

**ESTADO DEL ARTE DE LOS METODOS DE REMOCION DE SUSTANCIAS DE
TIPO ORGANICO MAS EXITOSOS EN LAS AGUAS RESIDUALES EN
COLOMBIA**

**ESTEFANIA MOLINA ESPAÑA
MANUEL FERNANDO GUACALES**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
MOCOA
2014**

**ESTADO DEL ARTE DE LOS METODOS DE REMOCION DE SUSTANCIAS DE
TIPO ORGANICO MAS EXITOSOS EN LAS AGUAS RESIDUALES EN
COLOMBIA**

**ESTEFANIA MOLINA ESPAÑA
MANUEL FERNANDO GUACALES**

**Trabajo de grado, modalidad monografía para optar el título profesional como
Ingeniero Ambiental**

**Asesora
Ing. DIANA DUQUE
Ingeniera Ambiental**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
MOCOA
2014**

"Los conceptos, afirmaciones y opiniones contenidas en el presente trabajo son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, y no comprometen al Instituto Tecnológico del Putumayo". (CIECYT)

NOTA DE ACEPTACION

Firma del Presidente del Jurado


Edwin Sanchez. Firma del Jurado

Soenhu Cardoso. Firma del Jurado

Mocoa, Abril de 2014

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	18
1. TITULO	19
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA	19
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3 JUSTIFICACION	22
1.3.1 <i>Impacto del proyecto</i>	22
1.4 OBJETIVOS	26
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	26
1.4.2 <i>Objetivos específicos.</i>	26
2. MARCO REFERENCIAL	27
2.1 MARCO LEGAL	27
2.2 MARCO CONCEPTUAL	29
2.3 MARCO TEORICO	31
2.4 MARCO CONTEXTUAL	33
3. ESTADO DEL ARTE	35
3.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	39
3.1.1 <i>Tanque séptico (TS)</i>	45

3.1.2 <i>Sistemas de infiltración</i>	46
3.1.3 <i>Pozo de absorción (PA)</i>	46
3.1.4 <i>Filtros anaerobios de flujo ascendente:</i>	47
3.2 HUMEDALES ARTIFICIALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	51
3.3 CONTAMINACIÓN EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL LÁCTEA UTILIZANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS.	53
3.4 MODELO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAÑAVERALEJO PTAR-C SANTIAGO DE CALI	58
3.5 SOCIEDAD GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED PROYECTO MINERO DE EXPLOTACIÓN DE ORO.	68
3.6 ENSAYOS DE EFICIENCIA CON MACROFITAS PARA LA REMOCION DE CARGA CONTAMINANTE EN AGUAS RESIDUALES DE HATOS LECHEROS PARA UN SUBSECTOR DE LA LAGUNA DE FUQUENE.	72
3.7 REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.	72
3.8 PLANTA DE TRATAMIENTO SAN FERNANDO	90
3.9 PLANTA DE RATAMIENTO PTAR SALITRE	93
3.10 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL BELLO, ANTIOQUIA ETAPA I	103
4. ANÁLISIS DE LA SITUACION EN COLOMBIA DE LAS PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES Y LOS TRATAMIENTO MAS EXITOSOS	108

5.	METODOLOGIA	111
5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	111
5.1.1	<i>Línea de investigación</i>	112
5.1.2	<i>Sub línea de investigación.</i>	113
5.1.3	<i>Fuentes y técnicas de información</i>	113
	CONCLUSIONES	114
	RECOMENDACIONES	116
	BIBLIOGRAFÍA	117
	ANEXO	122
	REGISTRO FOTOGRAFICO	123

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN TRAMO QUEBRADA LA MACANA-MEDELLÍN.....	44
FIGURA 2. TANQUE SÉPTICO	45
FIGURA 3. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN	47
FIGURA 4. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN	48
FIGURA 5. TANQUE SÉPTICO IMPLEMENTADO POR SANEAR.....	49
FIGURA 6. MÉTODO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	71
FIGURA 7. MÉTODO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	71
FIGURA 8. REMOCIÓN DE CROMO (III) EMPLEANDO CENIZA VOLANTE.....	87
FIGURA 9. REMOCIÓN DE CR(VI) CON ARCILLA ANIONICA.....	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PUTUMAYO.....	39
TABLA 2. PROGRAMACIÓN DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES USANDO CENIZA VOLANTE	83
TABLA 3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA	95
TABLA 4. RESIDUOS SÓLIDOS RETENIDOS EN PRETRATAMIENTO	96
TABLA 5 CARACTERIZACIÓN AGUA TRATADA	98

LISTA DE GRAFICAS

pág.

GRÁFICA 1. COMPORTAMIENTO BDO AGUA CRUDA Y TRATADA.....	101
GRÁFICA 2. COMPORTAMIENTO SST AGUA CRUDA Y TRATADA.....	101
GRÁFICA 3. REMOCIONES DE SST, DBO6 Y DQO	102

LISTA FOTOGRAFIAS

	pág.
FOTOGRAFÍA 1. HUMEDALES ARTIFICIALES	52
FOTOGRAFÍA 2. HUMEDALES ARTIFICIALES	53
FOTOGRAFÍA 3. MUESTRA PARCIAL DE LA PLANTA.....	67
FOTOGRAFÍA 4. PTAR CAÑAVERALEJO	68
FOTOGRAFÍA 5. PLATA DE TRATAMIENTO SAN FERNANDO	93
FOTOGRAFÍA 6.PTAR EL SALITRE	103
FOTOGRAFÍA 7. PTAR BELLO ANTIOQUIA ETAPA I	106
FOTOGRAFÍA 8. PTAR BELLO ANTIOQUIA ETAPA I	107

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Myriam España Cánchala y a mi padre Arley Molina Motta, Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanas Karen Daniela y Alejandra por estar ahí entendiendo y ayudándome.

A mis maestros de la Facultad de Ingeniería ambiental por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de este trabajo de grado.

ESTEFANIA MOLINA ESPAÑA

A Dios y la Virgen por iluminar cada una de mis decisiones y brindarme la sabiduría necesaria para culminar con éxito este camino.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento. (Madre, hermanos y abuelos).

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi trabajo de grado.

MANUEL FERNANDO GUACALES

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores del Instituto Tecnológico del Putumayo, quienes fueron guía y apoyo para el desarrollo personal y en la formación académica adquirida a lo largo de estos años de estudio.

A nuestras familias, por enseñarnos la importancia de la perseverancia en la Consecución de nuestros objetivos.

A la Ingeniería Diana Duque, por haber aceptado ser nuestra asesora, por ser incondicional, por su tiempo dedicado y desarrollo del presente trabajo,

En general a todos los que se vieron involucrados con este trabajo, les agradecemos profundamente por su apoyo y compromiso.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presenta el estado del arte sobre los diferentes métodos y tecnologías para la remoción de los compuestos químicos en las aguas residuales y que hayan sido implementados y estén en funcionamiento en Colombia.

El crecimiento de la población a nivel nacional va a pasos agigantados, esta situación ha impedido que se logre un cubrimiento de servicios públicos adecuado para toda la población. Esta es una de de las consecuencias por la cual existe una situación de descarga indiscriminada de las aguas residuales domésticas e industriales a los cuerpos de agua más cercanos, produciendo un deterioro y con resultados desastrosos en el impacto ambiental y la salud pública.

Los países desarrollados han controlado esta situación utilizando tecnología de punta en estos métodos de las aguas residuales previamente a su descarga en la fuente receptora.

El tratamiento de las aguas residuales necesita de soluciones de avances tecnológicos y apropiados para el medio climático y socioeconómico de la región donde se implemente.

El objetivo del uso de los métodos es reducir la carga de contaminantes del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente. Para cumplir estos fines se usan distintos tipos de procesos dependiendo de los contaminantes que contenga las aguas residuales, sin afectar el ecosistema.

Palabras Claves: Métodos, compuestos químicos, aguas residuales, impacto ambiental, ecosistemas.

ABSTRACT

In this research , the state of art about the different methods and technologies for the removal of chemical compounds in wastewater and have been implemented and are in functionality in Colombia is presented .

The population growth nationally I growing rapidly , this situation has prevented an adequate coverage of public services for the entire population is achieved. This is one of the consequences for which there is a situation of indiscriminate dumping of domestic and industrial bodies closest sewage water , producing a deterioration with disastrous results in the environmental and public health impact .

Developed countries have controlled this situation using technology in these methods of wastewater prior to discharge into the receiving source.

The wastewater treatment needs and appropriate technological solutions to climate progress and socio-economic environment of the region where it is implemented .

The objective of the use of these methods is to reduce the pollutant load spillage and make it safe for the environment. To meet these purposes other types of processes depending on the pollutants containing wastewater, without affecting the ecosystem are used .

Keywords : Methods , chemicals , wastewater, environmental impact ecosystems..

INTRODUCCION

Debido a la inapropiada o a veces inexistente recolección, tratamiento y disposición de los cargas de compuestos químicos generados por las diferentes actividades en la agricultura y la industria, y de las aguas residuales de origen doméstico, nuestro país no ha sido ajeno a esta situación que ha ido creciendo en forma sucesiva, afectado los problemas de salubridad y de calidad del agua en varios departamentos.

Todas estas acciones comienzan a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y tiene como consecuencia la alteración de la calidad del recurso para su uso posterior, lo cual agrega un costo adicional para su tratamiento.

Existen varios tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr remover los contaminantes, los cuales se pueden clasificar según el medio de eliminación, según la fase de depuración y según el costo de la explotación.

El Gobierno Nacional ha adelantado diferentes acciones con la finalidad de ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos sanitarios y ambientales más significativos. Apoyándose con los diagnósticos, guías y modelos de priorización para la gestión de aguas residuales e implementando diferentes instrumentos y estrategias, entre las cuales se destacan: la política de agua potable y saneamiento básico,

1. TITULO

ESTADO DEL ARTE DE LOS METODOS DE REMOCION DE SUSTANCIAS DE TIPO ORGANICO MAS EXITOSOS EN LAS AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA

1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Qué métodos han sido exitosos en Colombia para la remoción de sustancias tipo orgánico en las aguas residuales?

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las aguas residuales son aquellas aguas que resultan después de haber tenido un uso tales como domésticos, en fábricas, en actividades ganaderas, etc. La apariencia de las aguas residuales es oscura y se encuentran contaminadas llevando grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y en algunas ocasiones sustancias muy tóxicas.

Para que estas aguas residuales vuelvan a la naturaleza y no causen ningún impacto nocivo al medio ambiente deben ser depuradas. Por esta razón existen las plantas de tratamiento, donde se realizan proceso con el fin de devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

En la actualidad existen municipios y hasta ciudades que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, sin darles un debido proceso. Este impacto ha

traído como consecuencia la destrucción de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Hoy en día el agua se contamina de diversas formas una de ellas son los procesos químicos los cuales alteran el medio ambiente deteriorando aguas superficiales como subterráneas, algunos de estos compuestos químicos son:

Compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua, los contaminantes inorgánicos provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos, también desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Los contaminantes orgánicos provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo, como desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc.¹.

La fuente principal de contaminación de fuentes hídricas son los vertimientos de aguas residuales los cuales representan una importante fuente global de contaminación. Los residuos industriales son vertimientos que van a las aguas superficiales a través de los sistemas de alcantarillado y en algunos casos de forma directa a la fuente receptora.

¹LOPEZ, Araceli. Contaminación química del agua. En: Ecología, [En línea]. 2009. P 1. [citado el 25 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://ecologiabta85.blogspot.com/2009/06/contaminacion-quimica-del-agua.html>

Recurso hídrico: Aguas superficiales, subterráneas, meteóricas y marinas .

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

2.3 MARCO TEORICO

Antecedentes históricos. Tal como lo determinan la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América –EPA– (2002 y 2003) y Butler y Payne (1995), el control de las descargas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, agrícolas y de la industria en su sitio de origen se convierte en un reto importante para las diferentes autoridades ambientales, porque su uso masivo y su dispersión a lo largo y ancho del planeta imposibilitan el control y evaluación de cada sistema instalado.

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento.

Con la ausencia de tratamiento, las Aguas Residuales son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. Conteniendo 40% de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36% de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, la región presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana

En Colombia en cabeza de sus gobernantes deberían incluir en sus Planes de desarrollo como expectativa que gran parte de sus municipios deberían contar con plantas de tratamiento para permitir disminuir el impacto del vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua. Sin embargo, esta situación no es así, los entes territoriales deben evaluar la necesidad de contar con una planta de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta las normas técnicas establecidas en el Reglamento del Sector (RAS 2000).

En Colombia, los vertimientos de aguas residuales provenientes del sector agrícola son las que más aportan contaminantes y material orgánico. A este tipo de descargas les siguen las realizadas por los mayores centros industriales que existen en Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla, entre otros, estas descargas contaminantes realizadas por el sector industrial, pertenecen al lo sectores de producción y abastecimientos. Del total de planes de desarrollo analizados, solo la tercera parte (336) hace un diagnóstico sobre la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), mientras que los 672 municipios restantes no incluyen el tema en sus planes. De los 336 municipios que informan sobre la PTAR, solo 84, es decir el 23%, tiene una planta para mitigar el impacto de las aguas residuales en el ambiente, de las cuales la mayoría cubre solo la producción del área urbana.³

La tendencia de aumento en la población seguirá durante las próximas décadas, al igual que las presiones sobre la infraestructura. La mayor parte de las Aguas Residuales no han recibido tratamiento. Aun las grandes ciudades se encuentran

³ Departamento Nacional de Planeación DNP. CONPES (3883) 2005.

a menudo altamente contaminadas y carecen de infraestructura de saneamiento para tratar las aguas residuales y drenaje de las aguas lluvias.⁴

Es difícil generalizar acerca de cualquier condición debido a la diversidad económica, social y ambiental de la región.

Aproximadamente 18% de la población de escasos recursos cuenta con agua de tubería en sus casas, comparado con 80% de la población de altos ingresos. Las personas de escasos recursos se encuentran más susceptibles a las enfermedades y potencialmente están menos conscientes de cómo mantener las condiciones salubres, lo cual lleva a una mayor propagación de enfermedades en la población general.

2.4 MARCO CONTEXTUAL

Ubicación Geográfica. La República de Colombia se encuentra al extremo norte de Suramérica, ubicada entre la gran selva amazónica, Panamá y los océanos Pacífico y Atlántico (de los cuales recibe fuertes influencias climáticas), siendo además cruzada por la gran cordillera andina, lo que origina una gran variedad de climas y ecosistemas, muchos de ellos propios del país. Su posición privilegiada no solamente proviene por ser el único país de América del Sur que posee dos costas: en el mar Caribe y en el océano Pacífico (y por tanto una extensa plataforma continental), si no además que se encuentra en la parte media del continente americano, lo que facilita su comunicación con todos los continentes.

⁴ Artículo sobre Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, por Nelly A. Reynolds, Universidad de Arizona, USA, Octubre de 2002.

Los puntos extremos del territorio continental colombiano están al norte en Punta Gallinas, en la península de la Guajira, latitud 12° 30' 46" Norte. Por el sur en la Boca de la quebrada San Antonio, en inmediaciones del Trapecio amazónico y localizado en latitud 4° 13' 30" Sur. Hacia el este tiene como punto de referencia la Isla de San José en el río Negro, frente a la Piedra del Cocuy, localizada en longitud 66° 50' 54" Oeste. Por el oeste, el Cabo Manglares, en el departamento de Nariño localizado en longitud 79° 01' 23" Oeste.

El Departamento de Putumayo está situado en el sur del país, en la región de la Amazonía, localizado entre 01°26'18" y 00°27'37" de latitud norte, y 73°50'39' y 77°4'58" de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 25.648 km² lo que representa el 2.2 % del territorio nacional. El municipio de Mocoa está ubicado en el piedemonte de la cordillera andina arropa a la ciudad de Mocoa, capital del departamento de Putumayo en las coordenadas; 1°08' latitud norte, y 76°38' longitud oeste. Cuenta con una extensión de 1263 Km² y una población de 31719 habitantes, presenta alturas que oscila entre 350 y 3200 msnm. Está ubicado en el valle del río Mocoa.⁵

⁵ PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL "Putumayo solidario y competitivo" 201-2015.

3. ESTADO DEL ARTE

La Constitución Política en los artículos 8, 79 y 80 señala que es deber del Estado es proteger la diversidad e integridad del ambiente, de conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Constitución Política 1991).

Que así mismo, en el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política dispone que sea obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano (Constitución Política, 1991).

Enmarcado dentro de este mandato de ley las entidades siempre buscan garantizar una calidad ambiental óptima, por lo que el saneamiento básico es uno de los objetivos del gobierno para este fin.

El objeto básico del tratamiento de las aguas residuales es proteger la salud de los humanos y el medio ambiente. El crecimiento de la población incita para que se encuentren métodos los cuales ayuden a remover los compuestos químicos en el agua, que permitan eliminar los riesgos de salud y conservar la naturaleza.

Para que se pueda evaluar las diferentes características del agua residual se requiere de una técnica adecuada que asegure los resultados esperados, en este caso se presentaran diferentes métodos de remoción de cargas contaminantes, a nivel nacional.

En nuestro país, la mayor cantidad de personas de escasos recursos viven en áreas de poco desarrollo por lo que sus desechos son descargados a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento, generando problemas en la salud de las personas expuestas a los contaminantes, viéndose afectadas por La generación de olores molestos, la proliferación de vectores y la contaminación de fuentes de agua, de ahí la importancia de contar con herramientas literarias que faciliten la toma de decisiones acertadas a la hora de elegir el sistema de tratamiento a implementar en las diferentes ciudades.

En Colombia, y con apoyo de las diferentes universidades, existen valiosos reportes de investigaciones en materia de alternativas para el manejo de las aguas residuales, algunos productos de estos estudios ya han sido implementados por diferentes instituciones y empresas las cuales aportaron su espacio y se logró realizar el trabajo de campo, lo han aplicado y hoy están viendo los resultados.

El Gobierno Nacional ha adelantado diferentes acciones con la finalidad de ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos sanitarios y ambientales más significativos. En este contexto, se han desarrollado e implementado diferentes instrumentos y estrategias, entre las cuales se destacan: la política de agua potable y saneamiento básico, con metas específicas para el incremento de la cobertura de acueducto y alcantarillado; la política ambiental, en cuyo marco se han desarrollado instrumentos económicos como la tasa retributiva, y los diagnósticos, guías y modelos de priorización para la gestión de aguas residuales; y el establecimiento de agendas conjuntas entre los Ministerios.

Adicionalmente, se debe resaltar la labor de algunas AAR y de los municipios en la construcción de la infraestructura en saneamiento básico y de sistemas de

tratamiento de aguas residuales (STAR), lo cual ha contribuido al fortalecimiento de la gestión para la descontaminación del recurso hídrico.

La ley 373 de 1997, aunque con énfasis en el Uso Eficiente y Ahorro del agua, contribuye de manera indirecta a la menor generación de aguas residuales y fomenta el desarrollo del rehusó de las aguas residuales como una alternativa de bajo costo que debe ser valorada.

Los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos están reglamentados por la Resolución 1433 del 13 de diciembre de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la cual se definen como:

“Artículo 1°. Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente.”

De acuerdo a los análisis anteriormente descritos Colombia cuenta con un 92.9% de la población urbana tiene acceso a alcantarillado y a nivel rural el 69% de la población.²⁰ En Putumayo el 83.5% de la población cuenta con servicio de alcantarillado urbano y el 25% en el sector rural y sin tratamiento adecuado de aguas residuales.⁶

⁶ Superintendencia de Servicios Públicos SUI GEIH 2008 - Estadísticas coberturas de acueducto y alcantarillado.

Gracias al Departamento Nacional de Planeación en el departamento del Putumayo y en el municipio de Mocoa se han realizado varios proyectos, pero pesar de los esfuerzos realizados en pro de la mejora de la calidad de agua son varios los vertimientos que son arrojados de forma directa a los ríos, además de residuos sólidos, los cuales producen un problema que cada día que transcurre se vuelve más complicado de solucionar.

Colombia no tiene estadísticas confiables sobre la cantidad de PTAR, porque existe unas construidas pero realmente no están en su funcionamiento o están en un 50% de su real capacidad de funcionamiento, "Las estadísticas nos indican que tenemos un montaje con capacidad para tratar el 32% de las aguas residuales, pero la realidad es que tratamos entre un 8% y un 10%, lo que refleja que falta un óptimo mantenimiento y buen uso de la infraestructura que poseemos".

Para evidenciar esta realidad, señala que, por ejemplo, la planta Salitre que busca descontaminar el río Bogotá tiene capacidad para tratar seis metros cúbicos de agua por segundo, pero en el momento sólo trata cuatro metros cúbicos.

En este aparte, se señala que : "Las operaciones de mantenimiento deben ser calificadas, porque existen conceptos que afirman que sólo un 10% de las plantas construidas funcionan adecuadamente".

Hasta ahora Medellín es la única ciudad que ha logrado avances importantes en este tema, pero con cargo a la factura de los usuarios, porque el tratamiento de aguas es un tema costoso para los usuarios, pero se constituye en una buena oportunidad para el desarrollo de obras en gran parte del país.

Existen a lo largo del departamento unas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR, que se encuentran construidas, y presentan la problemática

que no poseen los recursos para su administración y mantenimiento, por lo tanto no están en funcionamiento.

Tabla 1. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el Putumayo

MUNICIPIO	CAPACIDAD
Sibundoy casco urbano	35 LPS
Orito casco urbano	16 LPS
Puerto Guzmán casco urbano	12 LPS
Puerto Caicedo casco urbano	15 LPS
San Miguel casco urbano	18 LPS
Puerto Umbría Inspección Villagarzón	3 LPS

Fuente: Plan Departamental de desarrollo 2012-2015.

Colombia es muy parecida en su topografía a lo largo de su extensión, por lo tanto nuestra investigación se hizo teniendo en cuenta esta característica. Aquí algunos métodos o sistemas de tratamiento de aguas residuales contaminadas con compuestos químicos que se dieron a conocer, se implementaron y hoy en día hay beneficiarios de esos sistemas:

Los estudios presentados aquí están identificados de acuerdo a las necesidades, y que pueden copiarse como modelo piloto, en el Departamento del Putumayo.

3.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

El tratamiento y reciclaje de aguas residuales domésticas constituyen un reto y a la vez una oportunidad en América Latina. Un reto porque alrededor del 80% de las aguas residuales son dispuestas sin tratamiento en el ambiente o usadas para fines agrícolas, lo que constituye un problema sanitario de envergadura en muchas regiones. Una oportunidad porque estas aguas representan un recurso valioso desde el punto de vista económico y ecológico (CATHALAC, 2010).

A nivel mundial en las grandes ciudades se han implementado variados sistemas de tratamiento de aguas residuales con éxito, teniendo en cuenta aspectos como las condiciones topográficas y climáticas de la zona, características de los líquidos a tratar, costos, la cultura y las costumbres de los habitantes de la zona en estudio. Así mismo frente a lo complejo de las grandes ciudades, en países como Estados Unidos, país muy avanzado en el manejo de las aguas residuales el 25% de la población localizada en asentamientos dispersos se siguen construyendo sistemas sencillos de tratamiento de aguas residuales domésticas tales como lagunas de estabilización y oxidación con buenos resultados (EPM, 1988). En 1980 existían en Estados Unidos 11.800 lagunas, de las cuales 6.200 eran domésticas y 5.600 eran industriales (Burbano, 1985).

Según informe del International Development Research Centre en Ottawa, Canadá solamente el 5% de las viviendas en Latinoamérica y el Caribe están conectados a sistemas de tratamiento de aguas negras (Reynolds, 2002), La gran mayoría de estos sistemas de tratamiento solamente emplean deposición primaria para eliminar los sólidos suspendidos. Hoy día aunque existen muchos métodos para el tratamiento de las aguas residuales, desafortunadamente muchos son desconocidos o mal operados. Cuando un sistema séptico no funciona adecuadamente puede causar efectos adversos en el medioambiente y a la salud.

(González, 1990).

Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales que se vaya a implementar en Colombia debe seguir el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, donde se fijan los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos desde la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia,

sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado (RAS, 2000).

En Colombia de acuerdo a estudios realizados se considera que el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente un 70-80% del volumen consumido como agua potable, lo que configura el grave problema que se causa por descargas incontroladas de aguas residuales o de aquellas que teniendo sistemas de tratamiento no son funcionales teniendo como causa principal la falta de mantenimiento adecuado de los mismos

Ya en las grandes ciudades de nuestro país se han implementado variados sistemas de tratamiento de aguas residuales con éxito, teniendo en cuenta aspectos como las condiciones topográficas y climáticas de la zona, características de los líquidos a tratar, costos, la cultura y las costumbres de los habitantes de la zona en estudio.

A continuación se describen algunos de sistemas de tratamiento de aguas residuales propuestos y que han sido implementados y están en funcionamiento.

El Instituto Cinara de la Universidad del Valle, se ha especializado en investigaciones enfocadas en los tipos de tecnología más eficaces, pensando en las pequeñas comunidades, y los factores que intervenían tanto a nivel técnico, social, económico y ambiental, sin dejar de lado ninguno, ya que se complementan unos con otros. Este tipo de investigación es un estudio muy detallado que abarca toda la problemática, desde la parte técnica, como la social, ambiental, económica y de salud que pueda llevar a una solución integral del problema y siendo avaladas y apoyadas financieramente por el gobierno y autoridades competentes.

En el área rural de Medellín se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales con sistemas y tecnologías para solucionar la problemática del saneamiento hídrico en sectores críticos del área rural, en el Proyecto "aguas residuales, "desarrollado por el Consorcio HIDRAMSA- AIM, 2001, los cuales están basados en las consideraciones y las definiciones establecidas en el Decreto 1594 de 1984, el RAS 2000.

Dentro del programa "Manejo integral del agua para consumo humano" que desarrolla el Municipio de Medellín, se busca que las aguas residuales domésticas reciban un tratamiento con sistemas económicos, de fácil manejo y mantenimiento con el fin de no contaminar las quebradas cercanas, cuidando las fuentes de agua y cuidando y reforestando la cuenca. Enmarcado en el programa anterior el Municipio de Medellín desarrolló programas de saneamiento básico que buscaban contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales y al cuidado del medio ambiente, uno de ellos, fue realizado en el corregimiento de San Antonio de Prado ejecutado por convenio interadministrativo entre EPM y el municipio de Medellín y adelantado mediante contratación comunitaria en los años 2006-2007.

Con la instalación de los tanques sépticos se pretendió disminuir uno de los factores contaminantes más agresivos al medio ya que con la instalación de sistemas de tratamiento se controlaban las descargas directas de las viviendas en el suelo o en el agua.

En la cuenca de la quebrada La Macana, vereda Montañita, en el tramo comprendido entre la vía que de San Antonio de Prado conduce a Angelópolis y hasta llegar a la desembocadura de ésta a la quebrada Doña María se presenta lo siguiente: Descargas directa de los tanques sépticos a la quebrada, dinámica fluvial marcada por procesos de socavación, incisión, inestabilidad de laderas,

prácticas de cultivo inadecuado con eras a favor de la pendiente, alteración de la calidad del aire por la presencia de malos olores, abundante presencia de insectos, lo cual configura una afectación negativa de la cuenca, marcada en la alteración de los componentes agua, suelo, aire y social.

En este tramo, definido como la zona afectada, la quebrada La Macana presenta un proceso de alteración de su calidad, marcado en el cambio de color, presencia de olores ofensivos, entre otros.

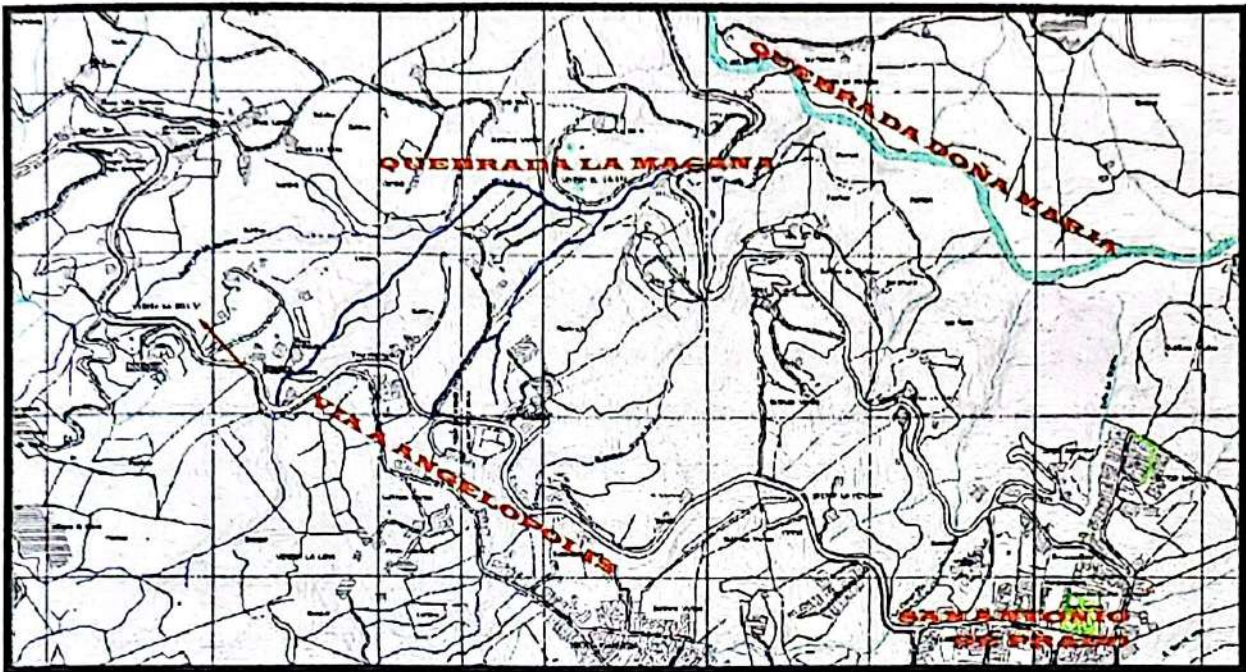
Entre los factores que podrían estar generando este deterioro ambiental se tienen las descargas de las aguas residuales de las viviendas, ya sea por el vertido directo o por la descarga de los sistemas de tratamientos implementados dentro de los programas de saneamiento de la vereda.

Localización: La zona de estudio se localiza en el corregimiento de San Antonio de Prado, vereda Montañita cuenca La Macana entre la vía a Angelópolis y la vía a la vereda Playas. Al sitio se accede por cualquiera de estas dos vías (POT Municipio de Medellín, 2006),

El corregimiento de San Antonio de Prado se encuentra localizado en la zona suroccidental del municipio de Medellín, limita al oriente con el corregimiento de Altavista, al norte con los corregimientos de San Sebastián de Palmitas y San Cristóbal, al sur con los municipios de Itagüí y La Estrella, y al occidente con los municipios de Heliconia y Angelópolis. Este corregimiento posee un área total de 6061,1 ha, divididas en 8 veredas, El Astillero, El Salado, La Florida, La Verde, La Montañita, Potreritos, San José, Yarumalito y San Antonio parte central.⁷

⁷ POT Municipal de Medellín, 2006.

Figura 1. Localización Tramo Quebrada La Macana-Medellín

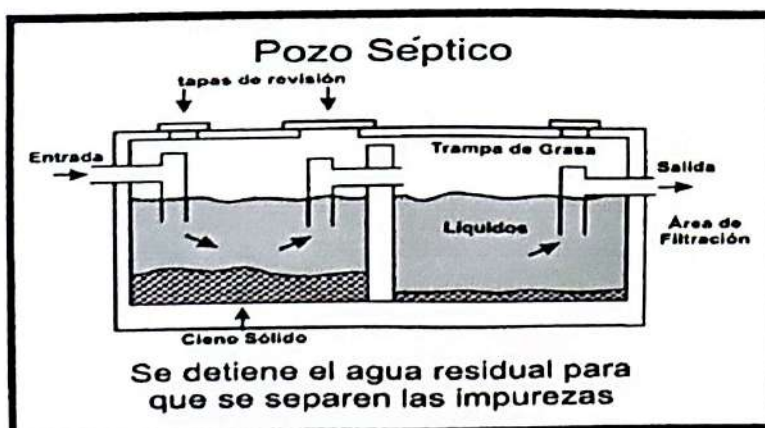


Fuente. IGAC y estudio PRO -ROMERAL 2007

SISTEMAS DE TRATAMIENTO IMPLEMENTADOS

3.1.1 Tanque séptico (TS): Contiene un depósito cubierto para la sedimentación de gran parte de los sólidos suspendidos que lleva el agua residual, reteniéndolos el tiempo necesario para garantizar una descomposición anaerobia de la materia orgánica, y descargar un efluente menos denso y más fácil de tratar en la disposición final. Los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda, forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie, donde forman una capa flotante de espuma o natas en la parte superior. La materia orgánica retenida en el lodo del fondo del tanque sufre un proceso de descomposición anaerobia, transformándose en compuestos y gases. El efluente del tanque séptico se puede llevar para disposición final en campos de infiltración o pozos de absorción, o 25 conducido a una unidad de tratamiento subsiguiente. Con este sistema de tanques sépticos bien concebidos, se obtienen eficiencias de remoción de DBO5 del orden del 30 al 50% y sólidos suspendidos mayor al 80%.

Figura 2. Tanque séptico

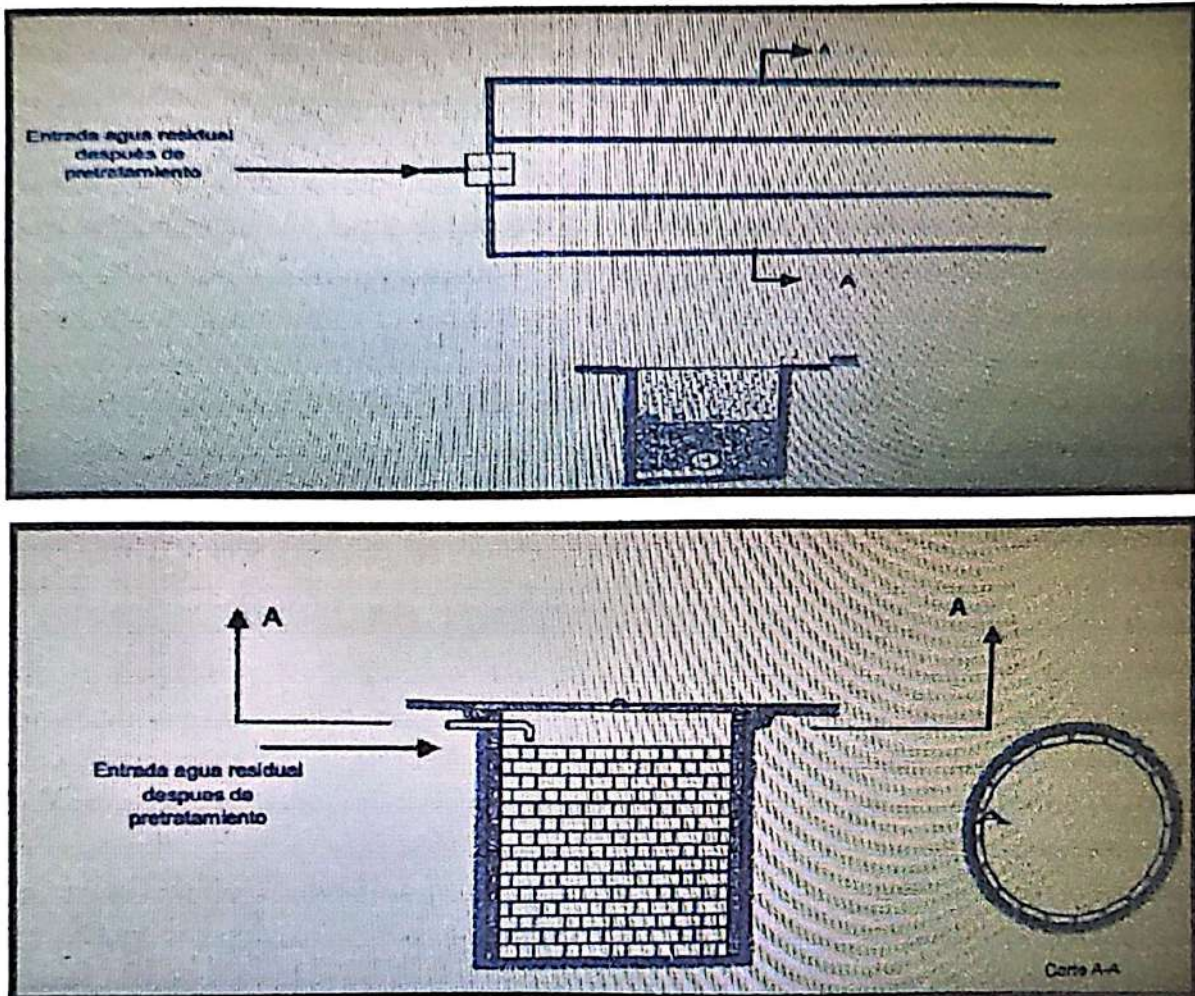


Fuente. Esquemas de tanques sépticos

3.1.2 Sistemas de infiltración. En aquellos terrenos en que se obtienen buenas tasas de infiltración, se pueden utilizar los sistemas de absorción subsuperficial, como son los campos de infiltración y los pozos de absorción. El sistema de infiltración dependerá de su localización en la zona en consideración, pues se debe mantener una distancia segura entre el sitio escogido y cualquier fuente de abastecimiento de agua. Estos campos no deben construirse en terrenos muy planos, ni de pendientes fuertes, por encima del 12%, con los suelos muy arenosos, ligeramente arcillosos y niveles freáticos a menos de 1,2 m.

3.1.3 Pozo de absorción (PA). Es una excavación con revestimiento de juntas abiertas, con profundidad que generalmente varían de 4 a 10 m, a través del cual se infiltra el efluente del tanque séptico en el suelo poroso que lo rodea. El pozo debe ser de forma cilíndrica, con ladrillo pegado a junta abierta que sirve de entibación y con grava entre éste y la pared del pozo para distribuir el líquido en el suelo. Debe tener una cubierta en losa de concreto con tapa de inspección y tubería de ventilación. Por lo general, se le considera como un método de disposición menos deseable que el campo de infiltración y desde luego nunca debe usarse cuando haya probabilidad de contaminación de aguas freáticas, ni recomendable cuando se puede establecer un campo de infiltración subsuperficial.

Figura 3. Sistemas de Infiltración

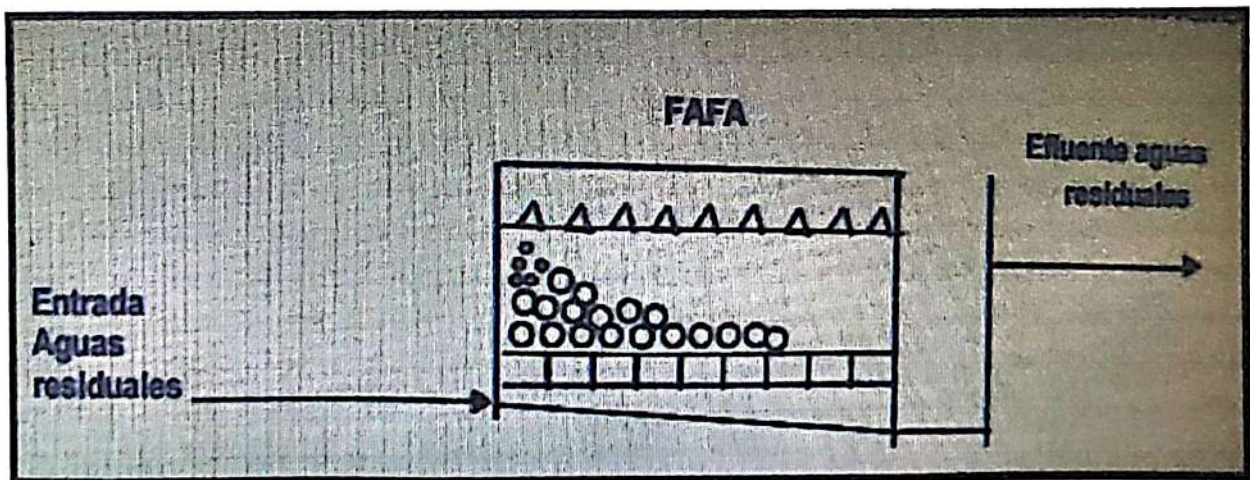


Fuente. Esquemas de sistemas de infiltración

3.1.4 Filtros anaerobios de flujo ascendente: Otra alternativa factible de utilizar, tanto en sistemas individuales como colectivos, es la de tratar las aguas residuales mediante un sistema de filtros anaerobios. . Estos se utilizan como tratamiento secundario en sistemas individuales y colectivos después del tanque

séptico o del TIM. El principio básico de tratamiento lo realizan bacterias anaerobias que crecen y se adhieren a un soporte inerte, formando una capa biológica, que al ponerse en contacto con el agua residual estabiliza la materia orgánica y se produce metano como uno de los productos finales. Con este sistema se pueden lograr eficiencias del orden del 30 al 60% en remoción de DBO5 y 80% de sólidos suspendidos, lo cual permite que el efluente sea descargado directamente a los cuerpos de agua. Ocupa muy poca área, requiere mínima operación y mantenimiento, su arranque y puesta en marcha es sencilla y su estabilización se logra en un período de aproximadamente seis meses, debido a que las aguas negras producen la autoinoculación del sistema. El impacto ambiental es mínimo, debido a que el diseño concibe las estructuras como un sistema cerrado provisto de respiraderos para la evacuación de gases.

Figura 4. Sistemas de Infiltración



Fuente. Esquemas de sistemas de infiltración

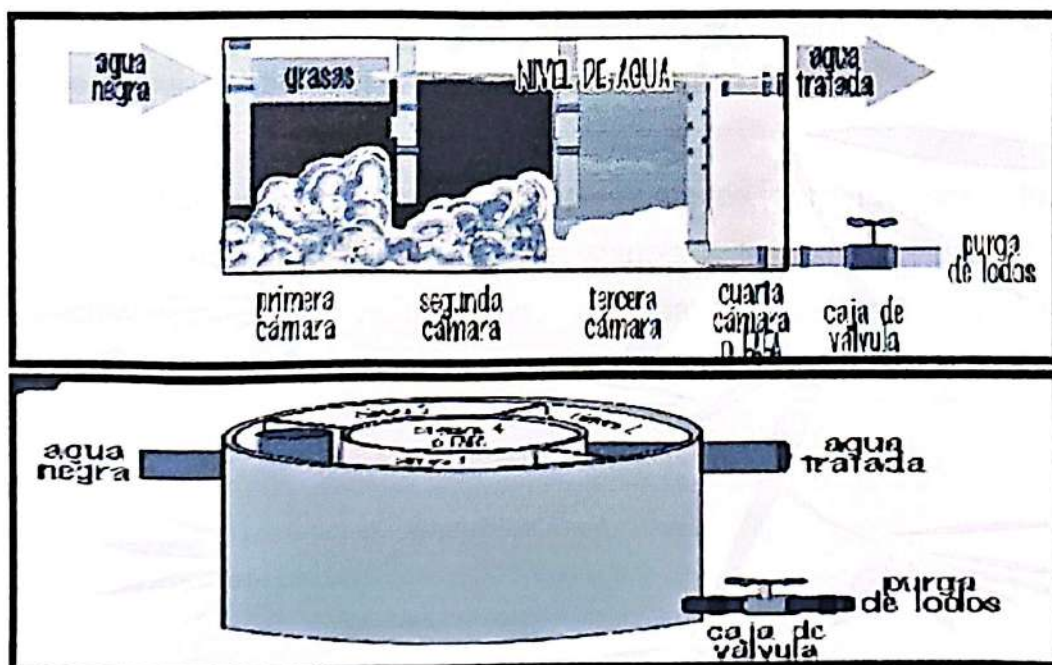
Otros sistemas de tratamiento utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales son: los filtros intermitentes (FI), Filtros percoladores (FP), Tanque IMHOFF Modificado (TIM), Zanjas de oxidación, Lagunas de estabilización, Lagunas aireadas, sedimentador primario de alta tasa, reactor

anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), Lodos activados de aireación extendida, Biodiscos.

Dentro de las soluciones viables y planteadas por HIDRAMSA- AIM, 2001, en el I corregimiento de San Antonio de Prado, la que se implemento fue la de el Tanque séptico seguido de filtro anaerobio de flujo ascendente y descarga a cuerpo receptor (TS + FAFA), porque se obtienen eficiencias de remoción de DBO5 del orden del 30 al 50% y sólidos suspendidos mayor al 80%

Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales fueron desarrollados por las empresas SANEAR y FIBRATORE, (Municipio de Medellin, 2007). Ambos son sistemas compactos, fabricados en fibra de vidrio. Son sistemas de tratamiento integrado con Filtro Anaeróbico de varios compartimientos, que fueron enterrados y tapados.

Figura 5. Tanque séptico implementado por sanear



Fuente: SANEAR 2007

El tanque séptico de SANEAR, es un sistema que contiene 4 cámaras de inspección, en la primera cámara los materiales sólidos más pesados como la materia fecal, sobras de comida y otros van al fondo por sedimentación y los más livianos como aceites, grasas, natas, etc., se quedan en la superficie por flotación.

En la segunda cámara caen los residuos tanto livianos como pesados que no fueron retenidos en la primera cámara, dando inicio al proceso biológico. En la tercera cámara se retienen los residuos que no fueron retenidos en las cámaras 1 y 2. Finalmente en la cuarta cámara termina el proceso de purificación del agua con una eficiencia del 85%. Esta cámara contiene el filtro anaerobio el cual está hecho de material plástico, en el que se adhieren las bacterias, las cuales consumen los contaminantes presentes en el agua (SANEAR, 2009).

El tanque séptico de FIBRATORE está compuesto por tres cámaras. En la primera cámara los materiales sólidos más pesados como la materia fecal, sobras de comida y otros van al fondo por sedimentación y los más livianos como aceites, grasas, natas, etc., se quedan en la superficie por flotación y en la tercera, que contiene el FAFA termina el proceso.

Las ventajas de los sistemas implementados son: Livianos, durables, fácil mantenimiento, fácil instalación, resistencia a la corrosión y al desgaste, alta resistencia mecánica, y cumplen con Normas: Nacionales: ASTM C582, ASTM.

3.2 HUMEDALES ARTIFICIALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Un grupo de investigadores de Pereira (Risaralda) desarrollaron la construcción de humedales artificiales con el objetivo de optimizar el tratamiento de aguas residuales, elevar la calidad del líquido y ofrecer un servicio a la comunidad con tecnología a bajo costo, con el apoyo del Ing. Diego Paredes Cuervo, director del grupo de Agua y Saneamiento de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Estos sistemas de humedales artificiales, pretenden disminuir los costos de operación y de mantenimiento, y que además se conviertan en alternativa viable para pequeñas localidades o zonas rurales, las cuales no cuentan con los recursos técnicos ni económicos.

El funcionamiento de estos humedales parte del principio de los humedales naturales, que están identificados como un sumidero con contaminantes, nutrientes y elementos. Se toma como base ese humedal y se aplica ingeniería para ofrecer una solución.

El grupo de trabajo, aplicó ingeniería y diseñaron unos sistemas similares a los humedales naturales pero que remueven contaminantes de una manera muy efectiva. "Es un sistema que se puede identificar como un jardín que contribuye un aspecto paisajístico más agradable.

En la ciudad de Pereira, se han construido varios humedales artificiales, uno de ellos de la empresa de Aguas y Aguas, el cual se localiza en el sector de la Bananera, a un kilómetro arriba de la bocatoma del acueducto de la ciudad, el

cual permite depurar esas aguas residuales antes de que lleguen a la ciudad para evitar que haya un tipo de afectación a la comunidad.

Otro es en la industria Magnetron, (empresa de transformadores) donde se tratan las aguas residuales tanto industriales como domésticas, a través de humedales con una remoción superiores al 99 por ciento de carga contaminante. "La empresa es orgullosa de mostrar este humedal, no esconde el sistema de tratamiento porque se presente en una forma estética y se adapta a la empresa.

El funcionamiento del humedal artificial consiste en que el agua pasa a través de un medio filtrante, similar a un suelo. Dentro de ese suelo están las raíces de las plantas que conforman el humedal y dentro de esa interacción suelo-planta crecen unos microorganismos, que es de donde se alimentan esos contaminantes y que son finalmente, las que pasan el agua residual a través de ese medio filtrante.

Fotografía 1. Humedales Artificiales



Fuente. Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP)



Fuente. la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

3.3 CONTAMINACIÓN EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL LÁCTEA UTILIZANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS.

Las industrias relacionadas con el sector lácteo son muy variadas, tanto como los productos lácteos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que es muy específica del tipo de industria que se considere. Por lo general, la leche es recibida en las primeras horas de la mañana, y se procesa en las horas siguientes. Así pues, los residuos líquidos se producen de manera no continua a través del día permitiendo grandes variaciones en la carga contaminante durante el proceso de producción.

Cuando la leche llega a la planta, ésta es procesada y durante esta secuencia de operaciones unitarias se utilizan varios equipos, de esta manera, la variedad de productos y los métodos de producción, hacen que las aguas residuales de la industria láctea, tengan características muy variables, pues de acuerdo al producto que se elabore se afecta considerablemente la carga contaminante. Entre los residuos más importantes se encuentran leche diluida, grasas, sólidos suspendidos, nitrógeno y lactosuero y en aguas de lavado se encuentran residuos alcalinos y químicos. En la producción de queso, por ejemplo, se produce un suero rico en lactosa pero pobre en proteínas que origina altas cargas orgánicas en los efluentes de proceso.

De conformidad con las prioridades del sector lácteo, la conservación del medio ambiente y la reducción del impacto sobre éste, es necesario que en países productores de leche, como Colombia que actualmente ocupa el tercer lugar en Suramérica, la inclusión de tecnologías eficientes para el tratamiento de las aguas residuales producto de esta actividad sea inmediata. El objetivo de los diferentes tipos de tratamiento es, reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y convertirlo en inocuo para el medio ambiente y la salud humana.

Uno de los principales tipos de tratamientos son los sistemas biológicos, estos métodos son desarrollados principalmente por bacterias que digieren la materia orgánica presente en las aguas residuales. Las sustancias presentes en dichas aguas, se utilizan como nutrientes para los microorganismos, convirtiéndose éstos en tejido celular y diversos gases, sin embargo, estos procesos a pesar de ser eficientes, también son extremadamente sensibles a cambios tales como pH, temperatura, concentración de materia orgánica y metales pesados. Estas variaciones pueden conducir a la ineficiencia del sistema, por lo cual, se requieren estrategias complementarias para potenciar la reducción de la contaminación orgánica.

En el caso particular de aguas residuales de industrias lácteas se reportan importantes trabajos que consideran distintas alternativas de tratamiento en función de las características específicas del efluente.

Una opción importante para mejorar el funcionamiento de las plantas de agua residual en las empresas lácteas es el uso de Microorganismos Benéficos (MB), una mezcla de bacterias, hongos y levaduras, los cuales favorecen principalmente la reducción de olores, manejo de aguas y residuos sólidos. Los microorganismos benéficos (MB) han sido reportados como una alternativa frente al problema ambiental de la contaminación hídrica, puesto que esta mezcla puede utilizar los compuestos contaminantes presentes en el agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, reduciendo así sus concentraciones en el agua.

Algunas bacterias que integran la mezcla de MB, como *Lactobacillus* spp., producen ácido láctico, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa. Otro género de MB lo constituye *Saccharomyces* spp., cuyas secreciones son sustratos útiles para bacterias ácido lácticas. MB es una tecnología desarrollada en la década de los ochenta en Okinagua, Japón como resultado de algunas investigaciones sobre la eficacia de microorganismos que actuaban de forma individual en procesos de degradación y transformación de componentes. La mezcla de estos microorganismos producía una relación de sinergia entre ellos encontrando efectos positivos; de esta manera nació el desarrollo de la tecnología de MB y su uso en diversos campos y aplicaciones es actualmente un tema de investigación en auge.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de una mezcla de MB para reducir la carga contaminante representada principalmente por DBO₅, DQO, ST y SST en una planta de tratamiento de aguas provenientes de los procesos productivos en la industria láctea. Se tuvieron como variables, la concentración de

la mezcla de MB, utilizándose dos concentraciones (2% y 4%), sembradas en el tanque séptico para establecer la existencia de diferencias significativas en la reducción de DBO₅, DQO, ST y SST con respecto al comportamiento de la planta sin MB (concentración 0%), e igualmente el tipo de carga orgánica almacenada en el afluente, (teniendo en cuenta que la planta almacena en la mañana esencialmente aguas de lavado y en la tarde los residuos correspondientes primordialmente al lactosuero proveniente del proceso de elaboración de queso campesino), para determinar la influencia del tipo de materia orgánica en los porcentajes de remoción de las cargas contaminantes como variables de respuesta.

Para determinar las concentraciones de DBO₅, DQO, ST y SST se tomaron muestras puntuales durante 9 semanas, de acuerdo al diseño experimental establecido previamente, en el tanque de homogenización (entrada) y a la salida del sistema (filtro anaerobio). Las muestras fueron tomadas y enviadas al laboratorio de calidad de agua, para ser analizadas en el término de las siguientes 18 horas por medio de metodologías internacionalmente avaladas.

Este es un proyecto que se ejecutó en la planta de tratamiento de agua residual industrial láctea de una empresa ubicada en San Félix – Salamina (Caldas-Colombia).

Se caracterizó el comportamiento de esta planta de tratamiento de agua residual (PTAR) industrial láctea en cuanto a la remoción de DBO₅, DQO, ST y SST al utilizar MB en concentraciones del 0, 2 y 4% y, teniendo en cuenta la procedencia de la materia orgánica (aguas provenientes del lavado y desinfección (mañana) o aguas de producción constituidas principalmente de lactosuero (tarde)).

Se utilizó un sistema diseñado para un tiempo de residencia de 24 horas, compuesto por dos tanques homogenizadores de 2000 L, una trampa de grasa

de 250 L, un tanque séptico de 1000 L (en el cual se realizó la siembra de la mezcla de MB) y un filtro anaerobio de 1000 L.

El resultado de las remociones de DQO es , es claro que el mayor porcentaje de remoción se presentó para una concentración de MB de 2 y éste equivale a 71,65% y sucede cuando la planta está operando para tratar aguas de proceso productivo, las cuales son fácilmente biodegradables por su alto contenido en proteínas, sales minerales y carbohidratos (lactosa); en ausencia de microorganismos eficientes (MB 0%) se alcanzan resultados cercanos a 58,35% lo que indica un incremento significativo en la eficiencia de la planta tras la siembra de los MB, sin embargo estos resultados no son tan representativos cuando se procesan aguas de lavado ya que principalmente contienen componentes alcalinos, ácidos y desinfectantes que para los sistemas biológicos anaerobios no son fáciles de degradar.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado ya que a medida que se van agotando los compuestos de fácil degradación, los microorganismos empiezan a consumir otras sustancias más complejas, y llega cierto punto en el cual los microorganismos presentes no cuentan con las enzimas o los nutrientes requeridos para continuar con el proceso que permita la disminución de la DQO, lo anterior, sumado a la falta de oxígeno, limita claramente la degradación esperada.

La remoción de la DBO para los 2 tipos de aguas resultantes en el procesamiento lácteo, la concentración de MB al 2 % para las muestras de la tarde muestran el mayor porcentaje de degradación del 68,58 % mientras que para la mezcla MB al 0% y al 4% son del 54,9% y 62,01% respectivamente. En el tanque séptico donde se inoculó existen condiciones de baja disponibilidad de oxígeno donde los procesos anaerobios de transformaciones de nitrógeno, como la nitrificación, son limitados, pero donde pueden ocurrir los procesos que no necesitan oxígeno, como mineralización y desnitrificación. Esto permite entender que las reducciones

para la DBO5 son significativas pero no suficientes de acuerdo a la normativa nacional.

El agua residual generada en la industria láctea posee altas cargas contaminantes que evidencian impactos en los cuerpos receptores y por tanto hacen necesarios técnicas más potentes para alcanzar las reducciones impuestas por la normatividad ambiental vigente. Los resultados aquí expuestos muestran la capacidad de una mezcla de microorganismos benéficos (MB) para reducir cargas contaminantes en agua residual generados en una planta de producción en la industria láctea, teniendo como indicadores, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos Totales (ST) para dos tipos de residuos, aguas de lavado (mañana) y aguas de proceso (tarde), se encontraron reducciones en la DQO de 71,65 % (tarde) y 66,96 % (mañana), en la DBO de 68,58 % (tarde) y 61,22 % (mañana), en los ST de 70,45 % (tarde) y 70,34 % (mañana) y para los SST se alcanzaron reducciones de 78,77 % (tarde) y 71,48 % (mañana). Los resultados obtenidos experimentalmente fueron analizados mediante un Análisis de varianza (ANOVA) permitiendo encontrar niveles de interacción entre las variables de respuesta seleccionadas.

3.4 MODELO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAÑAVERALEJO PTAR-C SANTIAGO DE CALI

Este proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo PTAR–C. se describe con algún grado de detalle, enmarcado en los beneficios esperables de contar con un proyecto de ésta magnitud a nivel local, regional y nacional, y el cual pueda tomarse como modelo para otras ciudades, teniendo en cuenta como se detallan los proyectos complementarios que se desarrollan para lograr el funcionamiento de ésta planta de tratamiento de manera integral

aprovechando a máximo su capacidad instalada y obteniendo de esta forma los beneficios esperados.

Las Empresas Municipales de Cali EMCALI E.I.C.E. E.S.P. es la Empresa prestadora de los servicios públicos de Acueducto y Alcantarillado en la ciudad de Cali. Desde la década del 80 se formuló el plan de descontaminación por vertimientos líquidos, con base en los estudios de pre y factibilidad para el tratamiento de las aguas residuales de Cali. Se definió entonces que el servicio de alcantarillado sería complementado con tres plantas de tratamiento de aguas residuales así: la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR- Cañaveralejo, que captaría los colectores e interceptores principales del sistema de alcantarillado con cobertura aproximada de 85% de las aguas residuales generadas en la ciudad, la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR - Rio Cali que captaría el agua residual generada en la zona nor-occidental de la ciudad, transportada por los colectores marginales al Rio Cali, con cobertura aproximada de 15% y la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR – SUR que captaría el agua residual generada por futuros desarrollos urbanísticos (la tendencia de crecimiento de la ciudad ha sido hacia el sur).

El tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Cali tiene impacto positivo sobre la calidad del agua del Río Cauca, beneficiando en forma directa a los usuarios del Río, aguas abajo de Cali: municipalidades, industrias, pescadores, extractores de arena, entre otros.

Analizando las actividades económicas en el área de influencia del proyecto y los usos del agua, se puede concluir que se obtienen los beneficios las empresas industriales ubicadas en la zona urbana, las comunidades que en la zona de acción de la PTAR, canales de riego, actividad pesquera, explotación de arena, cogeneración de energía, usos recreativos. La planta de tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo (PTAR-C), se construirá en dos etapas, esquemáticamente las etapas de desarrollo de la PTAR-C: La primera etapa,

incluye construcción y montajes, incluye tratamiento preliminar, tratamiento primario avanzado, tratamiento de lodo (espesamiento, digestión, almacenamiento, deshidratación), generación de energía y control de olores. La segunda etapa, para construcción futura, comprende el tratamiento secundario mediante el proceso de lodos activados estabilización por contacto y el tratamiento del lodo secundario.

Parámetros de diseño:

Año horizonte para el proyecto	2015
Área de influencia	9800 Hectáreas
Población	2060000 habitantes
Caudal medio	7.6 m ³ /seg
Afluente DBO5	211 mg/l
Afluente SST	180 mg/l
Remoción de DBO5	hasta 47% en el Agua Residual
Remoción de SST	hasta 68 % en el agua Residual
Remoción de sólidos volátiles (SV)	hasta 46% en el lodo Digerido

Principales unidades de tratamiento:

Se presenta de manera global los principales procesos involucrados en el tratamiento del agua residual y del lodo primario en la PTAR – C. Las principales fases que conforman la línea de tratamiento del agua residual y la línea del tratamiento del lodo primario respectivamente.

A continuación se describen las principales fases y procesos de tratamiento.

Caudal Medio De Diseño Afluyente : Con base en la descripción del ingreso del agua residual afluyente a la planta se resumen los caudales medios de diseño correspondientes a cada uno de los colectores afluentes.

Estación De Bombeo Al Inicio De La Planta Y Rejillas Gruesas: Esta estación eleva el agua residual afluyente por el Colector General mediante tres bombas de tornillo de 2.0 metros de diámetro cada una y capacidad nominal de 2 M³/seg por bomba. Se cuenta adicionalmente con una bomba de repuesto. Previo al bombeo el agua residual pasa a través de dos (2)rejillas gruesas de limpieza mecánica con separación entre barras de 10 cm para remover basuras.

Medición De Caudal Afluyente: Al ingreso de las aguas residuales a la planta se toman registros de caudal en dos puntos: sobre la tubería de impulsión de 2.0 metros de diámetro y en la estación de bombas de tornillo del Colector General. Adicionalmente en las estaciones de bombas se dispone de medición de flujo. Esta información se reporta en forma continua en el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) de la planta.

Cámara De Integración De Flujos Y Rejillas Finas: El agua residual afluyente por la línea de impulsión Aguablanca – Navarro y Cañaveralejo, se mezcla en la cámara de integración de flujos con el agua residual del colector General elevada por la estación de bombas de tornillo, punto en el cual se dispone de un medidor de pH de registro continuo. Posteriormente el agua mezclada pasa a través de seis (6) rejillas finas con separación entre barras de 20 mm. Estas rejillas cuentan con un mecanismo de limpieza mecánico y controlado mediante un temporizador. La evacuación de los desechos se hace usando bandas transportadoras hacia una tolva de almacenamiento para su posterior evacuación al sitio de disposición final fuera de la planta.

Sistema de dosificación de químicos: Para incrementar la eficiencia de remoción de la DBO5 que no está soluble en el agua residual y de los SST ,se aplicará Cloruro férrico como coagulante primario antes del ingreso del agua a los desarenadores ,sitio en el cual se dispone del gradiente y tiempo de mezcla suficientes para que se realice el proceso de coagulación .
Igualmente se aplicará un ayudante de floculación (polímero) en los vertederos de salida de los desarenadores.

Desarenadores: Para remover la materia inorgánica propia de las aguas residuales y evitar presencia de arenas en el lodo que se va a digerir, se tienen seis (6) desarenadores en línea con cada una de las rejillas finas. El proceso de separación y asentamiento de las arenas en el fondo de los desarenadores, es ayudado aplicando aire mediante difusores. El tiempo de retención promedio de los desarenadores es de 3 minutos. La remoción de arena del desarenador se efectúa mediante bombas eyectoras hacia las tolvas de almacenamiento previa separación del agua en el separador de arenas, para su posterior almacenamiento en las tolvas de arena y envío luego al sitio de disposición final fuera de la planta. Se estima 35 m³/día de arena removida. Se inyecta en la superficie del desarenador agua a presión a través de Rociadores, para disolver las natas y grasas contenidas en el agua residual.

Sedimentadores Primarios: Después de desarenada el agua pasa a los sedimentadores primarios. De ser necesaria el agua o los excedentes no tratados, pueden ser desviados al Río Cauca a través del conducto de descarga previo a la sedimentación primaria. Se tienen ocho (8) sedimentadores primarios ubicados en dos grupos de cuatro (4). Antes de ingresar a esta fase del tratamiento el agua se distribuye hidráulicamente en dos y posteriormente cada mitad se distribuye en cuatro para ingresar a cada uno de los sedimentadores primarios. En ruta hacia los sedimentadores, se mide el caudal que entra a cada grupo mediante medidores ultrasónicos.

Los ocho (8) sedimentadores son tanques circulares de 47.5 metros de diámetro y 4.20 metros de altura de muros exteriores; se alimentan por el fondo de cada tanque y con flujo ascendente el agua clarificada sale a través de un vertedero perimetral para ser descargada a través de cámaras para transporte del efluente a la estructura de descarga al Río Cauca. Están provistos con barrelodos en el fondo y desnatadores superficiales. Los sólidos removidos se evacuan por el fondo del sedimentador y serán bombeados hacia el espesador de lodo, previo a la digestión.

Recolección Y Disposición De Natas: Las natas son retiradas de cada sedimentador por medio de un barredor de natas que las transporta hacia dos tolvas; por gravedad llegan a un tanque de natas ,donde mediante bombas centrífugas tipo VORTEX ,son succionadas e impulsadas hasta la rejilla de natas tipo tambor rotatorio .De aquí las basuras se transportan por medio de un tornillo a un depósito para ser evacuadas .Las natas continúan su camino y llegan a una trampa de grasas ,donde se separa la grasa del agua ,el agua es retornada por gravedad a la cabecera del proceso y la grasa llega a un depósito de donde será evacuada de la planta.

Estructura De Descarga Al Río Cauca: Consiste en una tajea rectangular doble de 2.60 metros por 2.60 metros cada una Inicia en la zona de los desarenadores y termina en la orilla izquierda del Río Cauca. Cuenta con un dissipador de energía en el punto de descarga.

Monitoreo Continuo : Se tiene previsto instalar muestreadores automáticos refrigerados con registro en el PLC (Controlador Lógico Programable), para toma de muestras proporcional al caudal, al ingreso del agua residual a la planta y del efluente tratado.

Línea de tratamiento del lodo primario: ESPESADOR. Los lodos de la sedimentación primaria se bombean con una concentración aproximada al 2% mediante bombas de cavidad progresiva hacia el espesador, previo cernido de los mismos para retirar desechos sólidos que por su tamaño y consistencia deben ser retirados del lodo antes de la digestión. Se estima que se tendrá lodo espesado a 6% aproximadamente.

Digestores Anaeróbicos De Lodo: Los lodos espesados serán bombeados a los cuatro (4) digestores anaeróbicos. Estos funcionarán en el rango mesofílico controlando la temperatura a 350 c, con mezcla completa. El volumen de cada digestor es de 6200 m³.

Deshidratadores de lodo: El lodo digerido se deshidrata mediante la utilización de filtros prensa de banda. Se aplicará polímeros para acondicionar el lodo facilitando el proceso de deshidratación. Se estima una producción de lodo deshidratado de 90 ton/día al inicio de operación de la planta, al 22% aproximadamente. Este biosólido paleable se transporta mediante bandas hacia el patio de lodos, de donde será removido mediante cargador y volquetas herméticas hacia el sitio de disposición final fuera de la planta. Existe la perspectiva de uso de éste biosólido, para el mediano y largo plazo en diferentes alternativas que se explican mas adelante.

Almacenamiento De Lodo: Previo a deshidratar el lodo digerido, será almacenado lodo en un volumen aproximado de 4279 m³ lo cual contribuirá a flexibilizar la operación regulando las jornadas de deshidratación sólo a horas normales (se excluyen jornadas nocturnas y festivos).

Co- Generación De Energía: El gas producido durante la digestión del lodo se estima aproximadamente en 26000 metros cúbicos por día. Este biogás contiene metano en mayor proporción (responsable del potencial como combustible) y

gases tales como gas sulfídrico o sulfuro de Hidrógeno, nitrógeno gaseoso, dióxido de carbono entre otros; previo al proceso de generación, el gas es pasado a través de un purificador que contiene viruta de hierro para eliminar el riesgo de corrosión de los equipos comprometidos con la generación de energía; éste gas es almacenado en dos tanques de 1000 m³ cada uno. Posteriormente el gas es usado para generar energía. Se tienen dos generadores de energía con capacidad de generar 1000 KW cada uno. Para la capacidad instalada de la planta se requerirá aproximadamente 1600 KW - Hr . El agua de enfriamiento de las camisas de los motores, se pasa por un intercambiador de calor de placas que la enfría, por medio de un agua externa. Esta última en éste proceso se calienta y es enviada a calentar el lodo de los digestores a través de sus respectivos intercambiadores de calor (4 unidades). El intercambio térmico por el calentamiento del lodo ocasiona el enfriamiento del agua; ésta es retornada para enfriar el agua de las camisas de los motores, cerrando el ciclo de aprovechamiento del recurso. En caso tal que el lodo no requiera ser calentado, porque su temperatura es apropiada (35°C), el agua disponible se enfría en la torre de enfriamiento del respectivo motor previo al enfriamiento de las camisas.

Limpieza Del Gas Previo A Generación De Energía: Como se dijo antes, para remover el Sulfuro de Hidrógeno y controlar la corrosión el biogás pasa a través de un equipo con regeneración continua que utiliza un lecho de esponja de hierro como medio activo. La “esponja” está constituida por partículas finas de madera impregnada con una forma hidratada de Óxido de Hierro. El sulfuro de Hidrógeno en contacto con el Óxido de Hierro se transforma en Sulfuro Férrico. Se regenera el medio filtrante añadiéndole Oxígeno. Igualmente se introduce Soda Caústica para mantener el pH requerido.

Control de olores: La PTAR – C cuenta con el sistema completo para mitigar el potencial impacto por olores desagradables que son esperables del tratamiento de aguas residuales. Las fases que conforman éste sistema se enumeran y se

describen a continuación: **1) Cubrimiento.** Todas las estructuras que almacenan o transportan el agua residual en su recorrido por los procesos de tratamiento internamente en la planta, son encerradas mediante cubiertas de aluminio en la estación de bombas de tornillo, desarenadores, sedimentadores, rejillas, bandas transportadoras, espesador , filtros prensa y tolvas de almacenamiento de residuos. **2) Conducción Del Aire Contaminado Y Ventiladores:** El aire confinado bajo dichas cubiertas se extrae mediante equipos de ventilación mecánica que succionan con presión negativa extrayendo el aire y descargándolo con suficiente presión positiva para garantizar el paso del aire a través de los "soilbeds" .**3) Soilbeds :**Estos son filtros que proporcionan un medio para que por acción de reacciones bioquímicas se ejerza la transformación de aquellos gases causantes del mal olor (Gas sulfídrico, mercaptanos ,etc). Los filtros conformados por material con humus orgánico con alto contenido de cenizas volcánicas y capa vegetal, se soportan en capas inferiores la primera en el fondo de piedra triturada con 50 mm de espesor ;la capa intermedia de canto rodado de 500mm de espesor ;entre las dos capas se tiene una red de PVC para imprimir estabilidad a la estructura .El aire confinado procedente de las unidades de tratamiento entra por el fondo mediante cámaras de distribución de aire a través de los cuales los conductos de FRP hasta entonces elevados descienden a los lechos .La parte superior del lecho está cubierto con césped para prevenir la erosión por la lluvia Para asegurar el hábitat óptimo a los microorganismos se cuenta con un sistema de aspersión de agua que garantice la humedad apropiada.

Instrumentación y control: El Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos de la PTAR – C (Sistema SCADA) realiza todas las funciones de control automático necesarias para el correcto funcionamiento de la planta, entre otros: Arranque automático de equipos en stand by, parada automática, alarmas, sirve de interfase entre la supervisión y el proceso, registra el tiempo de funcionamiento de los equipos para efectos de mantenimiento, pone en escala real registros análogos (por ejemplo señales de caudal o pH) ,permite obtener

hojas de reporte para la elaboración de informes con diferentes propósitos (de resultados periódicamente, para entidades de control ,seguimiento de proceso, etc) .El sistema SCADA considera páneces de control local para cada uno de los equipos y para cada una de las áreas, páneces de control de área (Recolección, Tratamiento de agua residual, TPA, Digestión de lodo, deshidratación de lodo, Generación y distribución de energía). Se instalarán PLC (Controladores Lógicos Programables) al interior de cada una de las áreas para su control y la comunicación de éstos PLC con el centro de control de la planta ,localizado en el edificio de Administración ,a través de una red de transmisión de datos de alta velocidad (en fibra óptica) que elimina la necesidad de proveer mas cableado entre el sitio de la planta y el centro de control . En el centro de control se realiza la supervisión, procesamiento de información y operación de todas las unidades de tratamiento. Adicionalmente se han instalado terminales de computador en varios sitios del edificio de Administración tales como el laboratorio y edificio de trabajadores.

Fotografía 3. Muestra parcial de la planta



Fuente. Esta investigación

Fotografía 4. PTAR Cañaveralejo



Fuente. Esta investigación

3.5 SOCIEDAD GRAMALOTE COLOMBIA LIMITED PROYECTO MINERO DE EXPLOTACIÓN DE ORO.

Mediante Resolución No 112-1717 del 27 de marzo de 2010, se otorga Licencia Ambiental a la sociedad Gramalote Colombia Limited, en el proyecto minero de explotación de oro, a desarrollarse en la vereda "Guacas" del Municipio de San Roque, en las coordenadas establecidas dentro del contrato de concesión minera. Y a la vez mediante Auto 135-01 39 del 11 de octubre de 2012, por medio del cual se admite la solicitud de permiso de vertimientos presentada por Gramalote Colombia Limited, a través de su representante legal el Señor Rómulo Sanhuesa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en beneficio del predio identificado con el FMI 026-20938, ubicado en la vereda Providencia, del Municipio de San Roque. Que según Auto No 135-0177 del 3 de diciembre

de 2012, por medio del cual se admite la solicitud de permiso de vertimientos presentada por Gramalote Colombia Limited, para el tratamiento de las aguas residuales industriales generadas en el proyecto.

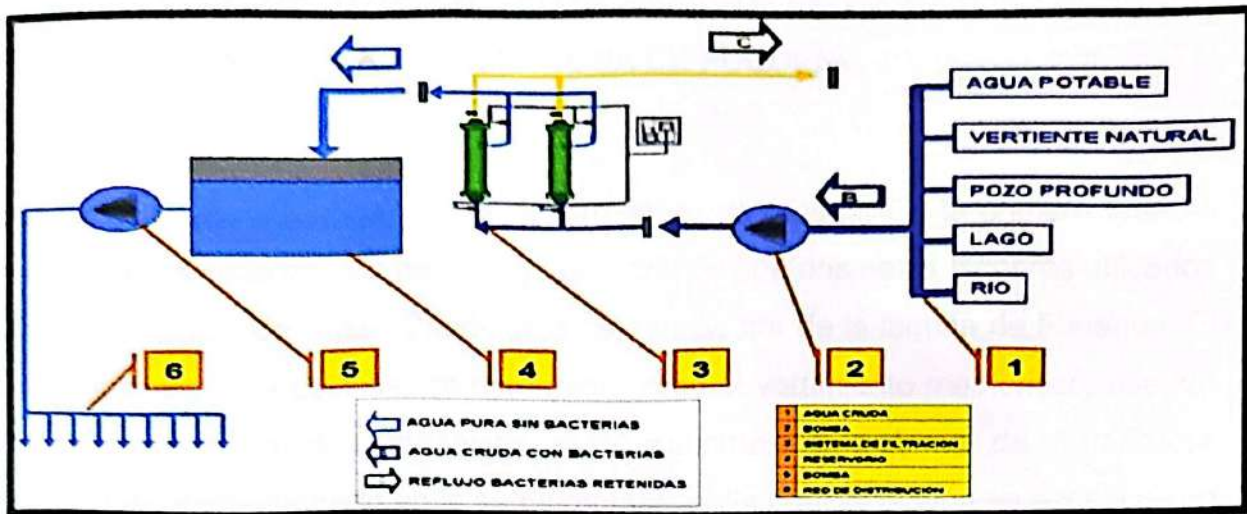
La empresa Gramalote Colombia Limited, en el proceso de exploración que lleva actualmente, genera aguas residuales domésticas provenientes del área de oficinas, comedor, entre otros. Y aguas residuales industriales provenientes de las actividades de exploración consistente en la perforación de pozos. Para lo cual se proponen los siguientes sistemas:

Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas: Trampa grasas, Cámara de inspección, Sistema séptico integrado de polietileno de alta densidad, conformado por tres divisiones (pozo séptico y FAFA). Se propone disponer el efluente del sistema de tratamiento al Río Nus. Este sistema garantizará una eficiencia teórica del 80%, en la remoción de la carga contaminante del agua. Caudal de la descarga: 1 litro/seg. Frecuencia de la descarga 30 días/mes, tiempo de la descarga 24 horas/día, tipo de flujo de la descarga: intermitente, localización del punto de descarga: N: 720233.15, E: 510265.892, cota: 841.561.

Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales: Está compuesto por tres tanques desarmables (de geotextil y estructura modular) y una trampa de grasas, que se pueden trasladar fácilmente de un sitio a otro consistente en un tanque de homogenización de 5.000 Litros donde se reúne el agua proveniente de diferentes plataformas. Este tanque funcionará como un sedimentador después de este tanque se debe instalar una trampa de grasas. Una vez el agua pasa a través de la trampa de grasas, se dirige a tanques de menor tamaño (2.000 Litros), donde se adiciona el coagulante (Sulfato de Aluminio). Se propone disponer el efluente de este sistema a cada una de las cuencas área de influencia del proyecto. Se estima que el sistema logra una remoción en carga igual o mayor al 80% en cumplimiento con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984.

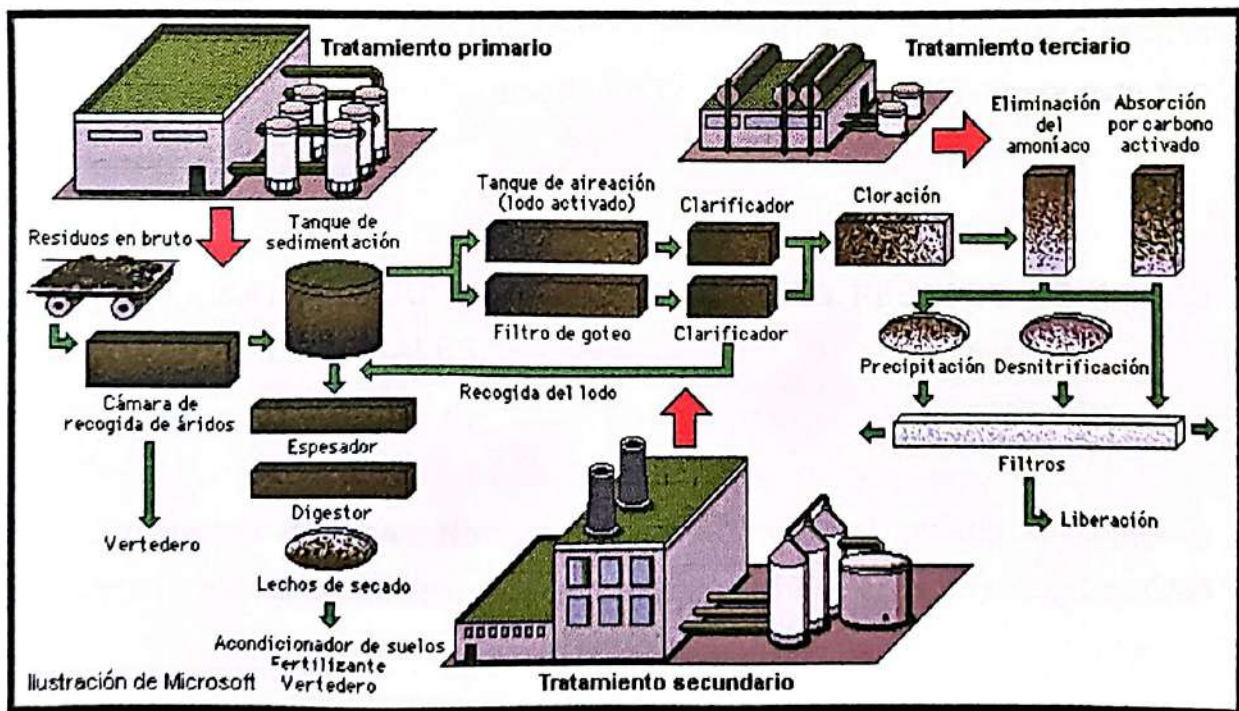
Adicionalmente, la legislación colombiana en los decretos 1594 de 1984, 3930 de 2010 y 3100 de 2003 establecen los criterios de calidad de agua para vertimientos industriales y el cobro de tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales, obligando a que las empresas establezcan estrategias para favorecer la reducción de la carga contaminante (DBO_5 , DQO, SST) y así poder reducir el pago de impuestos y destinar el agua, posterior a su tratamiento, para actividades agrícolas y pecuarias, sin que constituyan un riesgo significativo para el deterioro de cultivos y animales.

Figura 6. Método de tratamiento de Aguas Residuales Industriales



Fuente: Esquemas de Tratamiento de aguas industriales

Figura 7. Método de tratamiento de aguas residuales domésticas



Fuente: Esquemas de Tratamiento de aguas Domesticas

3.6 ENSAYOS DE EFICIENCIA CON MACROFITAS PARA LA REMOCION DE CARGA CONTAMINANTE EN AGUAS RESIDUALES DE HATOS LECHEROS PARA UN SUBSECTOR DE LA LAGUNA DE FUQUENE.

El proyecto de investigación se desarrolló en dos fases. En la primera fase se realizó la caracterización de las aguas residuales de dos hatos lecheros ubicados en el municipio de Susa (Cundinamarca), subsector de la laguna de Fúneque. El hato lechero "Las delicias" se determinó como el vertimiento más crítico, usando sus residuos líquidos orgánicos para alimentar el sistema de humedales artificiales implementado en la segunda fase, en la cual se evalúa en escala piloto los porcentajes de remoción de materia orgánica y nutriente tales como DBO, DQO, PO y Sólidos totales. Como base del ensayo fueron empleadas las especies macrófitas *eichhornia crassipes* (Buchón), *Limnobium laevigatum* (Hoja flotante) y *Typha domingensis* (Enea), extraídas de la laguna de Fúquene. Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico, empleando un diseño experimental de bloques simples al azar, indican que *Eicchornia crassipes* reportó mayor eficiencia en la remoción de carga orgánica (65%) para este tipo de residuos líquidos.⁸

3.7 REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

La Conferencia de las Naciones Unidas para el medio ambiente y desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en julio de 1992, entre otros logros, sirvió

⁸ Revista Científica Universidad distrital Francisco José de Caldas.

para circunscribir la visión del desarrollo sostenible e identificar el papel y la responsabilidad del empresario. Esta visión significa un cambio de rumbo para todos los actores, incluyendo los empresarios.

La contaminación generada en actividades productivas por lo regular es síntoma de su ineficiencia; al mismo tiempo, los desechos reflejan materias primas no transformadas y, por lo tanto, no vendidas como producto final.

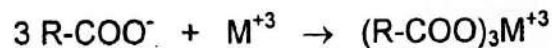
La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud de la población y son conocidas las epidemias causadas por la contaminación de aguas, que en el pasado afectaron gravemente la población. Actualmente las instalaciones de depuración existentes en la mayoría de los centros urbanos controlan estos problemas, sin embargo, el creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes de contaminación ambiental. Numerosos efluentes industriales, plaguicidas y otros productos químicos utilizados en la agricultura, arrastrados por las lluvias contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas.

La industria, con muy pocas excepciones, no hace tratamiento a sus desechos líquidos, por falta de tecnologías de "limpieza" adecuadas, de fácil acceso y bajo costo. Como caso concreto, cabe mencionar la industria del cuero, cuyos vertidos contribuyen significativamente al deterioro ecológico de vitales fuentes de agua, como los ríos Bogotá y Medellín, y la bahía de Cartagena, para mencionar sólo algunos de los problemas más conocidos.

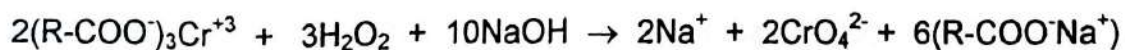
La presencia de metales pesados en el agua, tales como: el plomo, arsénico, níquel, cadmio, mercurio, cromo (III) y (VI), crean problemas serios por sus efectos tóxicos sobre animales, plantas y la salud humana. Como existe una gran variedad de procesos industriales que generan este tipo de contaminación, el control de la presencia de metales pesados en agua es difícil.

El planteamiento del presente trabajo es la utilización de ceniza volante original y tratada para la remoción de Cr(III) y la conversión de la ceniza volante a arcilla aniónica para la remoción de Cr(VI), en forma de cromato y dicromato, de los desechos líquidos industriales.

Petruzzelli y colaboradores (1995), han presentado un proceso para la remoción de cromo, basado en la tecnología de intercambio iónico, en el cual, una corriente de licor es diluida y tratada en una columna empacada con una resina carboxílica (PUROLITE C-106), el cromo (III) y otros iones metálicos trivalentes (Al, Fe) son retenidos por la resina, de la siguiente manera:



Posteriormente el cromo es eliminado del lecho como un ion $(\text{CrO}_4)^{2-}$, utilizando una solución alcalina de H_2O_2 , los iones Fe^{+3} quedan retenidos, mientras que el aluminio es desplazado como AlO_2^- , así:



El aluminio es separado del cromo por precipitación, el hierro es eliminado durante la regeneración con ácido sulfúrico. El cromo se vende en forma de solución de cromato para otros usos o se reduce nuevamente al estado trivalente.

Una propuesta novedosa es la planteada por Cadena y colaboradores (1992), quienes modifican la carga superficial de las zeolitas naturales, tipo clinoptilolita, usando agentes "tailoring" en una cantidad equivalente a 200% o más de la capacidad externa de intercambio catiónico (ECEC) de ellas, logrando zeolitas "tailored" que permiten intercambio aniónico. Los agentes "tailoring" fueron el etilhexadecilmetilamonio ($C_{20}H_{44}N^+$) y el cetilpiridinium ($C_{21}H_{38}N^+$). El agregar una cantidad de agente "tailoring" mayor que el necesario para ECEC, hace que las interacciones entre las largas cadenas alquílicas hagan posible una adsorción adicional sobre la zeolita. Esta transformación de las zeolitas, hace posible la remoción de Cr(VI) de soluciones en la forma $HCrO_4^-$ y $Cr_2O_7^{2-}$. Esta remoción se debe a un intercambio aniónico.

En la Universidad de Concepción, Chile, se han realizado estudios preliminares de remoción de cromo y de mercurio utilizando zeolitas naturales y sintéticas. Emplearon las zeolitas sintéticas 4A y NaX, y zeolitas naturales Cubanas (70% clinoptilolita), Mexicanas (80% erionita) y Chilenas (mezcla de mordenita y clinoptilolita). Estudiaron, en condiciones normalizadas, la velocidad y la capacidad de retención de Cr(III) y Hg(II) en las zeolitas indicadas, además, realizaron un diseño experimental factorial fraccionado, con el fin de observar la influencia de algunos parámetros del intercambio iónico tales como: La temperatura (35°C - 50°C), concentración (200-400 ppm), tamaño de partícula (0.5-1.5 mm) y pH del medio (3.5-4.8). Encontrándose que la variable más significativa en el proceso de remoción era el pH, probablemente a causa de los diferentes complejos de Cr(III) que predominan en la solución.

Sun Kou y colaboradores (1998), describen las tecnologías que están aplicando a nivel de laboratorio, para el tratamiento de aguas residuales de las plantas

galvánicas, estas aguas residuales constituyen uno de los desechos líquidos inorgánicos de gran poder contaminante por sus características tóxicas y corrosivas. Las cuales se deben a las concentraciones normalmente elevadas de cianuros y de metales pesados, además, la acidez y la alcalinidad confieren al desecho un fuerte poder corrosivo. Por lo tanto, ellos plantean la remoción de metales empleando mezcla de arcillas (caolinitas, illitas y montmorillonitas), obteniendo resultados aceptables. Ellos, además, utilizan bentonitas activadas y pilareadas, para la adsorción de Cr(VI), encontrando que el pH a la cual la arcilla retiene mayor cantidad de Cr(VI), varía entre 2.5 y 3.3.

Slavee y Pickering , estudiaron los efectos del pH en la retención de Cu, Pb, Cd y Zn empleando mezclas de arcillas (caolinitas, illitas y montmorillonitas), encontraron que éstas retenían los metales en un intervalo de pH entre 3 y 6.

Helios y Rybickie, demostraron que utilizando arcillas de la serie de esmectitas se conseguía hasta un 80% de remoción de metales tales como: Cu, Pb, Cd y Zn.

Barnes, Dorairaja y Zela (1990), utilizaron las arcillas caolinitas y bentonitas para la remoción de cromo de los desechos líquidos del estado de New Jersey, encontrando que las bentonitas adsorben mejor el cromo que las caolinitas a pH bajos.

Existe otra investigación interesante realizada por O'dwyer y Hodnett,(1995), quienes desarrollaron un proceso de adsorción-redox, en el cual tratan los efluentes de las curtiembres que, descargan aproximadamente una concentración de cromo de 8000 mg/L, por un proceso de intercambio iónico, utilizando la resina **amberlita** (Amberlita IR 120-H); en dicho proceso se utilizan

cuatro etapas, una etapa de oxidación del Cr^{+3} a Cr^{+6} ; se oxida con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (En medio ácido, durante 24 horas a 100°C), en una segunda etapa de intercambio iónico se remueve el sodio; la tercera etapa de reducción de Cr^{+6} a Cr^{+3} y finalmente un proceso de intercambio iónico para remover el Cr^{+3} . El motivo por el cual se realiza la etapa de oxidación, es porque la concentración de sodio en el efluente es mucho mayor que la concentración de cromo; por lo tanto el sodio entraría a competir con el cromo y a saturar la resina sin permitir una separación eficiente de este último. El proceso también se realiza en columnas de lecho empacado. La solución de dicromato es reducida con metanol fuera de la columna y la solución de cromo (III) se pasa de nuevo por la columna regenerada, en esta etapa, el cromo es retenido, para luego ser eliminado como sulfato.

Saad Ali Khan y colaboradores, (1995), realizan un estudio para remover iones metálicos, $\text{Cr}(\text{III})$, $\text{Cr}(\text{VI})$ y $\text{Ag}(\text{I})$, por un proceso de adsorción tipo "discontinuo", utilizando bentonita como adsorbente. Determinan el coeficiente de distribución (K_d), por sistemas de adsorción en función del tiempo de contacto, pH, temperatura y concentración del adsorbente y el adsorbato; también realizaron estudios termodinámicos a diferentes temperaturas (entalpía, entropía y energía libre de adsorción). Encontraron que el proceso de adsorción de $\text{Cr}(\text{III})$ y $\text{Ag}(\text{I})$ en bentonita es exotérmico y que el proceso es favorecido a bajas temperaturas, mientras que para los iones cromato el proceso es endotérmico y la adsorción es favorecida a altas temperaturas.

Malliou y colaboradores de la Universidad de Atenas (1994), Grecia, emplearon la zeolita natural clinoptilolita para remover plomo y cadmio por un proceso de intercambio iónico. Encuentran que el proceso de intercambio para dichos metales es favorecido a altas temperaturas. A temperaturas bajas el intercambio de plomo era debido principalmente a la presencia de sodio en la red cristalina de

la zeolita, y a altas temperaturas al potasio presente en ella. Además encuentran que la velocidad de intercambio iónico incrementa con una disminución en el tamaño de la partícula.

Manuel Pérez Candela y colaboradores de la Universidad de Alicante (1995), España, prepararon varios carbones activados en forma de polvo y granular, provenientes de diferentes materias primas y con distintos procesos de activación. Encontraron que la remoción de cromo se incrementa a pH bajos y con un aumento en la concentración inicial de cromo. Concluyen que las condiciones óptimas para remover cromo (VI) a partir de estos materiales son :

- pH = 2

- tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución de Cr (VI) de 200 horas.

Además la remoción de cromo (VI) depende de las propiedades físicas del carbón activado, de la porosidad y de su naturaleza química.

Muthukumura y colaboradores del Instituto Tecnológico de la India (1995), trabajaron en la remoción y recuperación de aguas residuales provenientes de la industria de electroplateado utilizando carbón químicamente activado. La corteza de coco fue la materia prima de la cual obtuvieron el carbón activado, el cual removió el 98% de cromo (III) y el 40% de cromo (VI). El experimento lo realizaron en proceso discontinuo, con concentraciones iniciales de cromo de 10 ppm a diferentes valores de pH, con un tiempo de contacto de 6 horas, a una temperatura de 30 °C, bajo agitación mecánica, utilizando 100 mL de solución. Al finalizar el proceso de adsorción y filtración, procedieron a analizar el contenido de cromo en la solución. En otro experimento utilizaron columnas de vidrio de lecho empacado, con un diámetro interno de 2.5 cm, altura de lecho de 7.5 cm y

con un flujo de 15 mL/min. La concentración inicial de cromo fue de 10 ppm y a la salida de la columna de 0.05 ppm, lo que indica una remoción del 99.5%. La capacidad para cromo (III) fue de 8.7 mg/g. El proceso de regeneración la realizaron con soluciones de HCl 1 M.

Sayed de la Universidad de Helwan del Cairo (1996), Egipto, 1996. trabajó con zeolita A y una resina orgánica (NaDNNS), para remover iones metálicos potencialmente tóxicos tales como, Zn^{+2} , V^{+2} , Cd^{+2} y Hg^{+2} , de aguas residuales proveniente de la industria de textiles. Realizaron un estudio comparativo de estos dos intercambiadores iónicos, y para tal efecto tuvo en cuenta los siguientes factores: cinética, temperatura, resistencia iónica y efecto del pH. De acuerdo a estos resultados y principalmente al estudio cinético, concluyó que la resina (NaDNNS) es un intercambiador más eficiente que la zeolita A para estos metales.

Cheng-Fang Lin y Hsing-Cheng Hsi de la Universidad de Taiwan (1995), trabajaron en la síntesis de zeolitas a partir de ceniza volante, (fly ash), aprovechando que estas cenizas exhiben una estructura similar a la de las zeolitas, las cuales están constituidas principalmente por aluminosilicatos. La investigación que realizaron fue sintetizar zeolitas utilizando diferentes condiciones hidrotérmicas; además evaluaron la capacidad de intercambio iónico de las zeolitas sintetizadas. Los parámetros experimentales que tuvieron en cuenta fueron: la temperatura, la naturaleza y molaridad de los reactivos, la presión y el tiempo de reacción. Las zeolitas formadas se caracterizaron por la técnica de difracción de rayos X, determinaron el área superficial y la composición elemental. Encontraron 4 tipos de zeolitas dependiendo de las condiciones de operación:

- a. Zeolita P (2-4 N NaOH a 70-130 °C)
- b. Analcima (2-4 N NaOH a 130 y 170 °C)
- c. Sodalita (4-10 N NaOH a 90-130 °C)
- d. Cancrinita (T > 200 °C)

La capacidad de intercambio iónico de las zeolitas sintetizadas oscilo entre 1.8 - 2.1 meq/g.

Arieh Singer y Vadim Berkgaut, de la Universidad de Jerusalén (1995), evaluaron las propiedades de intercambio iónico de dos tipos de ceniza volante tratadas hidrotérmicamente. Los dos tipos de ceniza volante, una proveniente de Colombia, y la otra de Sudáfrica fueron tratadas durante dos y 48 horas con una solución de NaOH 3.5 normal a una temperatura de 100 °C, caracterizaron la ceniza por difracción de rayos X y obtuvieron las zeolitas P e hidroxisodalita; además determinaron la capacidad de intercambio iónico, concluyendo que este tipo de zeolitas puede ser una alternativa para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Christopher Amrhein y colaboradores (1996), trabajaron en la síntesis y propiedades de las zeolitas obtenidas por el tratamiento hidrotérmico de ceniza volante.

Las zeolitas obtenidas las caracterizaron por difracción de rayos X. La ceniza la trataron con soluciones de NaOH y KOH, a diferentes temperaturas

La zeolita formada a 100°C tratada con NaOH fue la zeolita NaPI y la zeolita P-C, y a temperaturas de 150-250°C la zeolita X. Cuando utilizaron soluciones de KOH a 100 °C, se formaron las zeolitas K-G (Chabazita).

Encontraron que estas zeolitas tienen alta afinidad por K^+ , Ca^{++} y NH_4^+ . Realizaron ensayos con metales pesados de la industria de electroplateado y no obtuvieron resultados exitosos.

MÉTODO DE LA CENIZA VOLANTE : En el presente estudio se utiliza la ceniza volante original y tratada para la remoción de cromo, obteniéndose resultados excelentes, partiendo de una concentración inicial de cromo de 1850 ppm a una concentración final de cromo de $8 \cdot 10^{-3}$ ppm. En el estudio se determina la capacidad y la isoterma de adsorción de la ceniza volante original. Para la programación de las diferentes corridas se recurre a un diseño de experimentos tipo Box-Wilson.

La técnica empleada para la remoción de cromo de las aguas residuales de la industria de curtiembres empleando ceniza volante es un proceso sencillo y económico. La intención es convertir un desecho que es contaminante en un material útil para combatir otro tipo de desechos contaminantes, como los metales potencialmente tóxicos, en este caso específico el cromo.

Materiales

La ceniza volante utilizada en este estudio, es un subproducto de los hornos de combustión de la empresa de textiles Fabricato. Los principales constituyentes de las cenizas volantes son aluminosilicatos, mullita, hematita, cuarzo y algunos

óxidos que se encuentran en menores proporciones, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , Na_2O , V_2O_5 , PbO_2 .

La ceniza volante tratada se preparó de la siguiente manera:

Se pesaron 20 gramos de ceniza volante original y se le adicionaron 100 ml de solución de NaOH 3.5 molar, la mezcla se agito durante media hora, al cabo del cual se llevo a una estufa, en la cual se mantuvo a $100\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Luego se filtra y se lava la ceniza con agua desionizada y finalmente se seca a una temperatura de $50\text{ }^\circ\text{C}$.

La solución de cromo utilizada fue el licor residual de cromo proveniente de la curtiembre, el cual contenía una concentración de cromo de 1850 ppm, prueba realizada en un Spectronic 20, Bausch & Lomb, empleando el método recomendado en el Standart Method(17), y una tercera muestra se envió a analizar por absorción atómica, reportando el mismo resultado.

Procedimiento Experimental: La operación de remoción de cromo, fue realiza de manera discontinua, utilizando la ceniza volante original y tratada, la cual requiere de los siguientes elementos:

- Agitador Magnético
- Vaso de precipitados
- Termómetro
- pHmetro
- Soporte Universal
- Pinzas

Para la programación de las diferentes corridas se recurrió al diseño de experimentos de Box-Wilson, empleando como variables independientes, masa de ceniza volante, temperatura y tiempo de contacto, ver tabla 1. En el proceso

se utilizó un vaso de precipitado de 100 ml, el cual contenía 50 ml de solución real de cromo a tratar y la ceniza volante (10-20 gramos) y se dejó bajo agitación durante un tiempo determinado (30-60 minutos), finalmente se filtra y a la solución filtrada se le determina la concentración de cromo, empleando el método colorimétrico.

Tabla 2. Programación de las corridas experimentales usando ceniza volante

Experimento Número	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Masa (gramos)
1	30	38	15
2	36	45	18
3	36	31	12
4	36	31	18
5	36	45	12
6	45	25	15
7	45	38	10
8	45	38	20
9	45	38	15
10	45	50	15
11	54	31	12

12	54	31	18
13	54	45	18
14	54	45	12
15	60	38	15

Fuente. Esta investigación.

MÉTODO DE LA ARCILLA ANIÓNICA: El objetivo principal de éste estudio es la utilización de la arcilla aniónica en la remoción de Cr(VI).

Material Y Método

El análisis de difracción de rayos X se utilizó para caracterizar la ceniza volante y además para observar los cambios que sufre el material al ser transformado en arcilla aniónica. Este se llevó a cabo en un difractómetro marca Rigaku, tipo Miniflex, mediante radiación de cobre ($\text{CuK}\alpha$) a 40 kV y 30 mA y un barrido de $2^\circ/\text{minuto}$, donde se hace evidente la cristalinidad del material y se observa la presencia de cuarzo (Q) y mullita (M). Se realizó el análisis de difracción a la arcilla aniónica, donde se advierte un cambio de fase y aparecen los picos característicos de la dolomita (D), hidrocalcita (H), calcita (C) y brucita (B).

Lo que en el presente estudio se denomina arcilla aniónica se preparó pesando 36 gramos de ceniza volante, 10.8 gramos de dolomita, 10.8 gramos de lima (CaO) y adicionando 72 ml de agua desionizada, la mezcla se agitó durante doce horas, el sólido se filtró y se lavó con agua desionizada y finalmente se secó a una temperatura de 50°C .

La solución de cromo utilizada fue dicromato de potasio, con una concentración de cromo inicial de 250 mg/L. Los análisis químicos se realizaron por

colorimetría, en un Spectronic 20, Bausch & Lomb, empleando el método recomendado en el Standard Methods (17). La dolomita empleada fue suministrada por Minerales Industriales.

Activación De La Arcilla

Los métodos empleados para la activación de la arcilla fueron los siguientes: (19)

- Con HCl 1N

Relación: arcilla/HCl= 1 gramo/5 ml

La operación se realizó a 95°C a reflujo. La arcilla se mezcló con HCl y se agitó durante una hora. Luego se filtró y el sólido obtenido se lavó con agua desionizada, finalmente se secó a una temperatura de 110°C.

- Con NaCl 2M

Relación: Arcilla/NaCl= 1 gramo/10 ml

La operación se realizó a 25°C. La arcilla se mezcló con la solución de NaCl 2M y se agitó durante una hora, luego se filtró y el sólido obtenido se lavó con agua desionizada y se secó a una temperatura de 50°C

- Con H₂O₂ al 6% volumen.

Relación: Arcilla/H₂O₂ = 1 gramo/5 ml

La operación se realizó a 90°C a reflujo. La arcilla se mezcló con H₂O₂ y se agitó durante una media hora. Luego se filtró y el sólido obtenido se lavó con agua desionizada y se secó a temperatura ambiente.

Procedimiento Experimental: La operación de remoción de cromo (VI), se llevó a cabo de forma discontinua con la arcilla sintética, utilizando un vaso de precipitados de 100 ml, el cual contenía 20 ml de solución de dicromato de potasio, con una concentración inicial de Cr(VI) de 250 mg/L y 5 gramos de arcilla. El sistema se dejó bajo agitación durante un tiempo determinado a temperatura ambiente, luego de lo cual se filtró y a la solución filtrada se le determinó la concentración de Cr(VI).

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de difracción de rayos X (XRD), fue empleado para caracterizar la ceniza volante y además, observar los cambios de cristalinidad que sufre la ceniza al ser tratada y al ser expuesta al proceso de remoción de cromo. Las condiciones para el análisis de difracción involucra radiaciones de cobre(CuK α) a 40 kV y 30 mA y un barrido de 2°/minuto en un difractómetro de rayos X Rigaku Miniflex.

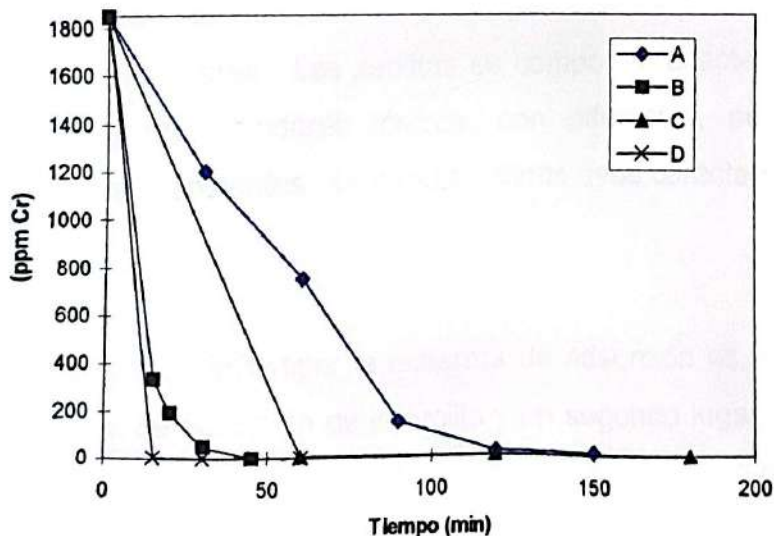
El análisis de difracción de la ceniza original evidencia la cristalinidad del material y se observa la presencia de cuarzo y mullita. El análisis de difracción de la ceniza volante tratada advierte un cambio de fase, se vislumbra la presencia de una mezcla de zeolitas; sodalita y cancrinita.

Se muestran los resultados obtenidos en el proceso de remoción de cromo empleando ceniza volante original a temperatura de 25°C. Se observa que el mejor valor (11.5 ppm de cromo), se obtiene con un tiempo de agitación de 150 minutos, sin embargo se encuentra por fuera del límite máximo permisible por la legislación (4 ppm), se observan cambios sustanciales en el proceso de remoción de cromo, se incrementó la temperatura a 50°C, obteniéndose el mejor

valor($8 \cdot 10^{-3}$ ppm de cromo), con un tiempo de agitación de 54 minutos, esto indica que el proceso es significativamente endotérmico.

Se hace referencia a la ceniza tratada, se observa claramente como el proceso de remoción mejora ostensiblemente, los resultados obtenidos se encuentran dentro del límite permisible. Con la ceniza tratada, con una temperatura de operación de 25°C , el mejor valor (0.45 ppm), se obtiene con un tiempo de agitación de 180 minutos, sin embargo con un tiempo de agitación de 60 minutos, se obtiene una concentración de 4 ppm. Con la ceniza tratada a 50°C y 60 minutos, se obtiene el mejor valor (0.031 ppm de cromo), sin embargo con un tiempo de agitación de 30 minutos se obtiene una concentración de 0.3571 ppm de cromo el cual se encuentra dentro del límite permisible.

Figura 8. Remoción de cromo (III) empleando ceniza Volante



Fuente. Esta investigación

A: Con ceniza original a 25°C

B: Con ceniza original a 50°C

C: Con ceniza tratada a 25°C

D: Con ceniza tratada a 50°C

Se determinó la capacidad de adsorción de la ceniza volante original, de la cual se deduce que la capacidad de adsorción es de 1.1048 meq de cromo/gramo de ceniza volante, valor que se encuentra dentro del intervalo reportado por la literatura (14)(15)

Se realizó la isoterma de adsorción, la cual tiene forma de S, característica de resinas bifuncionales, es decir, tiene grupos ácidos débiles y fuertes. Las mallas moleculares, específicamente zeolitas, contienen sitios de intercambio diferentes y las isotermas son bifuncionales, las cuales son superposiciones de dos isotermas regulares. Las zeolitas se comportan exactamente como una mezcla de dos intercambiadores iónicos, con diferentes, pero con coeficientes de selectividad constantes. La ceniza volante tiene características zeolíticas.

El propósito de investigar la isoterma de adsorción es, en primer lugar, medir la capacidad de adsorción de la arcilla y en segundo lugar, averiguar la distribución del equilibrio sólido-líquido. Se determinó la capacidad de adsorción de la arcilla sintética, obteniéndose un valor igual a 1.9738 mg/g.

La isoterma de adsorción, se construyó de la siguiente manera: 5 gramos de arcilla se pusieron en contacto con 20 ml de solución de dicromato de potasio bajo agitación durante 24 horas. Al cabo de este tiempo se separó el sólido de la solución por filtración, y se determinó la concentración de Cr(VI), utilizando el método colorimétrico. Finalmente, se secó el material (arcilla), se pesó y se

adicionó nuevamente solución fresca de dicromato de potasio. Este proceso se repite hasta que el material esté totalmente saturado, hecho que se hace evidente, cuando la concentración de la solución de cromo sea igual o mayor a la concentración de la solución inicial.

La concentración de cromo en la arcilla se calculó a partir de un balance de materia, de la siguiente manera:

$$Q = Q_o + V/M (C_o - C_F) \quad \{1\}$$

Q: Concentración final de cromo en la arcilla (mg/g)

Q_o: Concentración inicial de cromo en la arcilla (mg/g)

V: Volumen de la solución de cromo (litros)

M: Masa de arcilla (gramos)

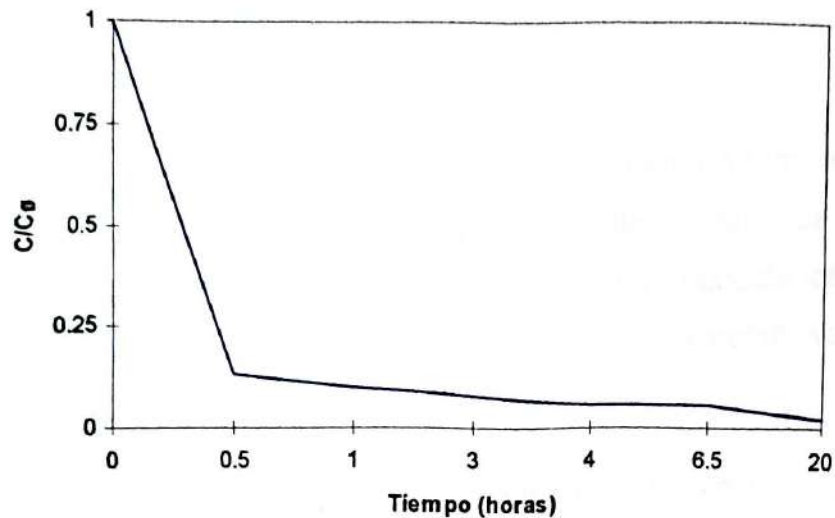
C_o: Concentración inicial de cromo en la solución (mg/L)

C_F: Concentración final de cromo en la solución (mg/L)

A la arcilla se le realizó un análisis termogravimétrico, en el cual se pudo observar una pérdida de peso cercana al 3% hasta 100°C, debido a la humedad presente en el material. De 100 a 400°C no existió una pérdida de peso significativa. Sin embargo, en el intervalo de 400 a 800°C se observó un cambio drástico de pendiente en la curva, quizás, debido a la evolución de derivados del carbono. A 800°C la pérdida de peso tiende a estabilizarse.

En la figura 2, se presentan los resultados obtenidos en el proceso de remoción del Cr(VI). Se puede observar que al ir incrementando el tiempo de agitación la concentración de Cr(VI) disminuye notablemente.

Figura 9. Remoción de Cr(VI) con arcilla anionica



Fuente. Esta investigación.

$$C_0 = 250 \text{ mg/L}$$

Se realizaron varios ensayos de remoción de Cr(VI) con la arcilla activada por los métodos descritos anteriormente, pero los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, porque la arcilla perdió sus propiedades como adsorbente. El objetivo de activar la arcilla era proporcionarle una mejor capacidad de adsorción, con el fin de que la remoción fuera mucho más rápida y eficiente.

3.8 PLANTA DE TRATAMIENTO SAN FERNANDO

La Planta San Fernando está localizada en el Municipio de Itagüí en los límites con Medellín, siendo vecina de la Central Mayorista de Alimentos. Recibe las aguas residuales de las residencias, la industria y el comercio de Itagüí,

Envigado, Sabaneta, La Estrella, parte del corregimiento de San Antonio de Prado, posteriormente también recibirá las del Municipio de Caldas.

Las aguas residuales llegan a la Planta a través de las redes de alcantarillado localizadas en las vías de los barrios, que descargan a los colectores paralelos a las quebradas, los cuales a su vez están conectados a los interceptores localizados en cada costado del río y que, finalmente, van hasta el sitio de la Planta San Fernando.

Aguas más adelante de San Fernando continúan otros interceptores que van recibiendo en su camino las aguas residuales de los alcantarillados de los municipios de Medellín y Bello, descargando en la zona de Moravia (Bello), donde el olor fétido del río comienza a sentirse, este problema será solucionado en el año 2010 aproximadamente con la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Bello. Esta Planta será similar a la de San Fernando, pero tendrá tres veces su tamaño y capacidad de tratamiento.

La Planta San Fernando fue diseñada por el consorcio Compañía Colombiana de Consultores y la firma Greeley and Hansen Engineers (USA). La Planta entró en ensayos a finales de 1999 y en mayo 15 de 2000 en operación.

La Planta San Fernando está ubicada dentro de un parque con 40.000 especies naturales de plantas ornamentales, 2.000 árboles y gran cantidad y variedad de pájaros.

Ocupa dos lotes (Norte y Sur) con una extensión total de 140.000 m². Trata actualmente 1,8 m³ por segundo de aguas residuales residenciales, comerciales e industriales, y es el primer gran paso en el proceso de saneamiento del Río Medellín.

Se estima que un 20% de las aguas residuales será de difícil control, pues llegarán a las quebradas y al río por los problemas de invasión, de retiros obligatorios y por la gran cantidad de sedimentos que bajan desde las laderas donde se explotan materiales de construcción.

El valor de la construcción de la planta fue de US \$ 100 millones de dólares aproximadamente.

Esta planta está en funcionamiento las 24 horas del día y sólo se para temporalmente de manera excepcional.

La Planta de Tratamiento de aguas Residuales San Fernando fue galardonada con el "Premio Nacional de Ingeniería" en el año 2000, distinción que le otorgó la Sociedad Colombiana de Ingenieros.

Aún con la construcción de las plantas de tratamiento en Bello y Barbosa, sólo se alcanzará a tratar un 80% de las aguas residuales de los municipios que conforman el Valle de Aburrá.

Fotografía 5. Plata de Tratamiento San Fernando



Fuente. Esta investigación

3.9 PLANTA DE RATAMIENTO PTAR SALITRE

La planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre, es la instalación que depura las aguas servidas generadas en la zona norte del Distrito Capital, colectadas a través del sistema de alcantarillado e interceptores que confluyen sobre la cuenca El Salitre.

La PTAR El Salitre entró en funcionamiento en septiembre de 2000 y hasta junio de 2004 fue operada bajo la modalidad BOOT por la firma BAS; a partir de esa fecha, la PTAR queda a cargo del Acueducto de Bogotá, en conformidad con lo dispuesto por la Alcaldía Mayor de Bogotá que a través del decreto 043 de

Febrero 18 de 2004, asignó a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la función de operar, mantener y administrar estas instalaciones.

Esta PTAR atiende a:

- Población atendida: 2.200.000 habitantes
- Tipo de tratamiento: Primario avanzado químicamente asistido
- Caudales de operación: Medio: 4.0 m³/s

Máximo: 9.9 m³/s

- Eficiencia en remoción
(Según Licencia Ambiental) SST: 60% DBO5: 40%
- Estabilización de lodos: Tratamiento anaeróbico
- Generación de biogás: 13500 m³/d
- Generación de biosólidos: 165 ton/d.

PROCESOS

Toma de agua y puesto de bombeo: Actualmente el agua llega a través del canal interceptor Salitre, estructura de conducción sobre la cual confluyen los aportes de aguas servidas de diferentes puntos de la zona norte de la ciudad.

El ingreso a tratamiento se logra con la desviación del curso de las aguas en el canal mediante una estructura de compuertas que atraviesa transversalmente el canal-interceptor y que puede ser accionada para aliviar caudales de exceso que en temporada invernal transporta el canal. El agua ingresa inicialmente a una cámara tranquilizadora provista de un foso de remoción de sólidos gruesos pesados, para pasar luego por un pretratamiento de cribado grueso (desbaste grueso) por medio de rejillas (espacio libre entre barrotes 10 cm). Para la

elevación del agua a casi 10 m se han instalado bombas, tipo tornillo de Arquímedes de 3.10 m de diámetro.

Luego de la elevación, se tiene ubicado el punto de toma de muestras de agua cruda, que según la programación actual fijada, permite la conformación de dos (2) muestras compuestas día. De acuerdo con los registros de caracterización correspondientes al periodo de operación del Acueducto de Bogotá, los valores promedio determinados para el agua cruda se presentan a continuación en la siguiente tabla

Tabla 3. Caracterización del Agua Cruda

Parámetro	Unid.	Valor
SST	mg/L	226
DBO5	mg/L	264
DQO	mg/L	564
pH	Unid.	7,33
Alcalinidad	mg/L CaCO3	208
SSV	mg/L	158
ST	mg/L	613
SV	mg/L	310
Turbiedad	NTU	173
Conductividad	mS	677

Fuente: Acueducto y Aguas Bogotá

Para la cuantificación del caudal de agua cruda a tratar, se cuenta a continuación del bombeo, con canales de medición del afluente tipo "Venturi", provistos de sensores de ultrasonido y radiofrecuencia.

Pretratamiento: Después del "pre-desbaste" con las rejillas gruesas antes mencionado y paso seguido al bombeo, el agua pasa hacia la línea de

pretratamiento. Este pretratamiento consiste en: (a) desbaste fino, mediante cuatro rejillas automáticas (espacio libre entre barrotes 2.50 cm); (b) desarenado, permite remover arena y otros materiales inertes (vidrio, semillas) y desengrasado; esto se logra entre tres canales aireados dobles, cada uno de 8 metros de ancho y 30 metros de largo. Adicionalmente al pretratamiento se promueve la clarificación del agua vía coagulación – floculación. En este sentido se aplica Cloruro Férrico y polímero aniónico del tipo poliacrilamida seca, en dosis promedias de 32 mg/L y 0.50 mg/L respectivamente. De aquí el agua es conducida mediante un conducto rectangular (box-culvert) hacia las cámaras de reparto de agua.

En la Tabla 5 se reseñan las cantidades promedio de residuos sólidos retirados al agua en pretratamiento (periodo de operación EAAB).

Tabla 4. Residuos Sólidos Retenidos en Pretratamiento

Residuo	Unid.	Cantidad
Gruesos	Ton/mes	31.5
Finos	Ton/mes	22,5
Arenas	m3/mes	8,8
Grasas	m3/mes	77,7

Cámara de Reparto: Con 10 m de diámetro interior y 5.4 m de altura, estas cámaras (2) están provistas de vertederos calibrados para distribuir uniformemente los caudales de alimentación a los sedimentadores o decantadores primarios (cada cámara reparte a 4 sedimentadores).

Sedimentadores o Decantadores Primarios: Son 8 unidades de 43 metros de diámetro cada una y altura lateral de 3.5 m. El agua residual proveniente de las cámaras de reparto ingresa a cada decantador por un conducto central vertical. Una pantalla difusora instalada alrededor de este conducto, obliga al agua a descender para luego ascender hacia las canaletas recolectoras perimetrales. En este descenso y posterior ascenso, se produce el desprendimiento de los sólidos sedimentables que van al fondo del tanque para formar el lodo primario. Los sedimentadores están dotados de puentes barre lodos para raspar el lodo que cae al fondo y concentrarlo en una tolva o bolsillo central. Este lodo es transportado por medio de las estaciones de bombeo de lodos primarios hasta los espesadores de lodos, donde se inicia su tratamiento.

Edificios de Bombeo de Lodos Primarios: Por cada dos decantadores primarios se ha dispuesto una estación con bombas que envían el lodo hacia la etapa de espesamiento gravimétrico. La extracción de lodos desde los decantadores se hace automáticamente gracias a válvulas neumáticas. Las concentraciones del lodo primario fluctúan alrededor de 10.000 mg/L

Canales de Medición de Agua Tratada: El agua decantada que se recoge en las canaletas perimetrales es transportada a lo largo de los conductos colectores hasta la estructura de medición, para su posterior descarga en el río Bogotá, terminando así el tratamiento en lo correspondiente a la línea de aguas.

La condición promedia del agua tratada tomada en este punto y caracterizada en el periodo de operación del Acueducto de Bogotá, se presenta en la Tabla 6.

Tabla 5 Caracterización Agua Tratada

Parámetro	Unid.	Valor
SST	mg/L	86
DBO5	mg/L	149
DQO	mg/L	302
pH	Unid.	7,24
Alcalinidad	mg/L CaCO3	189
SSV	mg/L	63
ST	mg/L	436
SV	mg/L	181
Turbiedad	NTU	75
Conductividad	mS	686
Coniformes fecales	NMP	1,2 X 10 ⁷

Espesadores de Lodos primarios: La PTAR cuenta con dos unidades de 29 m de diámetro y 4.0 m de altura lateral, dispuestas para aumentar la concentración de lodos antes de enviarlos a digestión. El agua que se ha retirado a los lodos fluyendo a través de vertederos perimetrales, es retornada al inicio del tratamiento (cabeza de proceso) con una concentración promedio de 300 mg/L de SST. Los espesadores están equipados con sistemas barre lodos que dirigen los lodos espesados hacia la salida central ubicada al fondo de cada tanque.

Edificio de Bombeo: Los lodos espesados, con una concentración de sólidos del orden de 40 g/L aproximadamente, son extraídos y enviados hacia un pozo de recolección, desde donde son bombeados a razón de 1300 m³/día.

Digestores de Lodos: En tres digestores de 8500 m³ de capacidad, se produce la estabilización biológica de los lodos al cabo de ≈ 22 días, a una temperatura de 35 °C y con una mezcla homogénea de los lodos, lograda mediante agitación por gas. El biogás producido es entonces recirculado e inyectado en el centro de cada digestor, asegurando un contacto íntimo entre el lodo digerido y el lodo crudo.

Local de calentamiento: Utilizando la energía propia de la planta por combustión de biogás, los lodos son calentados en intercambiadores tubulares de contracorriente agua – lodos para mantener su temperatura al interior de los digestores sobre los 35 °C .

Almacenamiento de los lodos digeridos: Los lodos digeridos son almacenados en un tanque equipado con agitadores sumergibles desde donde son extraídos hacia el proceso de deshidratación. Para esto se ha construido una estructura circular abierta de 2.700 m³ de volumen útil.

Deshidratación de lodos: Por medio de filtros de banda los lodos digeridos son procesados a fin de reducir su volumen y facilitar su transporte y disposición. En cinco unidades, en las que tiene lugar filtración y presión entre telas, se realiza la separación sólido líquido del lodo hasta lograr un material de consistencia semisólida (torta de lodos) con una concentración de sólidos de aproximadamente 30%. Diariamente se producen 165 toneladas de biosólido con una humedad promedio de 70%. La dosificación media de polímero catiónico empleada en esta operación ha sido de 4,78 kg de polímero por tonelada de material seco.

Puesto de elevación de todas las aguas: las aguas provenientes del espesamiento de lodos y de su deshidratación son recirculadas hacia la cabeza de proceso una vez recogidas en este puesto de bombeo.

Puesto de elevación de agua industrial: Para propósitos de lavado y post dilución de polímero, agua tratada es suministrada al edificio de deshidratación a partir de este puesto de bombeo.

Gasómetro: Diariamente y en condiciones normales, se producen 13500 m³ de biogás como promedio histórico, este biogás es reutilizado para la agitación de los digestores y la alimentación de las calderas que hacen parte del sistema de calentamiento. Se cuenta para su almacenamiento de un gasómetro de 1030m³, de tipo inflable.

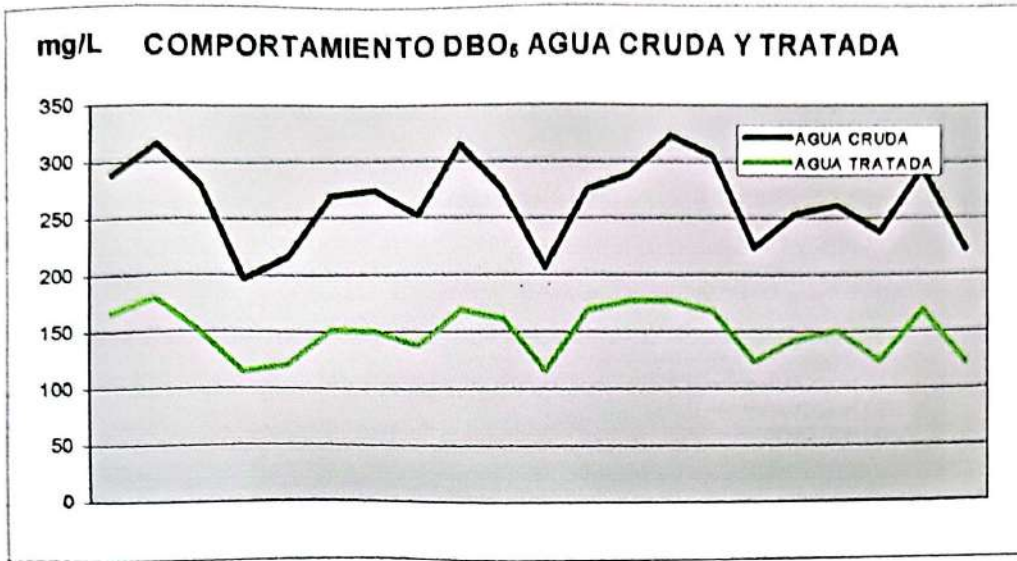
Tea: El gas en exceso que no puede ser utilizado, es quemado mediante una tea.

Grupos electrógenos: Como sistema de emergencia se tienen dos grupos generadores accionados por un motor de combustión interna diesel, el cual arranca en condiciones de fallo de energía de la red externa.

1. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO REFERIDO A LA EFICIENCIA DE LA PLANTA.

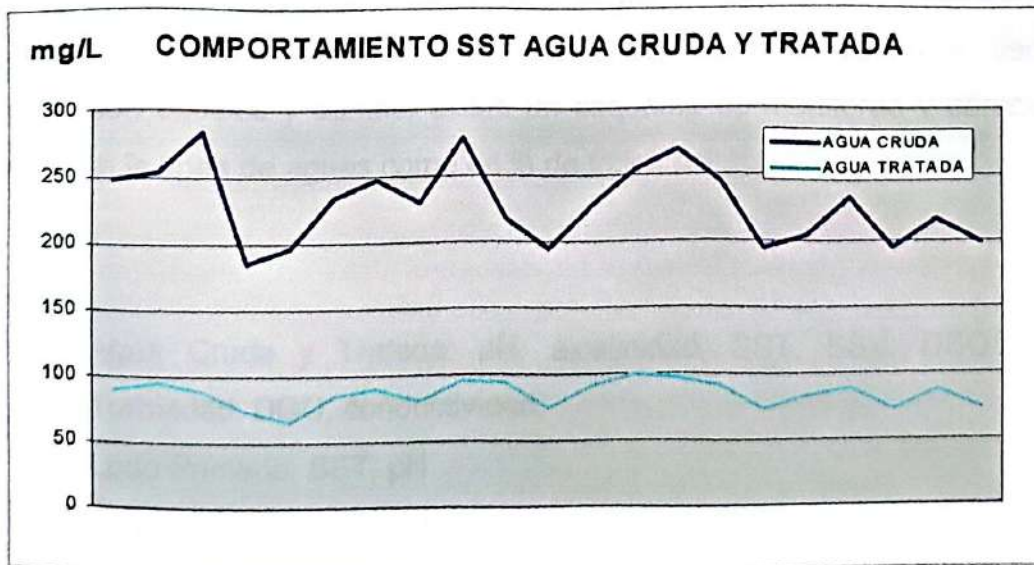
En complemento a la descripción planteada, se presenta a continuación una recopilación gráfica del comportamiento de la condición de agua cruda y tratada en cuanto a SST y DBO5 y de las remociones ponderadas mes, obtenidas durante la operación de la EAAB

Gráfica 1. Comportamiento BDO Agua Cruda y Tratada



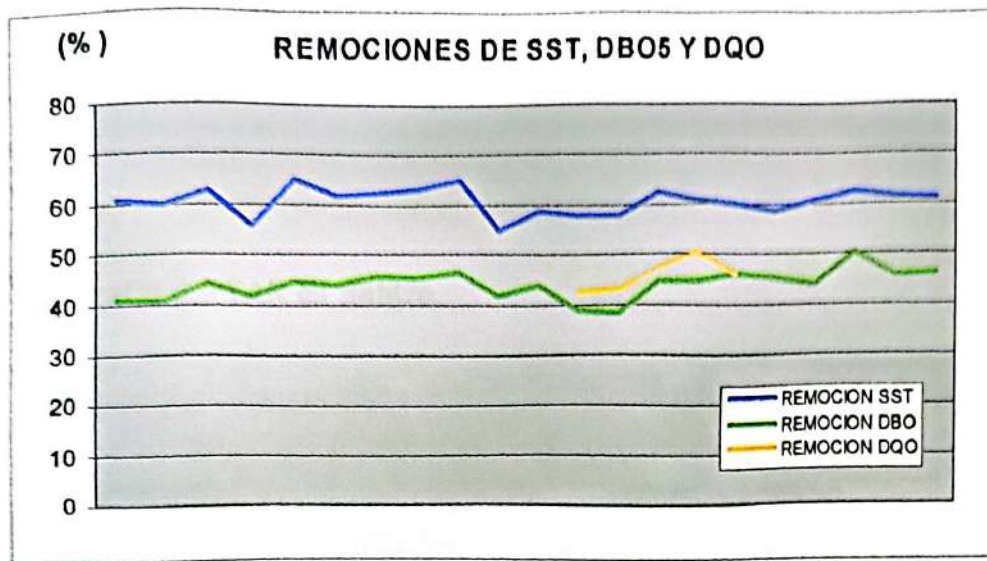
Fuente. EAAB

Gráfica 2. Comportamiento SST Agua Cruda y Tratada



Fuente. EAAB

Gráfica 3. Remociones de SST, DBO6 y DQO



Fuente. EAAB

ESQUEMA DE SEGUIMIENTO A LA OPERACIÓN DE LA PLANTA.

Adicionalmente a todo el sistema de medición y registro de diferentes variables: niveles, caudales, temperaturas, presiones, dosis aplicadas y tiempos de operación equipos y demás, existe un esquema de monitoreo y caracterización tanto en la línea de aguas como en la de lodos así:

- Agua Cruda y Tratada: pH, alcalinidad, SST, SSV, DBO5, ST, SV, Turbiedad, DQO, conductividad.
- Lodo Primario: SST, pH
- Lodo Espesado: ST, SV, pH
- Lodo Digerido: ST, SV, pH, Alcalinidad, AGV's
- Lodo para Deshidratar: ST, SV, pH

- Biosólido: Sequedad, humedad, densidad
- Aguas de Vertedero Espesadores: SST, pH
- Aguas Filtradas Deshidratación: SST

Fotografía 6.PTAR El Salitre



Fuente. Esta investigación.

3.10 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL BELLO, ANTIOQUIA ETAPA I

Según la Compañía EUCLID CHEMICAL TOXEMENT esta sería el caso más exitoso en cuanto a Plantas de Tratamiento de Agua Residual, porque según se describe es "Una planta dentro de un parque", esta fue la idea que dio origen a la

nueva planta de tratamiento de aguas residuales Bello, al Norte del Valle de Aburrá, la cual busca dar continuidad al plan de saneamiento del río Medellín, que atraviesa la ciudad de Sur a Norte.

Por su concepción arquitectónica y su diseño inspirado en la naturaleza, la Ptar Bello sentará un precedente en la construcción de este tipo de instalaciones. Por su tecnología de punta, será la más grande y moderna del país y una de las más avanzadas en su género en América Latina.

La planta de tratamiento de aguas residuales Bello será la más grande de Colombia en su tipo, el cual corresponde a una planta del tipo lodos activados y una de las más modernas de Latinoamérica.

Comparada con la Planta San Fernando, será 3 veces más grande en su infraestructura y capacidad de tratamiento.

Con un caudal de diseño de 5.0 metros cúbicos por segundo, la planta Bello procesará más del 75% de las aguas residuales residenciales, industriales y comerciales de Medellín y Bello, los municipios más grandes del Valle de Aburrá, recogidas a través de los colectores paralelos a las quebradas y de los interceptores paralelos al río Medellín, entre ellos el interceptor Norte actualmente en construcción, con una longitud de 8 kilómetros y un diámetro de 2,4 metros.

En sus instalaciones se espera recibir diariamente unas 120 toneladas de materia orgánica proveniente de las aguas residuales, para someterlas después a procesos biológicos, químicos y físicos y devolverlas tratadas al río Medellín. La meta es lograr que el río Medellín supere los niveles de oxígeno disuelto que son aceptados mundialmente como indicadores de ríos descontaminados.

El consorcio hispano-coreano Aguas de Aburrá HHA es quien construye la Ptar Bello; HHA está integrado por las firmas coreanas Hyundai Engineering and Construction Co. Ltd., Hyundai Engineering Co. Ltd, y por la española Acciona Agua.

Toxement se encuentra participando activamente con presencia permanente, asesoría técnica y capacitaciones, lo que nos ha permitido suministrar productos como: Eucon 537, usado en las lechadas de anclaje de suelo, las cuales llevan barras o cables de acero introducidos en el macizo rocoso mediante una perforación; estos son adheridos a través de una inyección o lechada cementosa, fluidificada con este aditivo.

Curaseal Blanco, el cual ayuda al proceso de curado de los concretos con el fin de lograr las resistencias de diseño, sin dejar capa sobre la estructura, permitiendo colocar posteriormente los acabados.

Desmoldatoc Green, utilizado para facilitar el desencofrado, sin manchar el concreto.

Cinta PVC, instalada para sellar juntas frías, de dilatación, construcción y contracción en estructuras de concreto sometidas a presión hidrostática, como tanques, muros de contención, sedimentadores y estructuras enterradas, principalmente.

Epotoc 1-1, Grautoc y Verticoat 2, aplicados donde se requiere hacer reparaciones de hormigueros, en los canales de descarga y tanques.

Euco Membrana PVC para tanques, se aplicó para impermeabilizar los tanques donde se almacena el agua utilizada para fabricar las mezclas de concreto.

Sistema Vulkem Vehicular 350-345-346, se colocó para impermeabilizar la zona de descarga de los agregados para el concreto.

El nuevo complejo de tratamiento de aguas residuales está proyectado finalizar en el 2015.

Fotografía 7. PTAR Bello Antioquia Etapa I



Fuente. EPM

Fotografía 8. PTAR Bello Antioquia Etapa I



Fuente. EPM

4. ANÁLISIS DE LA SITUACION EN COLOMBIA DE LAS PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES Y LOS TRATAMIENTO MAS EXITOSOS.

La Revista Portafolio en su publicación de Marzo 25 de 2013, argumenta que Colombia esta en un atraso en cuanto al manejo de aguas residuales, porque apenas el 31% de las ciudades colombianas cuenta con sistemas de tratamiento, y de este porcentaje solo el 29% es tratamiento primario, y es implementado en las ciudades de Bogotá y Cali. En En Medellín y Bucaramanga se hace el tratamiento secundario de aguas servidas mediante lodos activados, en el primer caso, y lagunas de oxidación con reactores anaeróbicos de flujo ascendente, en el segundo. Ambos mejoran la calidad de las descargas, de acuerdo con un estudio de la Superintendencia de Servicios Públicos.

A partir del desarrollo Industrial y del crecimiento desmedido de la población, uno de los principales problemas que se han venido presentando es la generación de Aguas Residuales, tanto residuales como domesticas, que resultan de diferentes procesos. Lamentablemente la mayoría de empresas del Sector industrial, no se enfocan en el riesgo y problemas ambientales que se generan, sino solo se enfocan en el beneficio económico.

Por esta razón a nivel legislativo y mundial se implementaron medidas que permiten disminuir la contaminación y los vertimientos, evitando asi el deterioro total de la calidad del agua en los cauces.

A partir de la situación previamente descrita, los cauces recibían el aporte de toda la carga contaminante de origen industrial y domésticos; Por tal motivo las ciudades donde aplican estos tratamientos se dieron a la tarea de construirlos bien para ser aplicados, mejorando de esta forma las condiciones ambientales de nuestro País.

Pero lo más grave es que si bien la inversión en sistemas de tratamiento ha sido escasa, la mayoría de las plantas de tratamiento del país está fuera de funcionamiento por razones de costos de operación y mantenimiento, descuido, desinterés, y falta de capacitación para mantenerlas en operación, entre otras razones.

La contaminación de nuestros recursos hídricos es un problema gravísimo que pone en riesgo la sostenibilidad ambiental de nuestra red de ciudades. La situación del sistema hídrico nacional no solo se ve afectada por el deshielo de nuestros nevados y páramos, sino también por las descargas contaminantes en los ríos.

Varios sectores del país viven bajo la premisa de que 'el recurso hídrico de Colombia es infinito'. Pero la realidad es que ya no somos la potencia hídrica de ayer. Pasamos de ocupar el tercer puesto en la oferta hídrica mundial en los años 60, al puesto 24, actualmente.

La inversión en el país destinada al tratamiento de aguas residuales no alcanza a representar ni el 1 por ciento de la destinada a agua potable, según información del Dane de cuentas nacionales. Se podría decir que, claro, la primera necesidad es ofrecer agua potable y alcantarillado a los habitantes de las ciudades.

Esta política no debe pretender que cada municipio o ciudad resuelva su problema de forma individual, sino consolidar un plan por cuencas y microcuencas, lo cual es viable mediante la figura de esquemas regionales, según lo establece el mismo Plan Nacional de Desarrollo.

Es evidente que se requieren soluciones de fondo, pues aquí lo que está en juego es el futuro de la sostenibilidad hídrica, ambiental y sanitaria de la gran mayoría de ciudades colombianas.

Dentro de la Normatividad Colombia, en el decreto 1594 de 1984, es claro como instrumento normativo que rige los usos del agua y vertimientos de residuos líquidos, en el que se establece los límites permisibles que se deben cumplir con toda las descripciones de las diferentes Planta de Tratamiento.

Tomando como referencia las historias que hemos descrito de las diferentes PTAR de Colombia, las cuales han implementado los sistemas de tratamientos y que han sido exitosos, además de todos los conocimiento podemos definir como las mejores Plantas de Tratamiento con métodos exitosos a nivel de Colombia la de construcción de humedales artificiales con el objetivo de optimizar el tratamiento de aguas residuales, elevar la calidad del líquido y ofrecer un servicio a la comunidad con tecnología a bajo costo, ubicada en la Ciudad de Pereira, se han construido varios humedales artificiales, uno de ellos de la empresa de Aguas y Aguas, el cual se localiza en el sector de la Bananera, a un kilómetro arriba de la bocatoma del acueducto de la ciudad, el cual permite depurar esas aguas residuales antes de que lleguen a la ciudad para evitar que haya un tipo de afectación a la comunidad.

Otro es en la industria Magnetron, (empresa de transformadores) donde se tratan las aguas residuales tanto industriales como domésticas.

A través de los humedales artificiales se logra una remoción superior al 99% de carga contaminante.

5. METODOLOGIA

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta propuesta de grado es una monografía con enfoque cualitativo, indirecta o documental porque recurre a las fuentes históricas de los métodos que se utilizan para remover los compuestos químicos en las aguas residuales en Colombia con el fin de dar alternativas de implementación en nuestro departamento que sea viable en el factor económico, social y ambiental.

Se aplico:

Investigación Aplicada. Se caracteriza porque nos invita a la adquisición de nuevos conocimientos, dirigida hacia un objetivo o fin práctico, que responda a una demanda específica y determinada. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que para el desarrollo de la investigación aplicada se estructurara un marco conceptual, teórico y legal del tema de investigación.

Investigación Indirecta o documental: Este tipo de investigación es la que se realiza, como su nombre lo indica, apoyándonos en fuentes de carácter histórico documental, esto es, en documentos de cualquier especie, como son fuentes bibliográficas, direcciones electrónicas y normas vigentes sobre el tema específico.

Investigación de Campo. Este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, artículos y observaciones. Como es compatible desarrollar este tipo de investigación junto a la investigación de carácter documental, se realizara primero una consulta de las diferentes fuentes de carácter documental, a fin de evitar una duplicidad de información. Así, la investigación de campo nos permitirá obtener nuevos conocimientos en el contexto de la realidad social o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos, es decir se obtendría o generaría una investigación aplicada.

Al concretar el tipo de investigación se comenzó a:

1.investigar y recopilar la información sobre el tema en fuentes tales como: internet y la biblioteca de la institución, además de entidades como CORPOAMAZONIA, las EPM..

2.Se investigará cómo ha evolucionado el tratamiento de las aguas residuales y los impactos al medio ambiente, con ayuda de consultas de fuentes en internet o instituciones relacionadas con la problemática.

Este trabajo se realizo bajo la modalidad de monografía tejiendo en cuenta lo siguiente:

5.1.1 Línea de investigación. La Línea de investigación en la cual esta enmarcada esta investigación es la prevención y control de la contaminación ambiental. Buscar información pertinente a la línea de investigación, que nos lleve a un buen resultado aplicable al objetivo del proyecto.

5.1.2 Sub línea de investigación. Problemática sobre manejo inadecuado de las aguas domesticas e industriales. Se pretende conocer la problemática situación de la forma inadecuada e inexistente de el manejo de las aguas residuales en Colombia, y conocer los métodos que estén funcionando y que puedan adaptarse según las condiciones climáticas y socioeconómicas en nuestro departamento.

5.1.3 Fuentes y técnicas de información. Como base de la investigación se tomaron las mayor parte de las fuentes bibliográficas encontradas y que sirvieron como base para lograr recopilar una información valiosa, las fuentes que fueron útiles son las paginas web de los ministerios de vivienda y medio ambiente, las empresas de referencia y las cuales han implementado este tipo de servicios entre ellas están las Empresas de Acueductos de Cali, Bogotá Medellín, las paginas de los centro de investigación de diferentes universidades a nivel nacional, libros, revistas científicas y proyectos existentes en Corpoamazonia.

CONCLUSIONES

Colombia es un país rico en recursos hídricos y vertientes geográficas que podrían considerarse los abastecedores de agua para toda la población, pero al no tener un adecuado tratamiento de aguas residuales nuestros cuerpos de agua están siendo peligrosamente contaminados, ante ello se hace necesario que la normatividad existente se haga efectiva y que los entes gubernamentales destinen los recursos necesarios para dotar a las comunidades de tecnologías que permitan hacer un manejo adecuado del manejo de las aguas residuales, a esta problemática se suma la falta de interés por parte de las industrias y las personas del común.

También esta la falta de conciencia por parte de industriales y la sociedad en general con respecto al uso de los recursos hídricos. Al no haber una aplicación de la ley ambiental que obligue a los diferentes estamentos a hacer unas inversiones serias que protejan fuentes de agua y el medio ambiente. El uso de tecnologías limpias no es una necesidad porque no hay quien obligue a no contaminar.

Los métodos de tratamiento aquí presentados, es una alternativa económica para la remoción de compuestos químicos potencialmente tóxicos, para el tratamiento de aguas residuales industriales, evitando la contaminación que cada día se incrementa considerablemente. Con lo anterior se contribuye al saneamiento de los diferentes ríos y demás fuentes receptoras que están siendo sometidas a este gran flagelo.

Existen varios tipos de tratamiento de las aguas residuales que logran remover los contaminantes, los cuales se pueden clasificar según el medio de eliminación de los contaminantes, según la fase de depuración y según el costo de la explotación.

El Gobierno Nacional ha adelantado diferentes acciones con la finalidad de ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos sanitarios y ambientales más significativos. Apoyándose con los diagnósticos, guías y modelos de priorización para la gestión de aguas residuales e implementando diferentes instrumentos y estrategias, entre las cuales se destacan: la política de agua potable y saneamiento básico

Con lo anterior se espera contribuir al desarrollo sostenible, a partir del saneamiento de los ríos y demás fuentes receptoras que están siendo sometidas al flagelo de la contaminación.

No obstante las desventajas climáticas, la situación de la tierra es tal que a menudo se dispone de más terrenos para la producción de cultivos y la aplicación de procedimientos de riego que en los países industrializados posiblemente más urbanizados. Cuando se dispone de una superficie de tierra adecuada y las condiciones climáticas son favorables, las aguas residuales digeridas pueden estancarse en estanques de oxidación adecuadamente diseñados, para que la fotosíntesis pueda actuar y se pueden descargar las aguas residuales que tienen una demanda bioquímica de oxígeno negativa.

RECOMENDACIONES

La implementación de mejoras en las PTAR tanto domesticas como industrial, mejora la capacidad de depuración y reducción de los factores indicadores de la contaminación como la DBO₅, DQO, ST y SST.

La revisión del diseño de la PTAR es necesaria debido a que la variabilidad de productos procesados por la industria genera altas variaciones en la composición de los residuos a tratar, por tanto se hace necesario la implementación de sistemas más eficientes y el uso de mejores tecnologías dada la alta incertidumbre de las variables debido a las condiciones in situ.

Una estrategia importante como la implementación de programas de producción más limpia (PML), específicamente aprovechamiento generado en el procesamiento en la industria, conduciría a una reducción significativa en las cargas contaminantes y por tanto al cumplimiento de la normativa nacional de calidad de agua así como la reducción en los cobros de tasas retributivas.

El empleo de las aguas residuales primarias para pastos para ovejas o para forrajes para ovejas se ajustaría a lo indicado en el informe técnico de la OMS No 517, relativo a la nueva utilización de las aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, 1991. Constitución Política de La República de Colombia. Artículos 8, 79, 80 y 95

Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Revista Biología Agroindustrial vol.11 No.1 Popayán Jan./June 2013. Print version ISSN 1692-3561.

BOAVENTURA, Geraldo. Daily chemical variability of domestic septic tank effluent. EN: Water, Air, & Soil Pollution Volume 17, Number 2 Feb 1982; p. 131-139.

BURBANO, DIAGO, Julio. Recomendaciones para una política en el sector de agua negras EN: Acodal. Vol. 28 No.124 May – Ago 1985 p.5-17

CATHALAC. Tratamiento de Aguas Residuales. (Consultado en enero 2014).
Disponible en: [/www.cathalac.org/Programas-Viejo/Agua-y-Saneamiento/Tratamiento-de-Aguas-Residuales](http://www.cathalac.org/Programas-Viejo/Agua-y-Saneamiento/Tratamiento-de-Aguas-Residuales).

CAÑÓN, J. "Recuperación y descontaminación de la laguna de Fúquene"
Publicación: Asamblea de Cundinamarca. Bogotá D.C. 1996

CONSORCIO HIDRAMSA – AIM, MUNICIPIO DE MEDELLÍN, 2001. Estudio de sistemas y tecnologías para solucionar la problemática del saneamiento hídrico en sectores críticos del área rural del municipio de Medellín, aguas residuales

CORANTIOQUIA, 2009. Tema: Agua, Gestión integral del recurso hídrico. (Consultado en enero de 2014). Disponible en: www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA, 2009. Operación y mantenimiento del sistema Tanque Séptico –FAFA. (Consultado en enero de 2014). Disponible en: http://www.corantioquia.gov.co/sitio/images/stories/pdf/tanques_septicos.pdf

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, 1988. Sistemas elementales para el manejo de aguas residuales sector rural y semi-rural. EN: Revista Empresas Públicas de Medellín. Vol.19 No.2 Abr – Jun 1988 p.12-29 y p.48-66.

ESTRUCPLAN. Contaminantes y Fuentes de Contaminación. Contaminantes químicos. (Consultado en noviembre de 2013). Disponible en: www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1800.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. WASTEWATER MANAGEMENT. Sistemas descentralizados, Tanque séptico - sistemas de absorción al suelo. Consultado en noviembre 2009). Disponible en: www.epa.gov/OWM/mtb/cs-99-075.pdf.

FIBRATORE. Sistema integrado tanque séptico más FAFA. (Consultado en enero de 2014). Disponible en: www.fibratoresa.com/pdf/Saneamiento_Ambiental.pdf.

GONZÁLEZ, Toro, Carmen. El peligro de un sistema séptico en mal funcionamiento. (Consultado en enero de 2014). Disponible en: www.academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-229/sistemaseptico.pdf

HERRERA, Peña Sergio, 2009. El agua en problemas en América Latina y el

Caribe. (Consultado en abril 2014). Disponible en:
www.emisordigital.bligoo.com/content/view/664000/El-agua-en-problemas-en-America-Latina-y-el-Caribe.html#content-top

KORBUT, Q.F. Stella. Contaminación en agua. (Consultado en abril de 2014).
Disponible en: www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf

JICA - Agencia japonesa para la cooperación internacional. Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CARA. Estudio sobre plan de mejoramiento ambiental regional para la cuenca de la laguna de Fúquene. Informe final. Bogotá. 2000.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1984. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. (Consultado en diciembre de 2013). Disponible en:
www.encolombia.com/.../hume-normas.htm.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico República de Colombia. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Colombia, Bogotá: Nov 2000.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Normatividad. (Consultado en abril 2014). Disponible en:
www.minambiente.gov.co

MORALES, Landaverde Mayra G. Cómo mantener el sistema funcionando. (Consultado en abril 2014). Disponible en:
www.arqhys.com/construccion/septicafosas-mantenimiento.html.

MORALES, E. Publicación: Colombia ciencia y tecnología. Vol 4. "Potencial de plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales". Bogotá. 1991.

MUNICIPIO DE MEDELLÍN, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín, 2006.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LAS SALUD, Representación en Colombia Tanques sépticos. (Consultado en noviembre 2013). Disponible en: www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-tanquessepticos.htm

PORTAL DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. Mantenimiento de pozos sépticos. (Consultado en noviembre 2014). Disponible en: www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm

REYNOLDS, Kelly., Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. (Consultado en enero de 2014). Disponible en: www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf

REYNOLDS, Kelly., Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. (Consultado en enero 2014). Disponible en: www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf

SANEAR. Sistema integrado tanque séptico más FAFA. (Consultado en abril 2014). Disponible en: www.sanear.net/SistemaSept.htm

SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Ministerio de Desarrollo Económico.2000.

SUEMATSU, Guillermo León, 1995. Protección sanitaria en el uso de aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento. (Consultado en enero 2014). Disponible en: www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/aya2/tema03.pdf

UNIÓN TEMPORAL GESAM S.A - EAG S.A., MUNICIPIO DE MEDELLÍN, 2006. Identificación, diagnóstico, caracterización y sensibilización relacionada con el manejo de las aguas residuales del corregimiento San Antonio de Prado.

UNIÓN TEMPORAL PRO ROMERAL – CON VIDA. MUNICIPIO DE MEDELLÍN, 2007. Consultoría para el monitoreo del recurso hídrico, recurso suelo-bosque, en el corregimiento de San Antonio de Prado del municipio de Medellín.

ANEXO

122

REGISTRO FOTOGRAFICO



