muestra bajo custodia y vigilancia, registrando en los formatos del laboratorio de remisión de muestra la información solicitada en el espacio de “cadena de custodia relacionada con el ítem de transporte”

Las técnicas de análisis de variables químico-metales y microbiológicas se pueden evidenciar en la tabla 13.

Tabla 13.

Técnica de análisis de variables químico-metales y microbiológicas.

| DETERMINACIÓN | MÉTODO |
|--------------------------|---------------|
| QUÍMICO - METALES | |
| Arsénico | SM 3114 C |
| Cobre | SM 3111 B |
| Cromo | SM 3111 B |
| Mercurio | SM 3112 B |
| Plomo | SM 3111 B |
| Zinc | SM 3111 B |
| MICROBIOLÓGICOS | |
| Coliformes fecales | NTC 4458 |
| Salmonella spp | NTC 4574 |

Nota. Fuente. Laboratorio SIAMA. LTDA

El análisis de los resultados de la muestra de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito del municipio de Aguachica – cesar, nos permite conocer a fondo en qué condiciones se encuentra el nivel de peligrosidad de los metales existentes en ellos.

A continuación, se observan los valores obtenidos para las muestras analizadas, las cuales nos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 14.

Comparación de las variables analizadas según la norma

| Variable | Método | Resultado | Valores de referencia | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| | | | Categoría A | Categoría B | |
| Arsénico (As) | Absorción atómica | 1,06 mg/kg ss | 20,0 mg/kg | 40,0 mg/kg | |
| Químico – Metales | Cobre (Cu) | Absorción atómica | 21,28 mg/kg ss | 1.000,0 mg/kg | 1750,0mg/kg |
| | Cromo (Cr) | Absorción atómica | 8,01 mg/kg ss | 1.000,0 mg/kg | 1500,0mg/kg |
| | Mercurio (Hg) | Absorción atómica | 1,79 mg/kg ss | 10,0 mg/kg | 20,0 mg/kg |
| | Plomo (Pb) | Absorción atómica | 24,8 mg/kg ss | 300,0 mg/kg | 400,0 mg/kg |
| | Zinc (Zn) | Absorción atómica | 114 mg/kg ss | 2.000,0 mg/kg | 2800,0mg/kg |
| Microbiológicas | Coliformes | NTC 4458 | 88*10 UFC/g | <1,00 E (+3) | <2,00 E (+6) |
| | Fecales | | | | |
| | Salmonella spp | NTC 4574 | Neg/25g | Ausencia | <1,00 E (+3) |

Nota. Fuente: Autoras

Según los resultados de las variables químico- metales y microbiológicas analizadas por el laboratorio, observamos que estas variables se encuentran dentro de los valores máximos permisibles de categorización de biosolidos para su uso, las cuales nos indica que se encuentran en el valor de referencia para la categoría A establecido por el decreto antes mencionado, la cual nos recomienda una serie de alternativas para el uso y aprovechamiento de los biosolidos tales como:

En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.

Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines,

patios, plantas ornamentales y arborización.

En agricultura.

Los mismos usos de la Categoría B.

En agricultura, se aplicará al suelo.

En plantaciones forestales.

En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.

Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.

Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.

Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.

En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.

En la operación de rellenos sanitarios tomo: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.

Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.

En procesos de valorización energética.

METALES PESADOS

Desde el punto de vista ambiental, el metal pesado puede ser entendido como aquel metal que, en determinadas concentraciones y tiempo de exposición, cause riesgos a la salud humana

y al ambiente, perjudicando las actividades de los microorganismos. Los principales elementos encontrados en este concepto son: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se y Zn. Algunos son esenciales para los microorganismos en ciertas cantidades, pero otros pueden llegar a ser tóxicos debido a su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su manifestación en la cadena alimenticia. Los metales siempre están presentes en concentraciones bajas en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son las que se encuentran en los lodos residuales industriales.

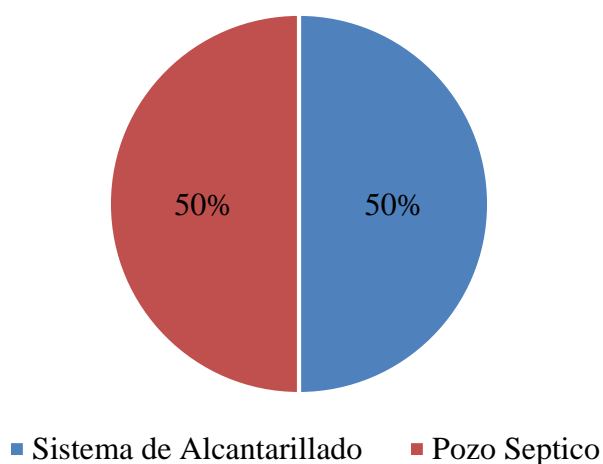
4.3. Establecer las alternativas de aprovechamiento de los lodos residuales del sistema de tratamiento de aguas residuales doméstica e industriales del municipio

A partir de la creación de los programas de protección al ambiente que emitieron leyes y normas para regular el equilibrio ecológico, se ha visto la necesidad de someter a un tratamiento a todos los desechos producidos en las actividades cotidianas. Siguiendo este mismo marco, surge la necesidad de dar un tratamiento al agua residual, así como el manejo adecuado de los lodos para poderlos disponer de tal manera que el impacto al ambiente sea lo menos posible. Lo anterior hace que se cree una corriente en pro del ambiente implementando técnicas y métodos que se adecuen a las necesidades y recursos propios de nuestro país.

Los lodos se deben tratar para facilitar su manejo y evitar los problemas desde olores hasta agentes patógenos. Los tratamientos aplicados modifican las propiedades de los lodos, haciéndolos más adecuados para su reutilización o eliminación.

Para evaluar el conocimiento que tiene la comunidad aledaña al sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) sobre el aprovechamiento que se les pueden dar al lodo residual producido en el sistema se realizó una encuesta a 50 viviendas de la comunidad de tipo informativa la cual consta de 11 ítems

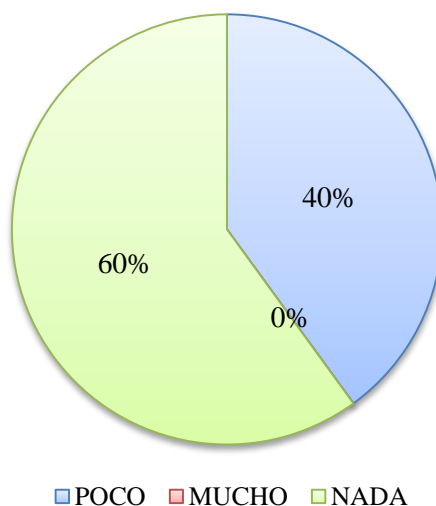
Pregunta 1. ¿Dónde vierte usted el agua residual?



De 50 personas encuestadas de la comunidad aledaña al sistema de tratamiento el 50% vierten sus aguas en el sistema de alcantarillado del municipio y el otro 50% las vierten en pozos sépticos que van directamente al suelo.

Podemos observar que, aunque estas viviendas se encuentren cerca del sistema de tratamiento no todas tienen acceso para conectarse al sistema de alcantarillado municipal, y por ende les toca hacer pozos sépticos para vertir sus aguas residuales y con ella contaminar el suelo.

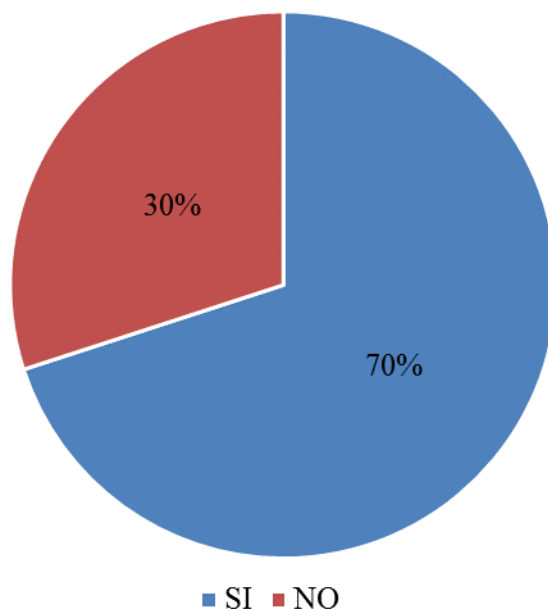
Pregunta 2. ¿Qué conocimiento tiene usted del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en esta zona?



Con un total de 50 personas encuestadas tan solo el 40% tiene conocimiento sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en la zona, mientras que el 60% tiene desconocimiento sobre el sistema.

Claramente podemos observar que la alta cifra de personas desconoce el sistema de tratamiento de aguas residuales ubicados en la zona donde pueden realizar sus vertimientos conectándose a la red de alcantarillado municipal, ya que la mayoría de estas personas son de bajo recursos y no cuentan con ningún tipo de subsidio por parte de las entidades públicas para hacer usos de estos servicios.

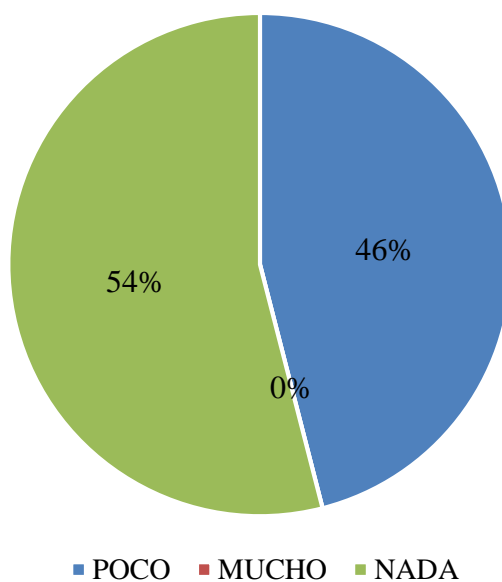
Pregunta 3. ¿Se siente afectado por la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales?



Siendo un total de 50 encuestados tan solo 30% se siente afectado por la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales, mientras que el 70% no se siente afectado.

Siendo tan alta la cifra de personas que no se sienten afectadas por la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales, nos demuestra que estas personas han aprendido vivir con los olores que se producen en el sistema y son consiente que ellos fueron los que llegaron a poblar alrededor del sistema.

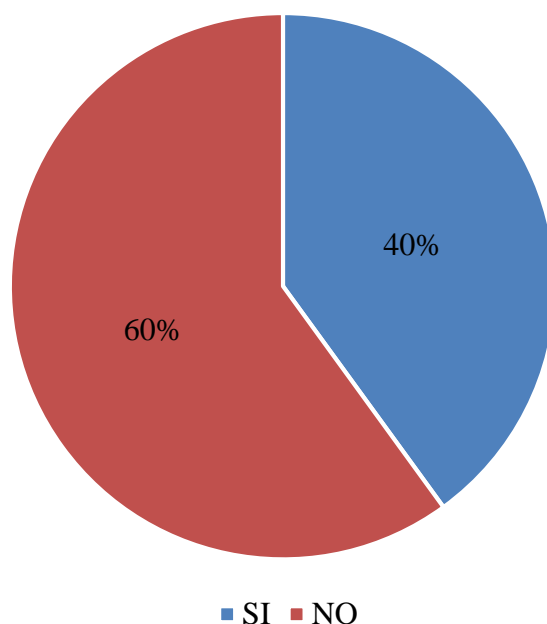
Pregunta 4. ¿Tiene conocimiento de los lodos que se pueden producir en el sistema de tratamiento de aguas residuales?



Con un total de 50 personas encuestadas tan solo el 46% tiene conocimiento acerca de los lodos que se generan en el sistema de tratamiento de aguas residuales, mientras que un 54% lo desconoce totalmente.

Esta pregunta es una clara muestra de la situación actual de la comunidad frente al conocimiento que tienen sobre los lodos que se generan en el sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que solo el 46% de la comunidad encuesta saben algo referente al tema.

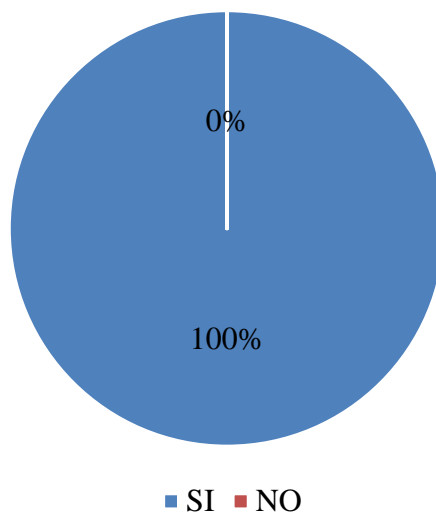
Pregunta 5. Conoce usted si la empresa que presta el servicio de tratamiento de aguas residuales municipal cumple a cabalidad con la gestión de los residuos o subproductos que se generan por el proceso de tratamiento.



Siendo un total de 50 personas encuestadas solo el 40% conoce que la empresa está cumpliendo con el debido tratamiento que se le deben realizar a los residuos o subproducto del sistema de tratamiento, mientras que el 60% lo desconoce.

La mayoría de la comunidad encuestada manifiesta no saber si la empresa prestadora de servicio publico cumple con la gestión que se le realiza a los residuos o subproductos producidos en el tratamiento que se le realiza al sistema.

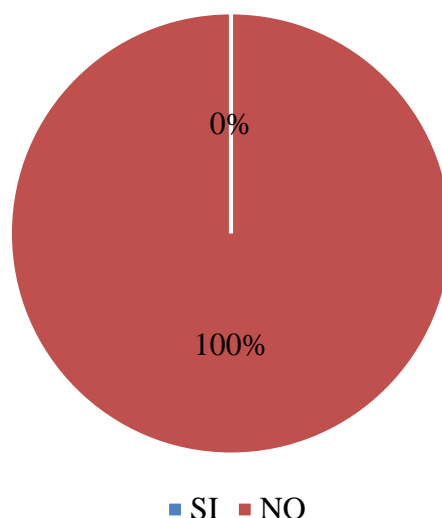
Pregunta 6. ¿Considera usted que se debe realizarse un estudio para darle manejo a problemáticas ambientales que se presentan en sistema de tratamiento de aguas residuales?



Con un total de 50 personas encuestadas el 100% considera que se deben realizar estudios para darle un buen manejo a la problemática ambiental existente en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Siendo el 100% de las personas encuestadas consideran que los entes públicos y las empresas prestadoras de servicios realicen estudios para mejorar el problema existente en el sistema de tratamiento de aguas residuales y darle un mejor uso a los residuos o subproductos generados en este.

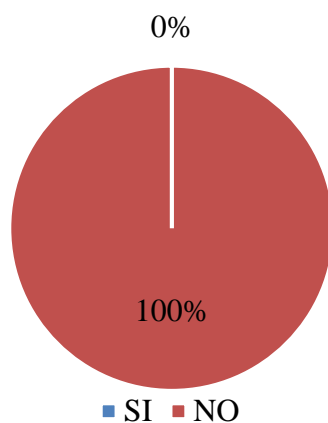
Pregunta 7. ¿Sabe usted que es el aprovechamiento de lodos residual?



Siendo un total de 50 personas encuestadas el 100% no saben que es el aprovechamiento de los lodos residual.

La totalidad de la comunidad encuestada no tienen un conocimiento sobre que es el aprovechamiento de los lodos residual generados en el sistema de tratamiento, ya que no se han realizado estudios ni campañas de información referente al tema de aprovechamiento.

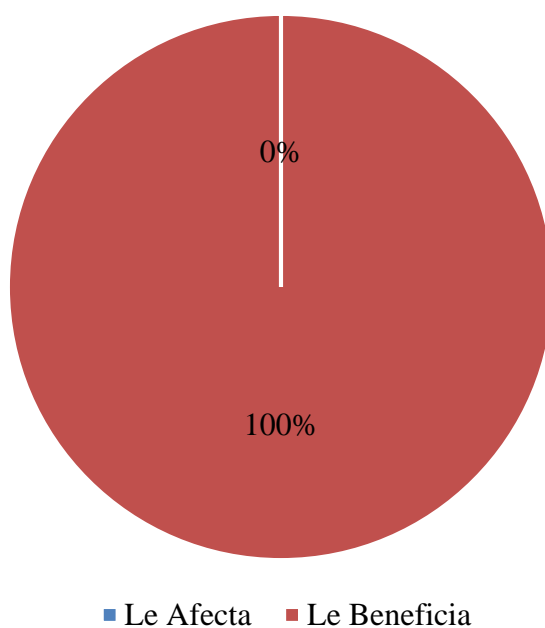
Pregunta 8. Sabe usted de programas de aprovechamiento de lodos residuales que se hayan realizado en el municipio de Aguachica.



Siendo un total de 50 personas encuestadas el 100% expresan que en el municipio no se han hecho programas para el aprovechamiento de los lodos residuales.

La mayoría de la comunidad encuestada expresan no conocer de proyectos que se hayan realizados sobre el tema del aprovechamiento que se le pueden realizar a los lodos generados en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

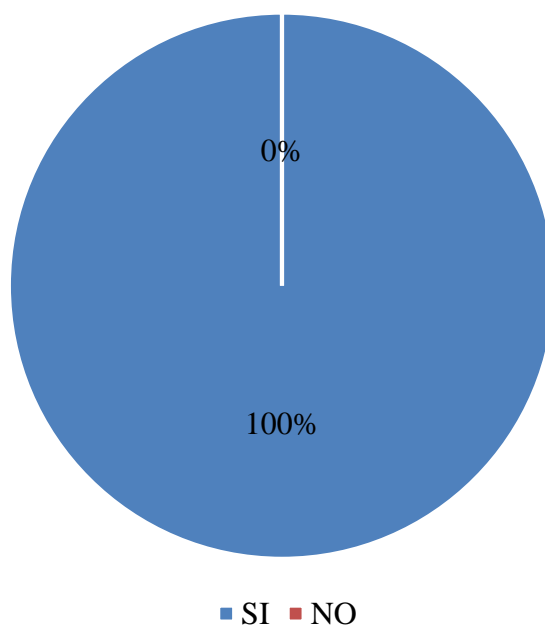
Pregunta 9. ¿Cree usted que el aprovechamiento le afecta o le beneficia?



Siendo un total de 50 personas encuestadas el 100% expresan que el aprovechamiento de los lodos residual les beneficiaría mejorando la calidad de vida de cada uno de los habitantes de esa comunidad.

La mayoría de la comunidad expresan que al aprovechar los lodos generados en el sistema de tratamiento les beneficiaría, ya que con esto tendrían una mejor calidad de vida y podrían brindarle un mejor bienestar a las futuras generación.

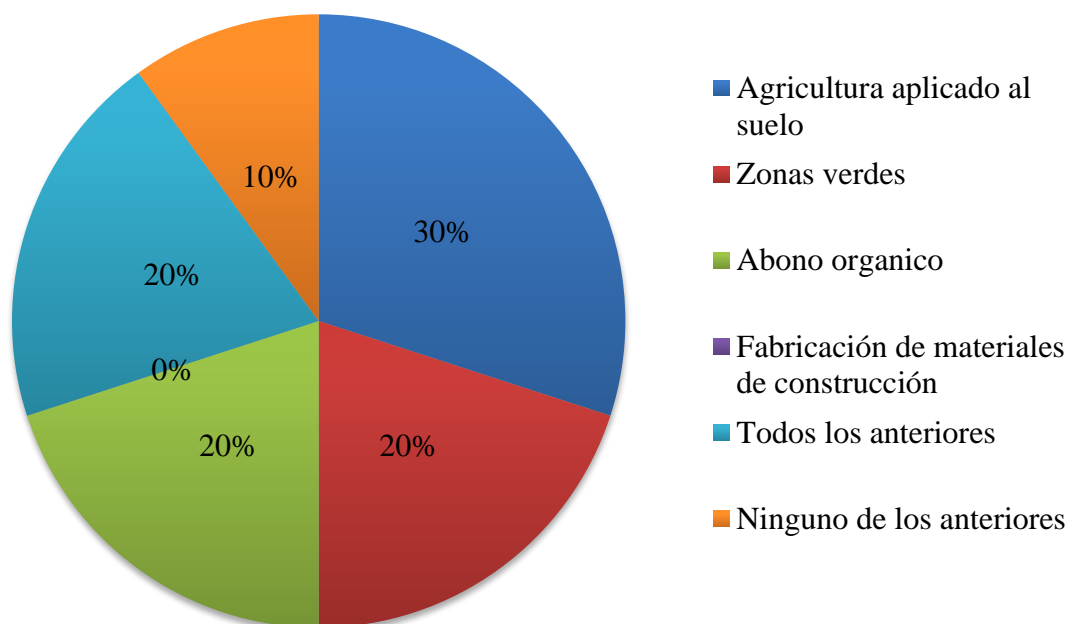
Pregunta 10. ¿Estaría dispuesto a participar en un programa de aprovechamiento de lodos?



Con un total de 50 personas encuestadas podemos observar que la mayoría de ellos presentan gran interés a la hora participar en un programa de aprovechamiento de lodos.

Podemos observar que la mayoría de las personas presentan interés en poder participar en un programa de aprovechamiento de los lodos, lo cual nos hace saber que el mayor y tal vez único problema es la falta de información y de proyectos para darle un mejor uso a los lodos en beneficio de la comunidad en general.

Pregunta 11. ¿Con cuál de los siguientes aspectos cree usted que se aprovecharían los lodos?



Siendo un total de 50 personas encuestadas el 30% cree que los lodos se aprovecharían en la agricultura aplicándolo al suelo, el 20% cree que se aprovecharían mejor en las zonas verdes, un 20% cree que se podrían aplicar como abono orgánico, otro 20% creería que el aprovechamiento se podría utilizar en todas las alternativas propuestas y un 10% nos dice que estos lodos no se podrían aprovechar y aplicar a ninguna de estas alternativas.

Podemos observar que el 30% de la comunidad encuestada estaría de acuerdo que los lodos se deberían aprovechar en la agricultura aplicada al suelo, ya que esta mejoraría las propiedades físicas y químicas de los suelos que han sufrido daños causados por el hombre o por la naturaleza.

4.3.2. Descripción de las Alternativas propuestas para el Sistema de Tratamiento de Aguas

residuales en Aguachica Cesar Vía Puerto Mosquito. Hoy en día están apareciendo restricciones en todas las vías de eliminación. Las legislaciones estrictas junto con la preocupación de los posibles riesgos ambientales y sanitarios conllevan a esparcir los lodos en los suelos. Potencialmente la opción más atractiva sería utilizar los lodos en la agricultura, porque podrían reciclar nutrientes y ser útiles desde el punto de vista agronómico.

De acuerdo a los resultados de los análisis de los lodos obtenidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales que fueron realizados por el Laboratorio SIAMA LTDA, a las encuestas elaboradas a la comunidad y conforme al Decreto 1287 del 2014, se tienen en cuenta las siguientes alternativas para el aprovechamiento de los lodos las cuales fueron escogidas de acuerdo a la necesidad que tiene el municipio y veredas aledañas donde se siembran diferentes tipos de cultivos y se encuentran terrenos erosionados por la sequía presente y la intervención antropológica.

4.3.3.1. Alternativa de aprovechamiento de lodos para Abono Orgánico. Los lodos estabilizados o biosólidos, también pueden ser utilizados como mejoradores de suelo en la agricultura. Éstos mejoran las características del suelo y proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a sus ventajas, los biosólidos pueden utilizarse como sustituto de fertilizantes químicos.

La composición del lodo depende principalmente de las características del afluente del agua residual que entra a las plantas de tratamiento de aguas residuales y de los procesos de tratamiento usados. Entre más industrializada esté una ciudad, tendrá mayores posibilidades de

tener un contenido de metales pesados mayor, y será un problema para la aplicación del lodo al suelo.

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la estructura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos o lodos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos.

Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos, debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales. Existen diversos métodos para la aplicación de biosólidos al terreno. La selección del método depende del tipo de terreno y de la consistencia de los biosólidos (EPA 2000).

Finalmente el compostaje es un destino de los lodos, estos pueden ser utilizados para compostaje sin una digestión previa (Oropeza 2006).

COMPOST

El compostaje es la descomposición biológica de materia orgánica en condiciones aeróbicas. Los objetivos de compostaje son reducir los agentes patógenos por debajo de los

niveles permisibles, degradar los sólidos volátiles, y elaborar un producto útil; la reducción de patógenos es una función del tiempo y la temperatura.

Uno de los tratamientos que desde siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje. Es un sistema de fundamento sencillo, versátil y puede aplicarse a diferentes tipos de materiales; se le considera económico y ecológico.

Descripción del proceso de compostaje.

La adición de un agente de carga a lodos proporciona las condiciones óptimas para el proceso de compostaje, que por lo general dura de 3 a 4 semanas. Un agente de carga actúa como una fuente de carbono para el proceso biológico, aumenta la porosidad, y reduce el nivel de humedad. El proceso de compostaje tiene varias fases, incluyendo la fase activa, la fase de curación, y la fase de secado (EPA 2003).

- Fase activa:

Durante la fase activa o de estabilización, los lodos se airean y dichos lodos de aguas residuales se descomponen debido a la actividad biológica acelerada. El proceso biológico implicado en el compostaje puede elevar la temperatura hasta 60°C o más. En estas altas temperaturas, todos los patógenos que causan enfermedades son destruidos. Los sistemas de compostaje en hileras debe cumplir esta condición mediante el logro de 55°C durante un mínimo de 15 días consecutivos durante los cuales la hilera se removió en cinco ocasiones.

El requisito fundamental es que el material en el núcleo de la pila de compost se mantendrá a la temperatura requerida (55°C) durante el tiempo necesario (3 días). Por lo tanto, la primera fase suele durar 21 días. La aireación se realiza en una de dos maneras: 1) por medios

mecánicos girando la mezcla de manera que los lodos se expone al oxígeno en el aire, o 2) mediante el uso de sopladores de fuerza o tirar de aire a través de la mezcla (EPA 2003).

- La fase de curado:

Después de la fase activa, el material resultante se cura durante 30 días a 180 días. En este momento, la descomposición adicional, la estabilización, la destrucción de patógenos, y desgasificación se lleva a cabo. El compostaje se considera completo cuando la temperatura del compost retorna a los niveles ambientales. Dependiendo del grado de biodegradación durante la fase activa y la aplicación final del producto terminado, la fase de curado no puede llevarse a cabo como un proceso independiente (EPA 2003).

- Fase de secado:

Después de la fase de curación, puede existir un paso más llamado la fase de secado, que puede variar desde pocos días hasta meses. Esta etapa es necesaria si el material va a ser proyectado de acuerdo con la recuperación o el agente de carga utilizado para el reciclaje o para un producto acabado adicional. Si el producto va a ser comercial, el compost final debe ser de 50% a 60% de sólidos (EPA 2003).

Tabla 15. Ventajas y desventajas del compostaje

| VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL COMPOSTAJE | |
|---------------------------------------|-------------|
| Ventajas | Desventajas |
| | |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene un producto de alta calidad comercializable para su uso en agricultura. • Admite ser combinado con otros procesos y presenta unos costos iniciales bajos. | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere contenidos en sólidos entre el 40 y el 60% así como la incorporación de un agente de textura. • Es preciso disponer de un sistema de aireado a presión o bien de Volteado mecánico, y debido a ello existe una posible dispersión de patógenos a través del polvo. |
|---|--|

4.3.3.2. Alternativas de lodos para Usos del Suelo

La aplicación al suelo del lodo residual se define como “la distribución del lodo sobre un terreno o inmediatamente por debajo de la superficie del mismo”. El lodo se puede aplicar en: terrenos agrícolas, terrenos forestales, terrenos marginales y terrenos especialmente preparados para la evacuación del lodo. En los cuatro casos, la aplicación al suelo se diseña con el objetivo de conseguir un tratamiento adicional del lodo. La luz solar, los microorganismos que habitan el terreno y la desecación, se combinan para destruir microorganismos patógenos y muchas de las sustancias tóxicas presentes. Los metales traza quedan atrapados en la matriz del suelo, y los nutrientes los consumen las plantas convirtiéndolos en biomasa útil. En los tres primeros casos, el lodo se utiliza como un recurso valioso para mejorar las condiciones del terreno. El lodo actúa como acondicionador del suelo al facilitar el transporte de nutrientes, aumentar la retención del agua y mejorar la aptitud del suelo para el cultivo, de este modo el lodo sirve como sustituto parcial de fertilizantes químicos caros.

Un suelo sin aportaciones orgánicas se empobrece. El suelo agrícola pierde, en términos medios de 900 a 1 200 kg/ha/año de humus. Estas pérdidas se pueden cubrir con aportes de fuentes variadas de materia orgánica con que se cuente. Utilizando lodos residuales, un aporte de 6 000 a 9 000 kg/ha de materia seca de lodo, cada tres años, puede aportar hasta 20 o 40 por

ciento del humus perdido en un suelo de labor, sin riesgos de contaminación de las aguas por nitrógeno, (Bellapark, 1988).

Cuando el lodo es aplicado a suelos agrícolas, la extensión del agua removida durante el tratamiento es el mejor factor que influye en los costos y procesos de selección al

Momento de la aplicación.

No es necesario remover toda el agua de los lodos antes de la aplicación, pues el agua que contiene puede ser beneficiosa para los cultivos. Aunque los costos de la deshidratación completa de los lodos son más elevados, se justifica cuando estos son compensados con el ahorro en los costos de transporte y también le da al lodo la posibilidad de poder ser almacenado y empacado.

Selección y evaluación del lugar de aplicación:

Cuando las operaciones de incorporación y dispersión del lodo no son ejecutadas de manera adecuada, los biosólidos se concentran en la superficie del suelo y con las lluvias pueden ser transportadas hasta los escurrimientos, además si estos no están bien higienizados el problema se hace más grave. Para evitar estos problemas la legislación de muchos países establecen restricciones en cuanto al área de aplicación.

Los aspectos críticos en la aplicación del lodo al suelo es la localización de un lugar adecuado para el vertido. Las características del lugar determinaran el diseño final y se incluirán en la efectividad global del sistema de aplicación al suelo. Los lugares que hay que considerar

como adecuados dependerán de la opción u opciones de aplicación consideradas (aplicación de terrenos de cultivo, bosques, etc.). Se deberán estudiar a fondo los factores, teniendo en cuenta las técnicas de explotación y los efectos ambientales, también es necesario disponer de una estimación inicial de la superficie del terreno necesario para cada una de las opciones de aplicación consideradas. La determinación final

de la superficie del terreno necesario se debe basar en las tasas de aplicación de proyectos y se debe tener en cuenta la superficie ocupada por la zona de amortiguación necesaria, así como la correspondiente a otras necesidades del sistema.

Características de los sitios de aplicación:

Las características físicas del lugar que merecen especial atención son la topografía, la permeabilidad del suelo, el drenaje, la profundidad hasta el nivel freático, la geología subsuperficial, la cercanía a zonas críticas y la accesibilidad. Antes de iniciar cualquier aplicación de lodos residuales se deberán hacer los estudios antes mencionados en los sitios seleccionados.

- Suelos y Topografía.

La topografía es importante por cuanto afecta al potencial de erosión y escorrentía superficial del lodo aplicado, lo cual afecta el funcionamiento de los equipos. Los suelos mas indicados para aplicación al terreno son: suelos con permeabilidad relativamente bajas,

0.5 a 1.5 cm/h; suelos entre moderadamente bien y bien drenados; suelos alcalinos o neutros (pH \square 6.5), que permitan el control de la solubilidad de los metales y estratos profundos de textura relativamente fina, que permitan gran capacidad de almacenamiento de humedad y de nutrientes.

Tabla.16

Clasificación de los sitios de aplicación de lodos de acuerdo a sus características del suelo, topografía y geología.

| Parámetro | Disponible para aplicación de lodos | | | No disponible para la aplicación de lodos |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|---|
| | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| pH | Mayor o igual de 6.5 | Mayor o igual de 6.5 | Mayor o igual de 6.5 | Mayor o igual de 6.5 |
| Textura | Lar, ML, L, ArL, L | MarL, Ar, ArP. | AM, MA | Arena y grava |
| Pendiente | 0 – 2 | 2 – 5 | 5 – 9 | Mayor de 9 |
| Profundidad del acuífero | Mayor de 5 | 3 – 5 | 2 – 3 | Menor de 2 |

Nota. Fuente. Autoras

- Permeabilidad.

La permeabilidad se refiere a la capacidad que tiene el suelo para drenar al agua a través de los poros en dirección de las fuerzas de gravedad. Este factor depende de la textura del suelo, es muy importante ya que si el grado de permeabilidad es muy alto podrían ocurrir pérdidas de nutrimentos hacia los mantos freáticos.

Tabla 17

Limites de aplicación de lodos al suelo en base a la permeabilidad.

| Permeabilidad (cm/hr) | Grado de limitación |
|-----------------------|---------------------|
| Menor de 0.08 | Severa |
| 0.08–0.24 | Moderada |
| 0.24–0.8 | Ligera |
| 0.8–2.4 | Moderada |
| mayor de 2.4 | Severa |

Nota. Fuente. Autoras

- Profundidad del acuífero.

Las consideraciones sobre la profundidad del acuífero evitan que la aplicación del lodo se pueda controlar mejor sin provocar contaminación. En los Estados Unidos en 1987, 24 estados establecían restricciones de profundidad del acuífero para la aplicación del lodo en el suelo. La distancia variaba de 1–12 metros. En la actualidad la EPA considera los siguientes criterios de aplicación para diferentes sitios: agrícolas, forestales y tierras erosionadas.

Tabla: 18

Criterios de profundidad del acuífero en diferentes sitios.

| Sitio | Acuífero para agua de consumo humano | Acuíferos que no son para consumo humano |
|---------------------|--------------------------------------|--|
| Agrícola | 1–2 metros | 0.5 metros |
| Forestal | 2 metros | 0.7 metros |
| Tierras erosionadas | 1–2 metros | 0.5 metros |

Nota. Fuente. Autoras

Para lograr una protección adicional, si el acuífero esta inmediatamente bajo el sitio de aplicación se deberá considerar un programa de monitoreo por lo menos anual. De acuerdo con las normas oficiales se requiere que los lodos no contaminen con:

- Nitratos en concentraciones iguales o mayores de 10 mg/L
- Sólidos disueltos mayores de 10 000 mg/L

- Distancia de los sitios de aplicación a los Cuerpos de agua superficiales_

Para proteger las aguas superficiales de la contaminación que pudiera ocasionar la aplicación del lodo al suelo la legislación formulo los siguientes reglamentos.

Tabla. 19

Recomendaciones relacionadas con la pendiente.

| Pendiente % | Observaciones |
|-------------|---|
| 0–3 | Es ideal, porque no es propicia para escurrimientos o erosión del lodo líquido o con un porcentaje de sólidos mayor. |
| 3–6 | Aceptable, los riesgos de erosión son ligeros. |
| 6–12 | Se requiere que el lodo sea inyectado al suelo, si es líquido, excepto en aquellos casos en que el terreno tiene un drenaje deficiente. Lo más recomendable es aplicar lodo deshidratado. |
| 12–15 | No se recomienda la aplicación de lodo líquido sin un control del escurrimiento, es recomendable la aplicación de lodo deshidratado. |
| Mayor de 15 | Pendientes mayores del 15 % son recomendables solo cuando el suelo tiene una buena permeabilidad (como los bosques), donde la longitud de la pendiente es corta y constituye la menor parte del área total de aplicación. |

Nota. Fuente. Autoras

Para evitar el escurrimiento del lodo hacia el agua superficial se requiere de un área amortiguadora entre el área de aplicación del lodo y los cuerpos de agua, con el propósito de: Proveer un factor de seguridad contra errores durante la aplicación del lodo, y además, proveer de un tratamiento y filtrado de lodo y/o escurrimiento del lodo que ha sido aplicado en la superficie. El tipo de suelo del área amortiguadora es un factor de determinación del tamaño del área. Un suelo erosionado no es un buen filtro amortiguador, mientras que un bosque no perturbado ofrece un excelente tratamiento. La zona de amortiguamiento se puede construir sembrando alrededor de los sitios árboles, arbustos y pastos.

Tasas de aplicación

Los efectos de los nutrimentos contenidos en los lodos pueden ser observados a corto y mediano plazo, por eso es necesario planear cuidadosamente para que la aplicación no

comprometa la estabilidad de los suelos. La tasa de aplicación está en función de las necesidades de nutrimentos de la especie que se cultiva, de la calidad agronómica del lodo (principalmente nitrógeno) en el suelo donde será aplicado y de la calidad físico-química del lodo. Generalmente el contenido de nitrógeno del lodo puede atender las necesidades de los cultivos y por esta razón las dosis de aplicación son calculadas en función de este elemento, los demás nutrimentos como el fósforo y el potasio son complementados como en los fertilizantes químicos. La tasa de aplicación no debe generar un aporte de nitrógeno superior a la cantidad necesaria para el crecimiento del cultivo para evitar riesgos de lixiviación. En ausencia de información específica se puede adoptar la tasa de 50 por ciento de disponibilidad para el primer cultivo después de la aplicación. (Moros, 2017)

Tabla 20.

Tasas de aplicación de lodos típicos de diferentes opciones de aplicación al suelo.

| Opción de aplicación al suelo | Periodo de aplicación | Tasa de aplicación ton/ha. | |
|---|---|----------------------------|--------------|
| | | Intervalo | Valor típico |
| Uso agrícola | Anual | 2.25–67.5 | 11.5 |
| Uso forestal | Un único periodo de aplicación, o una aplicación cada 3-5 años. | 9–225 | 45 |
| Recuperación de terrenos | Una aplicación | 6.75–450 | 112.5 |
| Terrenos destinados a evacuación del lodo | Anual | 225–900 | 337.5 |

Nota. Fuente. Autoras

No se puede predecir la cantidad de nutrientes presentes en los lodos, como el contenido varía mucho es necesario analizar y evaluar las cantidades de aplicación de los lodos en porcentajes agronómicos para satisfacer los requerimientos de nutrientes.

Formas de aplicación

La aplicación del lodo líquido es relativamente simple ya que en ocasiones no son necesarios procesos de secado y este puede ser inmediatamente bombeado a las áreas de utilización, posteriormente es necesaria una labor superficial para evitar que la tierra se cólmate en perjuicio a la aireación del suelo y respiración radicular de las plantas. El lodo seco puede ser aplicado al suelo con los equipos normales utilizados para la aplicación de heces de animales, estos lodos se pueden convertir en tierra de cultivo, después de haber sido bien tratados y almacenados durante un tiempo de 18 a 24 meses.

Dependiendo del temor de la humanidad a través de la higienización los lodos pueden tener una consistencia pastosa (entre 80 y 85 por ciento de humedad) o aspecto sólido (con menos de 50 por ciento de sólidos). Tanto los lodos pastosos como los sólidos presentan problemas en la aplicación; los pastosos se adhieren en los equipos y los sólidos la formación de terrones se vuelve un problema. Con más del 25 por ciento de sólidos, los lodos presentan características que permiten la aplicación a través de equipos agrícolas clásicos. Para lodos con humedad mayor entre el 75 y 85 por ciento, la aplicación requiere equipos más complejos y sofisticados, de costo mayor y de implementos agrícolas.

Cultivos aptos para desarrollarse en los suelos tratados con lodos

Los cultivos que presentan mayores riesgos son aquellos cuyos productos consumidos tengan contacto directo con el suelo. La especial atención debe ser dada a las especies olerícolas

(repollo, lechuga, etc.) o aquellos que se producen dentro del suelo (zanahoria, rábano, cebolla, etc), y que se consumen en natural.

Tabla. 21.

Sensibilidad de los cultivos a metales pesados.

| Muy sensibles | Sensibles | Tolerantes | Muy tolerantes |
|---------------|-----------|------------|----------------|
| Acelga | Mostaza | Coliflor | Maíz |
| Lechuga | Col | Pepino | Césped |
| Betabel | Espinacas | Calabacita | |
| Zanahoria | Brócoli | Avena | |
| Nabo | Rábano | | |
| Cacahuete | Tomate | | |
| Trébol | Soya | | |
| Alfalfa | | | |

Nota. Fuente. Autoras

Los cereales son los cultivos más recomendables, porque la mayoría pasa por un proceso industrial antes de llegar a la mesa del consumidor o no son consumidos en natural. Cultivos como el café, la caña de azúcar y las plantaciones frutales no presentan riesgos a los consumidores.

Afectación de Bioacumulación de Metales pesados.

Los agentes y las vías de contaminación por metales pesados en las aguas residuales de origen urbano son igualmente diversos, destacando los vertidos ilegales a la red de alcantarillado de aceites lubricantes usados con altos contenidos de plomo, sustancias utilizadas en la industria metalúrgica como refrigerantes y lubricantes con alto contenido en metales, pilas botón con elevados niveles de níquel, cadmio o mercurio procedentes del ámbito doméstico, residuos originarios de la industria del decapado, etc.

La disposición de materiales que contienen metales pesados, en los suelos es de gran interés por sus implicaciones ambientales. La presencia de metales pesados no sólo se debe a la contaminación antropogénica, sino que, además, existe contribución por meteorización de rocas, al que se denomina nivel basal. Con frecuencia los metales pesados se encuentran en forma iónica interactuando fuertemente con la matriz del suelo. Estos metales pueden movilizarse y cambiar su forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales, entre los que se pueden citar el uso del suelo o la saturación de la capacidad de taponamiento.

El cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) son dos elementos no esenciales de amplia distribución y bien conocidos por sus efectos altamente tóxicos en los sistemas biológicos. En las últimas décadas ha aumentado la disponibilidad de estos elementos por la explotación minera. La posterior liberación de estos metales es motivo de preocupación, como consecuencia del aumento de su biodisponibilidad y riesgo toxicológico.

Quizás la opción más interesante para nuestro país, sea el aprovechamiento de los lodos como mejoradores de suelos, ya que, además de proporcionar nutrientes, facilitan el transporte de los mismos, incrementan la retención de agua y mejoran el suelo cultivable. Por tanto, al uso estrictamente agrícola hay que sumar la posibilidad de que se les pueda utilizar para regenerar suelos estériles o bien tratar suelos de bosques, lo que permitiría mejorar la cubierta vegetal, redundando en una menor escorrentía y una mayor capacidad de infiltración de esos suelos.

Vemos, pues, que la aplicación controlada de lodo al suelo supone un aporte de cantidades significativas de nutrientes (carbono, nitrógeno, azufre y fósforo) y micronutrientes (zinc, hierro

y cobre), propiciando una situación favorable para el desarrollo de las plantas. No ocurre lo mismo con otros metales como el cadmio, mercurio, plomo, etc., que resultan altamente tóxicos para cualquier forma de vida vegetal o animal.

La tabla 22 resume los principales efectos de algunos metales pesados como cadmio, cromo y mercurio sobre las plantas, animales y seres humanos.

Tabla 22. Principales efectos de algunos metales pesados.

| METAL | EFFECTOS SOBRE LAS PLANTAS | EFFECTO SOBRE LOS ANIMALES Y SERES HUMANOS |
|--------------|--|--|
| Cadmio | <ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la tasa de germinación de semillas, contenido de lípidos y crecimiento general de las plantas. Induce la producción de fitoquelatinas. | <ul style="list-style-type: none"> • Afectaciones gastrointestinales, respiratorias y efectos nocivos a nivel de órganos como el corazón, cerebro, riñón, hígado, huesos. |
| Cromo | <ul style="list-style-type: none"> Disminución de la actividad enzimática y crecimiento general de la planta. Produce daño a nivel de membrana, clorosis y daño a nivel de raíz. | <ul style="list-style-type: none"> Alteraciones crónicas en el sistema nervioso y tracto gastrointestinal del ser humano, Disfunciones renales producidas por la necrosis de túbulo proximales o distales y Cáncer de pulmón y estómago. |
| Mercurio | <ul style="list-style-type: none"> Disminución de la actividad fotosintética, toma de agua y enzimas antioxidantes, acumulación de fenol y prolina. | <ul style="list-style-type: none"> Efectos adversos sobre el sistema inmunológico, el sistema reproductivo, el sistema nervioso central causando retraso mental, sordera, ceguera, impedimento del habla y sobre el sistema cardiovascular influyendo en la presión arterial, la variedad de la frecuencia cardíaca y enfermedades del corazón. |

Nota. Fuente. Autoras

4.3.3.3. Alternativa de disposición final de los lodos .El destino final de los lodos dependerá del tratamiento que hayan recibido y de la posibilidad de aplicarlos en usos definidos, y además, que se encuentren en la cercanía de la zona donde se producen. Si esto último no es viable, su destino final será el relleno sanitario, ya que en muchas ocasiones los costos de transporte hasta el lugar de aplicación llegan a ser muy altos, por lo tanto, aumentarían el costo del proceso de tratamiento.

Durante mucho tiempo en los países del mundo que implementaron el tratamiento de aguas residuales los productos de desecho eran evacuados directamente al suelo sin considerar un tratamiento previo a estos.

Las principales vías de eliminación de los lodos con tratamiento o sin tratamiento durante mucho tiempo ha sido llevarlos a vertederos, esparcirlos en las tierras e incinerarlos, sin tomar en cuenta las consecuencias que acarrear sobre la salud pública y el medio ambiente. Actualmente las principales alternativas de disposición de los lodos comúnmente empleadas en el mundo son:

Incineración.- Proceso de descomposición térmica vía oxidación, donde los sólidos volátiles de los lodos son quemados en presencia de oxígeno, convirtiéndolos en dióxido de carbono y agua, quedando una parte de los sólidos fijos y transformados en cenizas. Es el sistema más caro, pero se usa porque reduce el lodo en más del 90 por ciento y la ceniza producida puede ser transportada sin dificultad, este proceso causa impactos negativos al ambiente como Contaminación al aire e Impactos locales por la disposición de las cenizas

Relleno sanitario.- Disposición de residuos en lugares especiales, compactados y cubiertos. El lodo puede ser dispuesto en rellenos sanitarios exclusivos o co-dispuesto como un residuo sólido urbano, al no realizar la disposición adecuada en el relleno esta puede causar la

contaminación del agua superficial y subterránea, la contaminación del aire y del suelo, transmisión de enfermedades, impactos estéticos y sociales

Recuperación de áreas degradadas.- Disposición de altas dosis de lodos en suelos drásticamente alterados, como área de mineralización donde el suelo no ofrece condiciones para el desarrollo de las plantas, en función de la falta de materia orgánica y de nutrimentos en el suelo, pero también pueden causar impactos negativos al ambiente tales como, contaminación del agua superficial y subterránea, contaminación del suelo, olores molestos, contaminación por elementos en la cadena alimenticia, transmisión de enfermedades

Reciclaje agrícola.- Utilización del lodo en suelos agrícolas, pretende crear fertilidad y asociarlos con las plantas de cultivo, y así obtener beneficios de estos, además de reducir los costos de disposición, también pueden causar una variedad de impactos negativos al ambiente como, contaminación del agua superficial y subterránea, contaminación del suelo, contaminación por elementos en la cadena alimenticia, transmisión de enfermedades e impactos estéticos y sociales

Los métodos de eliminación a través de incineración y rellenos sanitarios se les atribuyen impactos negativos ya que si no se tiene el cuidado necesario al momento de aplicar el tratamiento algunos de los componentes indeseables pueden escaparse y contaminar al medio ambiente, ya sea a la atmósfera si se trata de la incineración o a los mantos freáticos en caso de los rellenos sanitarios.

CONCEPTO AMBIENTAL

De las diversas alternativas de disposición de lodos, el uso agrícola resulta ser más atractivo por económico y por adecuación al ambiente, además, se le puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con los residuos orgánicos que se esparcen en las tierras de cultivo, como el estiércol y los residuos de ganadería. Se han desarrollado numerosos estudios en diferentes partes del mundo e indican que los lodos mejoran las propiedades físicas del suelo aumentando la productividad de las cosechas ya que en sus características presenta aproximadamente, el 50 por ciento de su peso, corresponde a materia orgánica, aportan también cantidades variables de nitrógeno (1–7 por ciento), fósforo (1–5 por ciento), potasio (0.3–3 por ciento) y otros nutrimentos con distintos grados de disponibilidad.

Los lodos que se deben utilizar son aquellos que no impliquen riesgos sanitarios y ambientales para el suelo, productos agrícolas, salud humana y el medio ambiente en general. Por lo tanto, se debe comprobar la ausencia de microorganismos patógenos, niveles tóxicos de ciertos compuestos y metales pesados, para esto se deben controlar las cantidades incorporadas, los efectos acumulativos de las sustancias y elementos a largo plazo, porque cuando hay un exceso, presentan problemas de toxicidad y contaminación. Cuando los lodos se aplican a los suelos pueden generar mejoras en la productividad y en la recuperación de los ecosistemas degradados, debido a que actúan como acondicionadores de suelos que además de favorecer la asimilación de nutrimentos, aumenta la retención del agua, permite una mejor penetración de las raíces y mejora la estructura del suelo, reduciendo la escorrentía.

Desde el punto de vista ambiental y ética profesional es recomendable la no aplicación de lodos para aquellos terrenos agrícolas, ya que los lodos provenientes del sistema tienen un alto nivel de bioacumulación lo que hace que aquellos metales pesados que son tóxicos para los seres vivos tengan grandes afectaciones para aquellos organismos que fueron expuestos a los cultivos tratados con lodos, muchos metales pesados son indestructibles y representan una amenaza ya que no pueden ser degradados ni química, ni biológicamente, es decir no son biodegradables, algunos de estos metales pueden concentrarse a lo largo de la cadena alimenticia y eventualmente bioacumularse en el cuerpo humano.

En la actualidad los suelos se degradan año con año, lo cual provoca que los costos de producción aumenten considerablemente ya que cada vez cuesta más la inversión para mantener la fertilidad de los suelos, por eso, es necesario buscar alternativas que ayuden a corregir estos problemas. Los lodos por su composición no deben verse como un residuo, si no como una fuente importante de nutrimentos que podrían ayudar a corregir los problemas en la agricultura que actualmente se presentan en el país.

Conclusiones

De acuerdo al diagnóstico realizado al STAR nos damos cuenta que la información de la estructura que compone el sistema no es clara, ya que la empresa prestadora de servicios no tiene una información exacta de las medidas que tiene cada estructura, tampoco cuenta con los implementos necesarios para realizar la cuantificación de los lodos existente en las lagunas.

Para la determinación del porcentaje de sedimentos utilizaron el método de centrifugación y las ecuaciones para el cálculo de la eficiencia de remoción de las cargas contaminantes lo cual no es procedimiento exacto para saber la cantidad de sedimentos que entra y se retiene en las lagunas de oxidación.

Los análisis realizados en el STAR Puerto Mosquito nos muestra que se está cumpliendo con los valores máximos permisibles exigidos en el decreto 1287 de 2014 encontrándose bajo los valores de la categoría A, el cual nos recomienda una serie de alternativas que se le pueden dar a los lodos residual y nos da a conocer los niveles de peligrosidad que tienen estos lodos.

Los lodos producidos en las plantas de tratamiento, deben ser aprovechados para que no sólo sean un problema para la población y el medioambiente. Se debe evaluar su aprovechamiento en plantas de tamaño mediano, tanto en la agricultura como en la generación de energía, entro otros posibles aprovechamientos.

Es necesario la realización de los análisis microbiológicos de lodos previos a la aplicación directa en terrenos o suelos, para prevenir problemas de salud en el hombre o en los animales. Esto se previene con aplicación de cal viva o cal hidratada a los lodos antes de ser aplicados directamente al suelo.

Sin importar que anteriormente no se habían realizado análisis a los lodos generados en el STAR, se observa que su calidad es óptima, los cuales se ven evidenciados al obtener los resultados de la muestra analizada, ya que estos no sobrepasan los valores permisibles exigidos en el decreto.

Debido a las características físicas, químicas y biológicas de los lodos, pueden ser aprovechados por una gran variedad de cultivos, siempre y cuando se tome en cuenta las medidas necesarias, los métodos adecuados y las normas existentes al momento de la aplicación, para que de esta manera aplicar solo la cantidad necesaria y así prevenir efectos no deseables en el medio ambiente y la salud pública.

Los resultados arrojados por el presente estudio permiten suponer como una alternativa viable la transformación del lodo para la generación de abono orgánico. Lo anterior obliga a pensar en la necesidad de continuar estudiando la mejor manera de implementar alternativas para el mejoramiento de la eficiencia técnica del sistema y la implementación de nuevas tecnologías ambientales para la empresa.

Recomendaciones

Para el adecuado aprovechamiento de los lodos se requiere realizar el respectivo perfil de lodos, identificando en la laguna los puntos claves en los cuales el lodo acumulado debe ser retirado o bombeado. Además, implementar la remoción periódicamente de los lodos del fondo de las lagunas con el fin de prevenir la “colmatación de los lodos”, recomendado cuando su altura sea superior a la tercera parte de su profundidad y así poder mejorar la eficiencia del proceso.

Realizar análisis químicos tales como Nitrógeno (N), Potasio (K) y Fosforo (P) a los lodos para determinar la cantidad de nutrientes que estos poseen, para poder establecer con exactitud en qué tipos de cultivos se podrían utilizar estos lodos.

El desconocimiento mostrado por la comunidad aledaña al STAR Puerto Mosquito del municipio se puede mejorar buscando mecanismos que permitan hacer participe a la comunidad del tratamiento del agua residual que entre otras cosas ella misma generan y del lodo que queda como subproducto. Es decir, se deben plantear programas y proyectos donde se facilite una básica información sobre los lodos y que usos y aprovechamiento se le pueden realizar a estos.

En el anteproyecto planteado anteriormente del presente trabajo se mencionó realizar análisis químicos metales y microbiológicos referente la decreto 1287 de 2014, los cuales no se pudieron realizar todos los análisis mencionados en la norma, ya que no se contaba con el tiempo requerido, si no que se tuvieron en cuenta los parámetros más fundamentales.

Realizar la cuantificación de los lodos existentes en el sistema para saber con exactitud la cantidad de lodos que se encuentra retenidos en él, y así poder realizar un aprovechamiento adecuado de estos lodos.

Referencias

- Agencia europea para la seguridad y salud en el trabajo. (25 de Octubre de 2016).
<https://osha.europa.eu/es/themes/psychosocial-risks-and-stress>. Obtenido de Los riesgos psicosociales y el estrés en el trabajo.
- Alcaldia de Curumaní Cesar. (6 de Octubre de 2016). http://www.curumani-cesar.gov.co/informacion_general.shtml. Obtenido de Informacion del municipio.
- Bolentinagrario. (30 de Diciembre de 2009). <http://www.boletinagrario.com/ap-6,ganado,436.html>. Obtenido de Glosario de Agricultura Orgánica de la FAO.
- Calderon, C. (2013). *Inspección, vigilancia y control de las plantas de beneficio animal y su importancia en la salud pública Colombiana*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Cardona, M. C. (2016). *Estado de la información forestal en Colombia*. Depósitos documentos de la FAO.
- CHAVEZ, Á. y. (2007). Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico. En Á. y. CHAVEZ, *Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico* (pág. 157). Bogota.
- Cit, Entrevista con: PABLO ALBERTO HERRERA. Op. (s.f.).
- Congreso de Colombia. (2012). *Ley 9 de 1979*. Bogotá.
- CONIL, P. (2000). Las plantas de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R.). En P. CONIL, *Las plantas de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R.)* (pág. 200). Bogota.
- Corte Costitucional de Colombia. (2013). *Sentencia 058 de 1994*. Bogotá.
- Dirección general de protección civil y emergencias. (30 de Octubre de 2016).
<http://www.proteccioncivil.es/es/web/dgpcye/riesgos>. Obtenido de Riesgos.
- Duque de Estrada J, R. (2011). *Factores de riesgo en la predicción de las principales enfermedades bucales en los niños*. . Cuba.
- Echeverry, J. (2009). *Gestión ambiental en las empresas*. Antioquia.
- Gallardo, Y., & Moreno, A. (5 de Abril de 2015).
<http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/Documentos/mod3-recoleccioninform.pdf>. Obtenido de Aprender a investigar:

<http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/Documentos/mod3-recoleccioninform.pdf>

García, O. N. (2016). *Lodos residuales: estabilización y manejo. Caos conciencia*.

Guía Técnica Colombiana. (2009). *GTC 104*. Bogotá: ICONTEC.

Henríquez, H. (2011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agro sistemas . En H. Henríquez, *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agro sistemas* (pág. 247). Chile.

ICONTEC. (2003). Norma Técnica Colombiana NTC 5167: productos para la industria. En ICONTEC, *Norma Técnica Colombiana NTC 5167: productos para la industria* (pág. 450). Bogota.

Llano, J. (2010). *Aplicación de las normas ambientales en relación con el saneamiento básico* . Manizales.

LÓPEZ, M. L. (2008). Biosólidos generados en la producción de aguas. En M. L. LÓPEZ, *Biosólidos generados en la producción de aguas*. (pág. 256). Bogota.

López, P. L. (s.f. de s.f. de 2004). *Población, muestra y muestreo*. Recuperado el 28 de mayo de 2016, de Revista Punto Cero: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1815-02762004000100012&script=sci_arttext

M., J. L. (2007). Cuantificación de salmonella SPP en el proceso de secado solar de lodos generados en plantas tratadoras de aguas residuales. En J. L. M., *Cuantificación de salmonella SPP en el proceso de secado solar de lodos generados en plantas tratadoras de aguas residuales* (pág. 245). Juarez.

Ministerio de Salud Pública. (1 de Noviembre de 2016). <http://www.infecto.edu.uy/prevencion/bioseseguridad/bioseseguridad.htm>. Obtenido de Normas de Biosegurida.

Ministerio de vivienda ciudad y territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015*. Bogotá.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado*. Bogotá.

Organización de las Naciones Unidas. (1972). *Conferencia de Estocolmo*. Estocolmo.

- OROPEZA, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. En N. OROPEZA, *Lodos residuales: estabilización y manejo* (pág. 153). Mexico.
- Perea, F. (2015). *Legislación básica ambiental*.
- República de Colombia. (2000). *Decreto – Ley 2811 de 1974*. Bogotá.
- República de Colombia. (2000). *Decreto 02 del 11 de Enero de 1982*. Bogotá.
- República de Colombia. (2010). *Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas lácteas y cárnicas*. Bogotá: Documento Conpes 3676.
- República de Colombia. (2010). *Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984*. Bogotá.
- República de Colombia. (2012). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Cupido.
- República de Colombia. (2012). *Ley 99 de 1993*. Bogotá.
- República de Colombia. (2012). *Resolución 627 del 7 de Abril de 2006*. Bogotá.
- Rodríguez, E. (2008). Gestión Ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia. En E. Rodríguez, *Gestión Ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia* (pág. 154). Bogota.
- Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. En J. Romero, *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. (pág. 421). Bogota.
- SICOL. (25 de Abril de 2015). <http://www.psicol.unam.mx/Investigacion2/pdf/METO2F.pdf>. Obtenido de Metodos de investigación.
- Universidad Carlos III de Madrid. (2015). *Prevención de riesgos laborales*. Madrid.
- Universidad de la Rioja. (18 de Mayo de 2015). https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/curso_riesgos_biologicos.pdf. Obtenido de Riesgos biológicos.
- Parker, C. F. and L. E. Sommers. 1983. Mineralitation of nitrogen in sewage sludges. *J. Environ. Qual.* 12:150-156.

Cristóbal, S., F. y J. A. Heros. 1997. Valorización de los biosólidos producidos por las estaciones regeneradoras de aguas residuales del ayuntamiento de Madrid. Departamento de aguas y saneamiento, Ayuntamiento de Madrid, España.

Hani, H; A. Siegenthaler and T Candías. 1996. Soil effects due to sewage sludge application in agriculture. *Fertilizer Research*, 43: 149-156.

Apéndices

Anexo A: Evidencia fotográfica de muestreo de lodos para los análisis químicos – metales y microbiológicos



Anexo B: Procedimiento de la toma de muestra

Para la toma de muestra del lodo residual se realizó con la ayuda del ingeniero ambiental Pablo Herrera de la empresa de servicios público de Aguachica ESPA. S.A. quien es el que actualmente se encuentra encargado del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio, con el acompañamiento de dos pasantes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña del programa de ingeniería ambiental, con dos operarios de la empresa prestadora de servicios de baños portátiles quienes manejaban y operaban el equipo de succión a presión, con el cual nos facilitaron la extracción de los lodos del fondo de la laguna N°1 del sistema de tratamiento.

Para realizar este muestreo primero se hizo un reconocimiento del sistema de tratamiento para verificar a que profundidad se encontraban los lodos residuales en la laguna, encontrando lodos a 2 metros de profundidad se procedió a la extracción de estos con la ayuda del equipo antes mencionado, donde se depositó en un balde de 20 litros para poder homogenizar la muestra y luego tomar la cantidad requerida para ser enviada al laboratorio contratado.

Se utilizaron los elementos de protección personal como cascos, guantes, tapa bocas, botas de seguridad, camisa manga larga y overol, para la protección de adecuada.

También se utilizaron materiales como un balde de 20 litros, una bolsa de más o menos 1 kilogramo para la recolección de la muestra, una nevera de icopor con suficientes bolsas de hielo plástico para mantener más o menos una temperatura de 6°C a 4°C, un recipiente pequeño de 100 gramos para la homogenización y empaque de la muestra.

Finalmente, al obtener la cantidad de muestra requerida por el laboratorio se rotulo la etiqueta con la información solicitada y se procedió al embalaje de esta para luego enviarla al laboratorio.

Anexo C: Evidencia fotográfica de las encuestas elaboradas a la comunidad aledaña al sistema



Anexo D: Evidencia originales de los análisis químicos – metales y microbiológicos del lodo residual del STAR Puerto Mosquito del laboratorio SIAMA



SERVICIOS INTEGRADOS
PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
MINERO-ENERGETICA Y
EL MEDIO AMBIENTE
NIT: 804.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

| | |
|--|--|
| Ciudad y Fecha de Emisión: Bucaramanga, 3 de Octubre de 2017 | No. 130803 |
| Solicitante: YARLEIDIS MORA CHINCHILLA | Tipo de muestra: Otro |
| Dirección: CARRERA 4 # 7-55 BARRIO ALCONES. AGUACHICA | Identificación: LODO RESIDUAL |
| Teléfono: 3145271497 | Descripción: // |
| Lugar de muestreo: STAR-AGUACHICA | Responsable de muestreo: Solicitante |
| Fecha de muestreo: 14 de Septiembre de 2017 | Procedimiento de muestreo: Solicitante |
| Fecha de recepción: 18 de Septiembre de 2017 | Tamaño de la muestra: 1350 g |
| Fecha de análisis: 18 de Septiembre al 3 de Octubre de 2017 | Envase o empaque: Plástico |
| Análisis solicitado: Físicoquímico | Lote: // |
| Condiciones de la muestra: Adecuada | Fecha de vencimiento: // |

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

| ANÁLISIS | MÉTODO | RESULTADOS | VALORES DE REFERENCIA |
|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| COBRE TOTAL | Absorción atómica | 21,28 mg/kg ss | --- |
| CROMO TOTAL | Absorción atómica | 8,01 mg/kg ss | --- |
| PLOMO TOTAL | Absorción atómica | 24,8 mg/kg ss | --- |
| ZINC TOTAL | Absorción atómica | 114 mg/kg ss | --- |
| MERCURIO TOTAL | Absorción atómica | 1,79 mg/kg ss | --- |
| ARSÉNICO TOTAL | Absorción atómica | 1,06 mg/kg ss | --- |

ss: suelo seco

OBSERVACIONES: //

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.

Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

Elaboró: ERIKA YURLEY CÉSPEDES MENDOZA
COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034

Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS
DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
ING. BIOTECNOLÓGICO

Código: R-051 Versión: 0.1 Fecha: 22/05/09 Página: 1 de 1

COD: RD-104 Ver: 05 del 14 de Marzo de 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FISIQUIMICO Y/O MICROBIOLÓGICO
N° 8488

INFORMACION DEL CLIENTE

EMPRESA : EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE AGUACHICA E.S.P
DIRECCION : CR 14 N° 10-92
CONTACTO : PABLO HERRERA
CARGO : PROFESIONAL AMBIENTALISTA

NET : 800328622-1
CIUDAD : AGUACHICA
TELEFONO : 5553984

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
LUGAR DE MUESTREO : STAR PUERTO MOSQUETO
PLANTO DE MUESTREO : AFLUENTE STARO
CODIGO : 170728965
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

TIPO DE MUESTRA : COMPUESTA
PLAN DE MUESTREO : 17-03461
PROC. DE MUESTREO : PO-29

HORA MUESTRA : 08:15 p.m.
MUESTREO : 30/06/2017
RECEPCION : 01/07/2017
INICIO ENSAYOS : 01/07/2017
FIN DE ENSAYOS : 14/07/2017
IMPORTE : 15/07/2017

| ANALISIS | METODO - TECNICA | ESPECIFICACION | RESULTADO |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------|
| pH (25,0 °C) V de pH (A) | SM 4500-H+ B - Electrodo | 5 a 9 | 7,78 |
| Temperatura °C (A) | SM 2530 B - Electrodo | 40°C | 27,5 |
| Grasas y Aceites mg/L (A) | SM 5520 B - Partición Líquido - Líquido | Remoción >= 80% en carga | 18,2 |
| Sólidos Suspendidos mg/L (A) | SM 2540 D - Gravimetrica | Remoción >= 80% en carga | 11,7 |
| DBO5 mg O2/L (A) | SM 5210 B / 99A 280 J - Incubación 5 días | Remoción >= 80% en carga | 158 |
| DQO mg O2/L (A) | SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumetrico | N.R | 223 |
| Fósforo Total mg P/L (A) | SM 4500-P-S-E - Fotométrico | N.R | 2,42 |
| Caudal L/s | Fluviómetro - Píndalo | N.R | 79,0 |
| Sólidos Totales mg/L (A) | SM 2540 B - Gravimetrica | N.R | 491 |
| Nitratos mg NO3/L (A) | 2 Redox, 1ra Ed. 1998 - Fotométrico | N.A | 2,65 |
| Oxígeno Disuelto mg O2/L (A) | SM 4500-O-G - Electrodo | N.R | 0,78 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl mg N/L (A) | SM 4500-Norg B / SM 4500-NH4) B.C - Volumétrico | N.A | 24,1 |
| Cefiformes totales NMP/100 mL (A) | SM 9223 B - Sustrato enzimático multivariado | N.R | 248,0x10 ³ |
| Escherichia coli NMP/100 mL (A) | SM 9223 D - Sustrato enzimático multivariado | N.R | 71,5x10 ³ |

Especificación: DECRETO 1076 ART 2.2.3.3.9.14 (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

NOTA :

La fecha de muestreo fue concretada y programada con el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parámetro no requerido por la especificación

(A): Acreditado (S): Subcontratado

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.

Resultado no controlado una vez entregado al cliente.

El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

Página 1 de 2

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: alimentos@labsnancyflorez.com
Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar



REPORTE DE RESULTADOS

| | |
|--|--|
| Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 26 de septiembre de 2017 | No. 130802 |
| Solicitante: YARLEIDIS MORA CHINCHILLA | Tipo de muestra: Otro |
| Dirección: CARRERA 4 # 7-55 BARRIO ALCONES - Aguachica | Identificación: LODO RESIDUAL |
| Teléfono: 3145271497 | Descripción: // |
| Lugar de muestreo: STAR - AGUACHICA | Responsable de muestreo: Solicitante |
| Fecha de muestreo: 14 de septiembre de 2017 | Procedimiento de muestreo: Solicitante |
| Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2017 | Tamaño de la muestra: 491 g |
| Fecha de análisis: 18 – 22 de septiembre de 2017 | Envase o empaque: Plástico |
| Análisis solicitado: Microbiológico | Lote: // |
| Condiciones de la muestra: Adecuadas. | |

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

| ANÁLISIS | MÉTODO | RESULTADOS | VALORES DE REFERENCIA |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------------------|
| COLIFORMES FECALES | NTC 4458 | 88 x 10 UFC / g | |
| <i>Salmonella spp</i> | NTC 4574 | Neg / 25 g | |

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.

Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

Bryan Villamizar

Elaboró: BRAYAN VILLAMIZAR PEREZ
COORDINADOR MICROBIOLOGIA
MICROBIOLOGO REG.FOLIO 799 13-L

Sandra Pinzen Rueda

Revisó: SANDRA PINZON RUEDA
DIRECTOR MICROBIOLOGIA
MICROBIOLOGA REG. 47708 FOLIO 177

Código: R-051 **Versión:** 0.1 **Fecha:** 22/05/09 **Página:** 1 de 1



Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero-Energética y el Medio Ambiente.

www.siamalta.com

Anexo E: Evidencias originales de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual en el afluente y efluente del STAR Puerto Mosquito

Fuente: ESPA. S.A.



LABORATORIO
Nancy Flórez García S.A.S
 Calle Santander 1300 de Usme
 No. 804 C.C. 500000



COD: RO-104 Ver. 05 del 14 de Marzo del 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FÍSICOQUÍMICO Y/O MICROBIOLÓGICO
 N° 8451

INFORMACION DEL CLIENTE

EMPRESA : EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE AGUASCSA S.A.S

DIRECCION : CA 14 N° 10-87

CONTACTO : PABLO HERRERA

CARGO : PROFESIONAL AMBIENTALISTA

NET : 80010500-1

CIUDAD : AGUACHICA

TELEFONO : 5851884

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA

• LUGAR DE MUESTREO : STAR PUERTO MOSQUITO

PUNTO DE MUESTREO : EFLENTE STARO

CUOSOO : 170729967

LOTE : N.A

REGISTRO INVIMA : N.A

TIPO DE MUESTRA : COMUESTA

PLAN DE MUESTREO : 17-03461

PROC. DE MUESTREO : PO-29

HORA MUESTRA : 06:30 p.m.

MUESTREO : 30/04/2017

RECEPCION : 01/07/2017

INICIO ENSAYOS : 01/07/2017

FINAL ENSAYOS : 14/07/2017

INFORME : 15/07/2017

| ANALISIS | METODO - TECNICA | ESPECIFICACION | RESULTADO |
|-------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|
| pH (25,0 °C) U de pH (A) | SM 4501-H + B - Electrométrica | N.A | 6,10 |
| Temperatura °C (A) | SM 1550-B - Electrométrica | 40°C | 25,6 |
| Grasas y Aceites mg/L (A) | SM 1520-B - Partículas líquidas - líquido | Remoción >= 80% en carga | 17,5 |
| Sólidos Suspendedos mg/L (A) | SM 2540-D - Gravimétrico | Remoción >= 80% en carga | 95,4 |
| DBO5 mg O2/L (A) | SM 5210-B / EPA 500.5 - Incubación 5 días | Remoción >= 80% en carga | 66,4 |
| Caudal l/s | Filtador - Filtador | N.A | 63,0 |
| Fósforo Total mg P/L (A) | SM 4504-P B.2 - Fotométrico | N.A | 1,88 |
| Nitratos mg NO3/L (A) | 1. Bismar, 3a Ed. 1998 - Titulométrico | N.A | <0,005 |
| Oxígeno Disuelto mg O2/L (A) | SM 4500-O G - Electrométrica | N.A | 6,95 |
| Sólidos Totales mg/L (A) | SM 2540-B - Gravimétrico | N.A | 433 |
| DDO mg O2/L (A) | SM 5220-C - Reflujo cerrado - Volumétrico | N.A | 156 |
| Nitrogeno Total Kjeldahl mg N/L (A) | SM 4500-Norg B / SM 4500-NH3 B.C - Volumétrico | N.A | 19,3 |
| Escherichia coli NMP/100 mL (A) | SM 9223-D - Substrato cromotico multicolor | N.A | 125,4x10 ⁵ |
| Coliformes totales NMP/100 mL (A) | SM 9223-B - Substrato cromotico multicolor | N.A | 442,1x10 ⁵ |

Especificación: DECRETO 1076 ART 2.2.3.3.9.14 (MINISTERIO DE AMBIENTE Y PLANIFICACION URBANA Y DEL TERRITORIO)

NOTA:

La fecha de muestreo fue concertada y preparada con el cliente.

La muestra solo cumple con los parámetros de la especificación: pH y Temperatura.

N.A: No Aplica N.S: No Suficientado N.B: Parámetro no requerido por la especificación

(A): Acreditado (S): Suficientado

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.

Resultado no controlado una vez entregado al cliente.

El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

REVISÓ

APROBÓ

Página 1 de 1

Teléfonos: (5)5842072 Fax:57013920-3145060908 E-mail: alimentos@labnancyflorez.com
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Anexo F: Formato de la Encuesta aplicada a la comunidad**LODOS ACTIVOS PROVENIENTES DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES**

La presente encuesta tiene como finalidad evaluar el conocimiento que tiene la comunidad aledaña al sistema de tratamiento de aguas residuales sobre el Aprovechamiento que se les pueden dar al lodo residual producido en sistema.

Por favor marcar con una X la respuesta que usted considere.

1. ¿Dónde vierte usted el agua residual?

Sistema de Alcantarillado ____ Pozo séptico____

2. ¿Qué conocimiento tiene usted del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en esta zona?

Poco ____ Mucho ____ Nada____

3. ¿Se siente afectado por la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales?

Si ____ No ____

4. ¿Tiene conocimiento de los lodos que se pueden producir en el sistema de tratamiento de aguas residuales?

Poco ____ Mucho ____ Nada____

5. Conoce usted si la empresa que presta el servicio de tratamiento de aguas residuales municipal cumple a cabalidad con la gestión de los residuos o subproductos que se generan por el proceso de tratamiento.

Si ____ No ____

6. ¿Considera usted que se debe realizarse un estudio para darle manejo a problemáticas ambientales que se presentan en sistema de tratamiento de aguas residuales?

Si ____ No ____

7. ¿Sabe usted que es el aprovechamiento de lodos residual?

Si ___ No ___

8. Sabe usted de programas de aprovechamiento de lodos residuales que se hayan realizado en el municipio de Aguachica.

Si ___ No ___

9. ¿Cree usted que el aprovechamiento le afecta o le beneficia?

Le afecta ___ Le beneficia ___

10. ¿Estaría dispuesto a participar en un programa de aprovechamiento de lodos?

Si ___ No ___

11. ¿Con cuál de los siguientes aspectos cree usted que se aprovecharían los lodos?

___ a. Agricultura aplicado al suelo

___ b. Zonas verdes

___ c. Abono orgánico

___ d. Fabricación de materiales de construcción

___ e. Todos los anteriores

___ f. Ninguno de los anteriores