



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE
LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA
DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO
VALENCIA EDO. CARABOBO.**

AUTOR:

RODRÍGUEZ, Carmen.

C.I: 17.905.404

Naguanagua, Diciembre 2017



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE
LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA
DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO
VALENCIA EDO. CARABOBO.**

TUTOR:

COLMENARES, Medina
María Cristina.
C.I: 10.233.204

AUTOR:

RODRÍGUEZ, Freitas
Carmen Milagros.
C.I: 17.905.404

Naguanagua, Diciembre de 2017



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE
LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA
DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO
VALENCIA EDO. CARABOBO.**

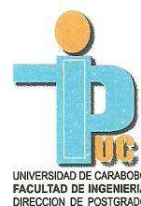
Trabajo de grado presentado ante el área de estudios de postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al título de magíster en Ingeniería Ambiental

AUTOR:
ING. CARMEN M. RODRÍGUEZ FREITES

Naguanagua, diciembre de 2017



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO



ACTA DE APROBACION DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Por medio de la presente hacemos constar que el Proyecto de Trabajo de Grado titulado: "PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO" presentado por la ciudadana: Carmen M. Rodríguez, alumna regular del Programa de Maestría en INGENIERIA AMBIENTAL, reúne los requisitos exigidos para la inscripción.

La Profa. María Cristina Colmenares, aceptó la tutoría de este Trabajo, según Constancia anexa.

En Valencia, a los veintitrés días del mes de julio del año Dos mil Dieciséis.

Por La Comisión Coordinadora:


Prof. Mariela Aular
Jefe del Programa


Prof. Auxilia Mallia
Miembro




Prof. Laura Albano
Miembro

UNIVERSIDAD DE CARABOBO / DIRECCION DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA NAGUANAGUA SECTOR BARBULA - Teléfonos Directos: (0241) 8672829 / 8674268 - 8678885 EXT 102. FAX - (0241) 8671655 <http://postgrado.ing.uc.edu.ve>

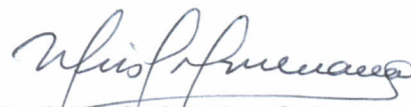


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL



VEREDICTO

Nosotros, miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO.** Presentado por: **Ing. Carmen M. Rodríguez Freites** para optar al Título de **Magister en Ingeniería Ambiental** estimamos que reúne los requisitos para ser considerado como:


Prof. María Cristina Colmenares
Presidente
CI: 10233204.


Prof. Adriana Márquez
Miembro interno


Prof. Mirna Polo
Miembro externo

Naguanagua, Febrero de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL



VEREDICTO

Nosotros, miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO.** Presentado por: **Ing. Carmen M. Rodríguez Freites** para optar al Título de **Magister en Ingeniería Ambiental** estimamos que reúne los requisitos para ser considerado como:

Prof. María Cristina Colmenares
Presidente

Prof. Adriana Márquez

Miembro interno

Prof. Mirna Polo

Miembro externo

Naguanagua, diciembre de 2017

Agradecimientos

A donde sea que haya llegado... no arribé sola.

Por mucho esfuerzo y trabajo... el mérito no es exclusivamente mío.

Siempre hubo algo o una razón... siempre estuvo alguien.

Siempre existió un viento debajo de mis alas... para ayudarme a volar...

¡A todos un millón de Gracias!



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL**



PROPUESTA DE BIOALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA UBICADA EN EL MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO.

PROPOSE OF BIOALTERNATIVES FOR THE USE OF THE SLUDGE GENERATED IN THE WATER TREATMENT PLANT DR. ALEJO ZULOAGA LOCATED IN VALENCIA, EDO. CARABOBO.

**Autor: Carmen M. Rodríguez Freites.
Tutor: MSc. María C. Colmenares.**

RESUMEN

El objeto de la investigación fue proponer bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga (C.A Hidrológica del Centro), ubicada en Valencia, Edo. Carabobo. Se diagnosticó la situación actual relacionada con la generación de lodos, incluyendo la descripción de la planta, el origen, la producción y la disposición final de estos residuos. Se diseñó un plan de muestreo bajo los lineamientos exigidos en la normativa nacional COVENIN 2709:2002; que consistió en hacer captaciones puntuales en las principales unidades generadoras de lodos de la planta; posteriormente, fueron caracterizados para detallar sus propiedades, composición y toxicidad, considerando lo establecido en el decreto 2635 publicado en la Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5245 de fecha 3 de agosto de 1998, con el objeto de definir si el lodo evaluado es un residuo peligroso y, con base a dicha caracterización, se identificaron las posibles bioalternativas para su aprovechamiento, seguidamente, se desarrolló una matriz multicriterios y, de esta manera, se seleccionó la alternativa que mejor se adaptó a las necesidades técnicas, económicas y ambientales. La propuesta se evaluó a escala piloto en las instalaciones de la hidrológica.

La planta potabilizadora tiene como fuente de abastecimiento el agua del embalse Pao Cachinche y, en menor proporción, del dique de Guataparó, el agua se hace pasar por una serie de unidades de tratamiento incluyendo, un rompe carga, un sistema de mezcla rápida-lenta, tres unidades de sedimentación y posteriormente es conducida a una batería de filtración compuesta por 10 unidades, luego es almacenada en dos tanques de 30.000 m³ y en cada una de estas etapas se generan, en diferentes proporción y características, lodos, los cuales en la actualidad son dispuestos en densificadores y al transcurrir un lapso de tiempo son llevados en camiones a la planta de aguas residuales la mariposa.

Las alternativas planteadas en la investigación son factibles desde un enfoque de aplicabilidad (aprovechamiento energético, aditivo para: la agricultura, el compostaje y la construcción), sin embargo, con base en las potencialidades del lodo y en los resultados de su caracterización, que indicaron que el mismo no es peligroso, por metales pesados como el cobre, plomo, zinc entre otros, se determinó emplearlo como aditivo para la agricultura, desarrollando a escala piloto el cultivo de ajíes, evidenciándose un mayor crecimiento y productividad de esta especie, comparado con un cultivo sin la adición del lodo en estudio.

Palabras claves: Aprovechamiento, bioalternativas, lodos, potabilización.

ABSTRACT

The objective of the research was to propose bioalternatives for the use of the sludge generated in the water treatment plant Dr. Alejo Zuloaga (C.A Hydrological Center), located in Valencia, Edo. Carabobo. For this, the current situation related to the generation of sludge was diagnosed, including description of the plant, origin, production and final disposal of these wastes. In this vein, a sampling plan was designed under the guidelines required by national regulations COVENIN 2709: 2002; which consisted in making specific deposits in the main sludge generating units of the plant, were later characterized to detail their properties, composition and toxicity, considering what was established in decree 2635 published in official gazette No. 5245 dated August 3, 1998, in order to determine if the sludge evaluated had or not characteristics of a hazardous waste and based on said characterization identified the possible bioalternatives for its use, then develops a matrix multi-criteria and this way selected the alternative that best was adapted to the technical, economic and environmental needs. Subsequently, this proposal was developed, on a pilot scale, in the facilities of the water treatment plant.

It should be noted that all the alternatives proposed in this research are feasible, however, based on the potential of the sludge and the results of its characterization, which indicated that it is not toxic, it was decided to use it as an additive for agriculture, developing to the pilot scale the cultivation of chilli, evidencing a greater growth and productivity of this species compared to a crop without the addition of the sludge under study.

Key words: Bioalternatives, sludges, utilization, purification

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del Problema.....	10
1.3. Objetivos.....	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Justificación de la investigación.....	11
1.5. Limitaciones.....	12
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	13
2.3 Bases teóricas	14
2.2.1 Potabilización del agua.....	14
2.2.2 Subproductos de la potabilización.....	15
2.2.3 Lodos.....	15
2.2.4 Tipos de lodos.....	16
2.2.5 Características de los lodos.....	16
2.2.6 Producción de lodos.....	17
2.2.7 Desechos peligrosos.....	18
2.2.8 Caracterización de los desechos sólidos.....	18
2.2.9 Caracterización de los lodos residuales.....	20
2.2.10 Efectos negativos de los lodos.....	20
2.2.11 Reciclaje, reuso de lodos.....	21
2.2.12 Muestreo.....	21
2.2.13 Tipo de muestra	22
2.2.14 Modalidad de captación.....	22
2.2.15 Selección de alternativa.....	22
2.3 Bases legales.....	23
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Diseño y nivel de la investigación.....	27
3.2 Población y muestra d la investigación.....	27

3.3 Técnica de recolección y análisis de datos.....	28
3.4 Fases de la investigación.....	28
CAPITULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1 Diagnostico de la situación actual relacionada con la generación de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.....	46
4.2 Caracterización de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.....	56
4.3 Análisis de la factibilidad técnica y económica de las bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	58
4.4 Desarrollo a escala piloto de la propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	63
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÉNDICE A. Datos Referenciales.....	82
APÉNDICE B Cálculos típicos.....	86
ANEXOS	87

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Características generales del muestreo de lodos de la planta Dr. Alejo Zuloaga.....	30
Tabla 3.2 Características generales de la muestra de lodo según ensayo.....	31
Tabla 3.3 Análisis de laboratorio para determinar la peligrosidad de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	34
Tabla 3.4 Concentración de metales para determinar la peligrosidad de un residuo según el Decreto 2635.....	35
Tabla 3.5 Parámetros a considerar para la caracterización de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	36
Tabla 3.6 Criterios para la selección de la bioalternativa	44
Tabla 4.1 Características generales de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	48

Tabla 4.2 Características generales del proceso de potabilización de la planta Convencional.....	49
Tabla 4.3 Calidad del agua cruda de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga para el año 2015.	52
TABLA 4.4 Concentración de los metales pesados en el agua cruda de la planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga para el año 2015.....	53
Tabla 4.5 Características de las unidades generadoras y almacenadora de lodos de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	54
Tabla 4.6 Resultados de análisis CRETIB en los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	55
Tabla 4.7 Caracterización de los lodos de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	57
Tabla 4.8 Clasificación de las Bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos.....	59
Tabla 4.9 Cuadro resumen de las principales bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en una planta potabilizadora de agua.....	60
Tabla 4.10 Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas para el aprovechamiento de los lodos.....	61
Tabla 4.11 Matriz de selección de la alternativa más adecuada para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	62
Tabla 4.12 Clasificación taxonómica del ají.....	66
Tabla 4.13 Comparación de las características teóricas y prácticas del cultivo de ají.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Cuadrículas de las unidades para la toma de muestras de lodos.....	Pág. 32
Figura 3.2 Captación de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	32
Figura 3.3 Proceso de homogenización y preservación de las muestras.....	33
Figura 3.4 Determinación del pH de las muestras de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	37
Figura 3.5 Determinación de sólidos totales y suspendidos de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	37

Figura 3.6 Determinación de la humedad, densidad y temperatura de la muestra de una muestras de lodo de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga	38
Figura 3.7 Determinación de la Demanda Bioquímica de oxígeno de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.....	38
Figura 3.8 Determinación de la Demanda química de oxígeno de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	39
Figura 3.9 Determinación de los metales pesados por el método de adsorción atómica de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	40
Figura 3.10 Determinación del nitrógeno amoniacal de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	41
Figura 3.11 Digestión de las muestras para la determinación de hierro y fósforo de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	41
Figura 3.12. Método Complejo de adición ponderada para la selección de alternativas.....	43
Figura 4.1 Ubicación geográfica de la planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga vista Satelital	47
Figura 4.2 Diagrama de flujo de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.	50
Figura 4.3 Vista de un sedimentador en mantenimiento (a) y un densificador de lodos (b)	55
Figura 4.4 Diagrama de flujo para la determinación de posibles alternativas de aprovechamiento de los lodos generados en la planta Dr. Alejo Zuloaga.....	58
Figura 4.5 Estructura interna del ají	67
Figura 4.6 Terreno de la planta potabilizadora seleccionado para el cultivo.....	69
Figura 4.7 Semillas empleadas para la siembra de ajíes.....	69
Figura 4.8 Elaboración de un semillero con material reciclable.....	70
Figura 4.9 Evolución del semillero con semillas de ajíes desde la semana 1 hasta la 4.	71
Figura 4.10 Trasplante y siembra de las plantas de ajíes en el área acondicionada con lodo.....	72
Figura 4.11 Etapa de evolución del cultivo de ají.....	74
Figura 4.12características físicas del ají.....	75
Figura 4.13 Determinación de la humedad del cultivo de ají.....	75
Figura 4.14 Diferencias de tamaño de planta y frutos entre el bloque 1 y 2	75

INTRODUCCIÓN

La base de la vida se halla en una serie de elementos como el agua y el oxígeno, sin los cuales es imposible la existencia. Desde el origen, la humanidad ha requerido del agua para su desarrollo y evolución, sin embargo, con el transcurrir del tiempo, este mismo desarrollo ha traído consigo alteraciones en el ciclo natural del vital líquido, lo que ha llevado al individuo a crear mecanismos que permitan revertir los daños ocasionados, siendo uno de ellos la potabilización; este proceso permite, a través de una serie de etapas, adecuar el agua bajo unos parámetros normalizados, de manera que se encuentre apta para su consumo.

Como todo proceso industrial, la potabilización, genera subproductos que deben ser controlados antes de ser dispuestos, para evitar impactos negativos al medio receptor; uno de estos subproductos es el lodo, proveniente de los sedimentos contenidos en el agua.

En la actualidad, uno de los principales desafíos del hombre es aprovechar aquello que, hasta el momento, considera desecho, evaluando las características y propiedades que puedan aportar beneficios en otros procesos.

La presente investigación se basa en la propuesta de bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, con previo diagnóstico de la situación actual y la caracterización físico, químico y sanitario para definir la peligrosidad o no de los mismos a fin de seleccionar e implementar, a escala piloto, la propuesta que mejor se adapta tanto en el aspecto económico, técnico y ambiental al aprovechamiento del un desecho industrial.

El contenido descrito se desarrolla en cuatro capítulos. En el capítulo I, se presenta detalladamente el planteamiento del problema, así como también la justificación de la investigación, se establecen los objetivos tanto general como específicos que se desean alcanzar y las limitaciones que surgieron a lo largo de su desarrollo; en el capítulo II, se presentan los antecedentes, las bases teóricas y legales que sirven como fundamento y justificación de los resultados obtenidos.

En el capítulo III, se define el tipo de investigación y la metodología a emplear para el logro de los objetivos planteados, describiendo a detalle cada una de las actividades a realizar para su alcance. Seguidamente, se presenta el capítulo IV, donde se analizan los resultados obtenidos durante la realización de cada objetivo, así como también, la descripción y ejecución, a escala piloto, de la bioalternativa de solución para la problemática existente. Finalmente, se presenta las principales conclusiones y recomendaciones con un enfoque técnico de acuerdo a los resultados obtenidos y discutidos.

La importancia de esta investigación radica en el aspecto ambiental, ya que da a conocer la posibilidad de dar un uso adecuado a un desecho industrial, como lo es el lodo de una planta potabilizadora, además de que permite establecer una estrecha relación entre la comunidad y los entes gubernamentales, a través de las soluciones propuestas.

CAPITULO I EL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde el inicio de la vida, todas las especies han requerido del agua para su desarrollo y supervivencia. Este recurso natural, con el pasar de los años, se ha visto comprometido por una serie de factores negativos en los que la acción del hombre ha marcado pauta, sin darle la merecida importancia de mantener sus condiciones naturales y con ello la garantía de disponer de este líquido por mucho más tiempo. (Un Water, 2014)

La adecuada gestión de los recursos hídricos constituye el desafío más imperioso de todo lo referente al ambiente. Si bien es cierto que el hombre representa un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad, hay que tener presente que sin el recurso agua no es posible la vida, por ende, éste es el protagonista de todos los tiempos, sin importar el espacio y la circunstancia. (World Water, 2003)

En este sentido, la Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en su Guía de Buenas Prácticas sobre Agua Potable, Diversidad Biológica y Desarrollo (SCDB, 2010, p.4) expresa que “El agua es única entre nuestros recursos naturales, porque, aunque es renovable, no es reemplazable. Disponemos de diversos sustitutos de las fuentes de energía y de la mayoría de los productos básicos, pero no los hay para el agua”.

Por su parte, SCDB (2010) afirma:

El agua se mueve constantemente sobre el suelo y por debajo de él, se evapora en la atmósfera, principalmente a través de las plantas, y posteriormente se recicla como lluvia o nieve. Constituye la forma principal mediante la que el 0,027% del agua dulce de la Tierra continúa estando disponible para todos los seres vivos, incluyendo los seres humanos que la utilizan para la producción de sus alimentos, para la industria y como bebida, para el mantenimiento de los ecosistemas en condiciones saludables, y para otra gran cantidad de necesidades. La misma agua potable de la que dependemos hoy en día, ha estado circulando de esta manera desde que apareció por primera vez en el planeta. (p.7)

Cabe destacar que, el ciclo hidrológico, a lo largo de los años, se ha alterado como consecuencia de una serie de amenazas, entre las que destacan, la sedimentación, la contaminación, el cambio climático, la deforestación, los cambios en el paisaje y el crecimiento urbano, lo que ha generado una pérdida de la capacidad natural de los cuerpos de agua para regenerarse, y a su vez la pérdida de la calidad de la misma. (World Water, 2003)

Esta situación ha llevado a la humanidad a desarrollar procesos que permitan, de una u otra manera, revertir los daños ocasionados al ciclo, procurando devolver el equilibrio y aportando soluciones que satisfagan tanto al hombre como al ambiente en general.

Uno de estos procesos es conocido como potabilización, y se basa, fundamentalmente, en adecuar el agua bajo una serie de parámetros organolépticos, físicos, químicos, biológicos y sanitarios hasta alcanzar los valores establecidos y exigidos por organismos nacionales e internacionales encargados del control y vigilancia de la calidad del agua.

En este orden de ideas, dependiendo de la composición del agua, este tratamiento puede ser de tipo convencional o ameritar de unidades más específicas para lograr el mismo fin, potabilizar el agua; sin embargo, por lo general, consta de etapas básicas como captación, mezcla rápida, mezcla lenta (coagulación-floculación), sedimentación, filtración, desinfección, hasta que finalmente queda apta para uso y/o consumo. (Arboleda, 2000). En varias de estas etapas se hace necesaria la adición de sustancias químicas como cloro, sulfato de aluminio, carbón activado, cal hidratada, polímeros, entre otros, cada uno con una función específica según sus requerimientos.

Es importante mencionar que, como todo proceso, la potabilización trae consigo, la generación de subproductos, que pudiesen representar una amenaza ambiental tomando en cuenta las características físicas, químicas y sanitarias que poseen.

El principal subproducto generado en las diversas etapas del tratamiento es el lodo o fango, que la Real Academia Española (RAE) define como, material glutinoso que se forma generalmente con los sedimentos térreos en los sitios donde hay agua detenida. Arboleda (2000) también lo define como un fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), sulfato de aluminio, partículas inorgánicas, coloides,

residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y otra materia orgánica o inorgánica removida del agua.

Hasta hace poco tiempo no se le daba importancia al manejo de este material, considerando que los elementos constituyentes eran de origen inorgánico, como arcillas, arenas finas o limos, sin tomar en cuenta que los niveles de polución y los productos químicos empleados para su tratamiento fueron alterando cada vez más su composición original, convirtiéndolos, en ocasiones, en un material peligroso.

La toxicidad potencial de los lodos, generados en las plantas potabilizadoras, en seres humanos y organismos acuáticos depende de diferentes factores como son: características del agua cruda, el coagulante utilizado y los posibles contaminantes removidos por este último, así como las reacciones químicas que ocurren durante el proceso, el tiempo de retención del lodo en los sedimentadores y las características físicas, químicas y biológicas del influente. (Arboleda, 2000).

En este sentido, Sandoval y colaboradores (1998) refiere que las aguas superficiales contienen sólidos suspendidos que son removidos durante el proceso de potabilización con la ayuda de un coagulante, que por lo general es el sulfato de aluminio, lo que conlleva a una gran generación de lodos proveniente de la sedimentación, que en el caso de no darles una adecuada disposición final, contribuyen de manera importante a la contaminación del ambiente, afectando suelo, agua, aire.

En este contexto, los diseños de las plantas potabilizadoras incluyen una sección destinada al almacenamiento, tratamiento y disposición final de este material con la finalidad de garantizar que cumpla con los requerimientos legales antes de descargar nuevamente a un cuerpo de agua.

A nivel mundial, en la mayoría de las plantas potabilizadoras, estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento en presas, terrenos o en las mismas fuentes de suministro siendo, en algunas ocasiones, descargados al alcantarillado y tratado en conjunto con las aguas municipales. (Sandoval y colaboradores, 1998). Sin embargo, en las circunstancias menos favorables, son vertidos directamente sin ningún tratamiento al cauce del río más cercano, situación que evidencia uno de los grandes problemas en la potabilización del agua.

En América latina, los recursos para la operación de trenes de tratamiento de lodos son escasos, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2014) en su Serie Recursos Naturales e Infraestructura N° 166, lo que trae consigo que cada día se haga más complejo el proceso de potabilización, debido a que las fuentes de abastecimiento, es decir, los volúmenes de agua cruda que ingresan a dichas unidades, están cada vez más comprometidas, y la composición de contaminantes y residuos sólidos se ha venido incrementando.

En el caso de Venezuela, específicamente, los lodos generados en este tipo de plantas o instalaciones industriales son tratados parcialmente en densificadores de lodos, equipo cuya función es espesar el compuesto, separándolo de la mayor cantidad de humedad presente en el mismo, para luego almacenarlos y posteriormente descargarlos a cuerpos de agua hasta retornar al lugar de origen. (Hernández y colaboradores, 2006).

Cabe destacar que, en la región central del país, la Empresa C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO (HIDROCENTRO), es la encargada de la prestación integral del servicio de agua potable y saneamiento, y de la adecuación de la infraestructura con la participación activa de las comunidades, mejorando la calidad de vida de los habitantes de los Estados Aragua, Carabobo y Cojedes.

Hidrológica del centro C.A (s,f) señala que, esta empresa cuenta con 15 plantas, de las cuales sólo 2 son potabilizadoras, Ing Lucio Baldó Soubles y Dr. Alejo Zuloaga, esta última ubicada en la hacienda San Luis del sector El Socorro del municipio Valencia, y con 2 tecnologías, una americana (sistema convencional) y otra francesa (sistema Degremont), donde se trata el agua proveniente del Embalse Pao Cachinche, y Dique Guataparo con un caudal de diseño de entrada de 3.000 l/s y 5.500 l/s respectivamente. En ambos sistemas se generan lodos que en la actualidad carecen de un tratamiento que disminuya el riesgo potencial que representan para el ambiente y que permita dar un aprovechamiento a los mismos.

Según el Manual de Procesos de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, (2010). Los lodos generados son extraídos principalmente de las unidades de sedimentación, decantación y filtración, mediante válvulas de drenaje. En el caso de los tres sedimentadores, ubicados en la planta convencional, se realiza con una frecuencia diaria, extrayendo el material que se

acumula en el fondo del mismo mediante la acción de un barrelodo, que efectúa el recorrido, mecánicamente, a lo largo del sedimentador, siendo el operador, el encargado de abrir la válvula de drenaje para que el material depositado fluya hasta los densificadores de lodos.

Adicionalmente, indica que, en el caso de los tres decantadores ubicados en la planta Degremont, la extracción del lodos se realiza mediante un sistema automatizado de válvulas, situadas en el fondo de los mismos, que se gradúan para abrir y cerrar cada 45 minutos, durante 15 segundos aproximadamente; de igual manera, estos lodos son guiados a las unidades de espesamiento y se mezclan con los recolectados en los sedimentadores.

Este manual también señala que, estas unidades cuentan con un mantenimiento general, que actualmente se realiza de manera mensual, que consiste en colocarlas fuera de servicio durante una jornada, de forma intermitente, extrayendo de ellas todo el material almacenado y realizando una limpieza a paredes, pantallas y demás componentes que la integran, por lo que se debe considerar que durante dicha actividad también se genera el transporte de lodos hacia los densificadores.

En la última fase del proceso, se encuentran los filtros presentes en ambas plantas, donde además de cumplir con su función principal, aportan lodos al momento de realizar el retrolavado de los mismos. Esa actividad se realiza dependiendo de la carrera de filtración, que a su vez está relacionada con la carga orgánica y sólidos presentes en el agua tratada en esta etapa del proceso, y que ocasionan el atascamiento del lecho filtrante, aumento de parámetros como color y turbiedad, y la necesidad del mantenimiento estos.

Finalmente, el agua que se logra separar en los densificadores se dispone sin un adecuado tratamiento al río Tocuyito, que sigue su cauce hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Mariposa, ubicada en el municipio Valencia, regresando nuevamente al Embalse Pao Cachinche.

Según el informe emitido por CSI Ingenieros (2012), en la propuesta conceptual para las obra de rehabilitación de la planta Dr. Alejo Zuloaga. Las condiciones cada vez más comprometidas en las que ingresa el agua cruda a la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, ha generado ciertas variaciones al proceso, como son, disminución del tiempo de retención en cada unidad, fallas en el mantenimiento continuo de las mismas, adición de sustancias químicas que

compensen las altas demandas de cloro y sulfato de aluminio para que se produzca la desinfección, coagulación y floculación, entre otras, que con el pasar de los años han incrementado la producción de lodos, los cuales, como ya se mencionó, carecen de manejo integral adecuado que incluya la posibilidad de disponerlos de una manera ambientalmente segura.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En este sentido, se hace necesario plantear las siguientes interrogantes, ¿qué tipos de lodos se genera en la planta Dr. Alejo Zuloaga?, ¿qué utilidad se le puede dar a los lodos? y ¿qué beneficios aportaría el aprovechamiento de estos al ambiente, a la comunidad y a la institución?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual relacionada con la generación de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.
2. Caracterizar los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.
3. Analizar la factibilidad técnica de las alternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.
4. Desarrollar a escala piloto la propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia, Edo. Carabobo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las razones que respaldan el planteamiento de propuestas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta Dr. Alejo Zuloaga son diversas, sin embargo, se debe resaltar el

aspecto ambiental como el más importante, en vista de que, se busca contrarrestar los efectos adversos que estos materiales podrían generar al ser vertidos a los cuerpos de aguas.

Hasta la fecha, en esta región, no se evidencian estudios basados en el análisis y aprovechamiento de los lodos químicos provenientes de las plantas potabilizadoras de agua, no existen caracterizaciones de los mismos, por consiguiente esta actividad provee un avance en cuanto al tema, además del beneficio económico y ambiental que se obtiene al no descargar directamente este material, a un cuerpo de agua y poder darle una utilidad amigable con el ambiente.

De igual manera la actividad representa una excelente estrategia para la disminución de los costos por parte de HIDROCENTRO, ya que para la empresa es más rentable atacar los problemas puntuales de contaminación, a nivel de plantas, que hacerlo a nivel macro, en este caso desde el embalse Pao Cachinche, que representa la cuenca de abastecimiento.

Las propuestas que se harán para contrarrestar los principales focos de contaminación estarán sustentadas bajo normas que establecen los estándares ambientales tanto nacionales como internacionales.

1.5 ALCANCE

La investigación a desarrollar consistirá en proponer las bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos provenientes de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, ubicada en el estado Carabobo, en base a los resultados que se obtenga durante la caracterización de los mismos, según lo establecido en el método estándar y en las normas venezolanas que rigen la materia.

Se plantearán cuatro alternativas y con base a la que resulte más factible, se diseñará y desarrollará la propuesta a escala piloto a fin de darle aprovechamiento a los lodos generados. I y con ello disminuir el impacto ambiental que genera el disposición actual de estos lodos en los cuerpos de agua receptores.

1.6 LIMITACIONES

Este trabajo de investigación se limitará a la evaluación de los lodos generados en la planta Dr. Alejo Zuloaga, específicamente los retenidos en los sedimentadores y los almacenados en el densificador, excluyendo los que se extraen durante el retrolavado de los filtros.

Cabe destacar que dentro de las limitantes del proceso de investigación se encuentra el número de caracterizaciones a realizar, puesto que se estima llevar a cabo un solo monitoreo para conocer la composición fisicoquímica y sanitaria de los lodos, reduciendo la repetitividad de los ensayos, tomando en cuenta la disponibilidad de los reactivos necesarios y el costo global de los análisis.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta un resumen de las investigaciones consultadas que se relacionan con el trabajo en estudio, y servirán de apoyo para el desarrollo y alcance de los objetivos planteados, resaltando sus principales hallazgos, similitudes y diferencias.

García (2014) llevó a cabo un estudio sobre tratamiento de efluentes en la Planta de Potabilización Los Cuervos, en el Municipio de Chinchiná en Colombia y con base a los resultados obtenidos, diseñó las estructuras civiles, equipos y maquinaria necesaria para la mitigación del impacto de estos residuos en la fuente receptora. Se trabajó con lodos livianos (aguas de lavado de los filtros) y lodos gruesos (lodos producidos por los sedimentadores), los cuales se trataron como agua de recirculación y tratamiento de concentración y secado respectivamente. Entre esta investigación y la que se realiza, existe similitud en cuanto al tipo de planta en estudio, ya que ambas trabajan con Plantas Potabilizadoras y los lodos producidos se extraen tanto de los sedimentadores como en el retrolavado de los filtros. La diferencia radica en que ésta da un enfoque en el aspecto de diseño de infraestructura civil de unidades de tratamiento de los lodos y en la que se presenta se da un enfoque al aprovechamiento de los mismos en actividades ambientalmente viables, ya sea dentro o fuera del proceso de potabilización del agua.

Martínez (2012) Estudió el tratamiento, manejo y disposición final de los lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable ubicadas en Quito, Ecuador. El trabajo se llevó a cabo en una planta de tratamiento convencional, basado en el registro de producción, carga y características particulares de los lodos generados, determinando una forma adecuada de tratamiento, manejo y disposición final de estos residuos. Se planteó alternativas de tratamiento de los lodos con base a modelos experimentales construidos en la localidad, proponiendo alternativas para reutilizar los lodos tratados y/o una adecuada disposición final. La similitud que

guarda esta investigación y la que se realiza, radica en la evaluación y caracterización previa que se efectúa a los lodos generados en la planta de potabilización y las alternativas que presentan para el rehúso de los mismos. La diferencia entre estas dos investigaciones está en el caudal evaluado que es de 15 l/s y la que se presenta procesa caudales mayores a los 4000 l/s, lo que genera una diferencia significativa en cuanto a la cantidad de lodos que se generan.

Zambrano y Galvis (2012), llevaron a cabo un estudio donde Identificaron las alternativas de uso ambiental de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas la llana- campo 23 en superintendencia La Cira Infantas, Ecopetrol. El trabajo se realizó con el fin de minimizar el grado de contaminación y el impacto ambiental generado por los lodos producidos. Los parámetros analizados en los lodos fueron: pH, aluminio (porcentaje de saturación), fósforo y potasio, bases totales intercambiables y capacidad de intercambio catiónico, con el fin de evaluar su nivel de fertilidad. En el trabajo dan recomendaciones para cada tipo de lodo generado, ya sea los de lavado de los filtros y los lodos almacenados en el decantador para finalmente ser empleados en actividades agrícolas, de jardinería, en campos deportivos y en la recuperación de suelos deteriorados, entre otros usos. Entre las semejanzas que guarda esta investigación con la que se presenta en esta oportunidad, es que se basan en la propuestas de las diferentes alternativas de rehúso de un residuo (lodos) producidos en una planta de potabilización de agua, que depende de las características fisicoquímicas y biológicas que presenten los mismos. La diferencia es que esta investigación no fue experimental sino transversal puesto que se analizan los diferentes impactos ambientales en un momento determinado y no se manipulan variables independientes, quedándose en una investigación con enfoque analítico y explicativo. La que se presenta busca proponer de manera experimental las diferentes alternativas de aprovechamiento del residuo generado tras la potabilización del agua.

En el trabajo realizado por Raigosa (2012) se evaluaron las alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización de agua de los municipios del Departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio en la Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales, para esto, se efectuó un análisis económico, en contraste con factores normativos y ambientales. Finalmente el análisis, permitió concluir que los lechos de secado son la opción más viable en comparación con otras alternativas. La similitud que presenta esta investigación con la que se realiza, se ve reflejada en el tipo de planta en estudio

la cual es de potabilización, por ende las características del lodo presentan analogía. Otra semejanza es la evaluación de diferentes alternativas para el manejo de los lodos generados tanto en los sedimentadores como en el lavado de los filtros. Por otra parte, las diferencias que se evidencian se basan en que se plantea una posible alternativa en términos de beneficios y costos en el manejo de los lodos que se producen, mientras que la presente investigación pretende proponer alternativas en el aprovechamiento y rehúso de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Díaz y colaboradores (2010). Llevó a cabo la aplicación de lodos de procesos de potabilización como mitigantes de la sodicidad en suelos agrícolas de México. Este trabajo estuvo enfocado en dar solución a la problemática de la sodicidad de los suelos, provocado por el exceso de sodio, que los impermeabilizan. Para ello se evaluó la eficiencia de tres dosis, de dos tipos de lodos obtenidos de plantas potabilizadoras ("La Campiña II" e "Isleta") en el tratamiento de un suelo salino-sódico usando columnas de suelo en el laboratorio. Entre las conclusiones que se presentan en esta investigación se encuentra que; la adición de ambos tipos de lodos mejoraron significativamente las VFI respecto a las muestras sin recibir tratamiento. Por lo tanto, ambos tipos de lodos mostraron resultados positivos, haciendo viable su uso en suelos con problemas de sodicidad, específicamente para mejorar la permeabilidad. Este trabajo de investigación guarda semejanza con el que se presenta, en cuanto a que ambos buscan proponer alternativas de aprovechamiento a los lodos generados en una planta de potabilización y difieren en que éste es específico a una aplicabilidad, a diferencia del que se presenta, que busca evaluar diferentes alternativas de rehúso orientado a las características fisicoquímicas y biológicas que estos lodos presentan.

Zambrano (2010) Realizó el Análisis preliminar de alternativas para el manejo de lodos de la Planta Potabilizadora de Las Mesas en el Municipio Rómulo Costa del Estado Táchira en Venezuela. Se identificaron como unidades generadoras de lodos los filtros gruesos, floculadores-sedimentadores y filtros a presión. El mayor volumen de lodos a extraer se encuentra en los sedimentadores. El estudio comprendió la caracterización físico-química y biológica del agua cruda y de muestras de agua sintéticas, estas últimas fueron tratadas con la dosis óptima de PAC, previamente obtenida mediante ensayos de jarras. El lodo también fue caracterizado, obteniendo parámetros específicos para el pre-diseño de diferentes trenes de tratamiento. La propuesta final consiste en espesador-lechos de secado - patio de secado. La

similitud que se presenta entre ambas investigaciones está en el hecho de que se evalúan alternativas para el mejoramiento de planta de potabilización de agua y la diferencia es que dichas alternativas, en este caso, es para el manejo de lodos generados y en el caso que se presentará a continuación, se basa en alternativas de aprovechamiento del lodo generado.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 La Potabilización del agua

La potabilización se define como el proceso mediante el cual se convierte un agua natural con o sin intervención antrópica, en agua apta para el consumo humano. El proceso de tratamiento con el cual se remueve el material suspendido y los microorganismos, comprende diversas fases: la captación y tratamiento preliminar, coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección. (Arboleda, 2000).

Entre las principales etapas del proceso de potabilización se encuentran:

✓ Coagulación-floculación

Constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. Se usa para promover la remoción de turbiedad, color, bacterias, virus y organismos patógenos, algas y plancton, sustancias productoras de sabor y olor y de precipitados químicos, mediante la aplicación de sustancias químicas denominadas coagulantes. En este proceso, que se lleva a cabo en unidades de agitación mecánica o hidráulica, la mezcla rápida permite la dispersión de los coagulantes y la mezcla lenta la aglutinación de las partículas (Arboleda, 2000). En ambos procesos el gradiente de velocidad (G), el cual está referido a la intensidad de agitación, y el tiempo de retención son claves para su funcionamiento.

✓ Sedimentación

En esta operación se lleva a cabo la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una caída tal que puedan llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable (CEPIS, 2005). El sedimentador está dividido en cuatro zonas: sedimentación, entrada, salida y lodos, en cada una de estas zonas es indispensable considerar la velocidad promedio de entrada a la unidad, la tasa de desbordamiento superficial, el tiempo de retención y la carga sobre el vertedero.

✓ **Filtración**

Es una operación unitaria del proceso de potabilización, que tiene como finalidad retener, en un lecho, el material particulado que no haya sido removido o retirado o sedimentado en las etapas previas a esta (Arboleda, 2000).

2.2.2 Subproductos de la potabilización

El tratamiento del agua para consumo humano implica la producción de lodos como subproducto. El volumen de dichos lodos representa del 0.3 al 1% del agua tratada, provenientes de la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados.

En el proceso de potabilización del agua se generan residuos líquidos en las actividades de lavados de filtros, purgas en clarificadores, sedimentadores y decantadores y lavados de estructuras, los cuales generan una alta carga de sedimentos. Estos residuos líquidos son sedimentados en grandes lagunas hasta que se colmatan (Arboleda, 2000).

2.2.3 Lodos

En la normativa internacional, específicamente la mexicana (NOM--004--SEMARNAT, 2002) se

les llaman “lodos residuales” a los residuos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de aguas, que están compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, microorganismos, compuestos no biodegradables y potencialmente tóxicos y sales inocuas y/o potencialmente tóxicas que se han removido durante el tratamiento. Pueden estar presentes en sus formas originales o haber sufrido transformaciones durante el proceso. Además, se acota que, lo lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

Los lodos estabilizados o biosólidos, también pueden ser utilizados como mejoradores de suelo en la agricultura. Éstos mejoran las características del suelo y proveen nutrientes esenciales

para el crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a sus ventajas, los biosólidos pueden utilizarse como sustituto de fertilizantes químicos.

2.2.4 Tipos de lodos

Según la EPA, (1994) los lodos se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ **Lodos Clase A:** Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos “Exceptional Quality Biosolids (EQ) o Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos biosólidos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A (virtual ausencia de patógenos) y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (EPA 1994).
- ✓ **Lodos Clase B:** Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como “Pollutant Concentration Biosolids” (PC) y los define como aquellos biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes que los EQ, pero sólo logran una reducción de patógenos Clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores.
- ✓ **Lodo Crudo:** Lodo proveniente de la decantación primaria.
- ✓ **Lodo Estabilizado:** Lodo con reducción del potencial de atracción de vectores sanitarios.

2.2.5 Características de los lodos

Las características de los lodos varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año, sin embargo, poseen características básicas similares. El lodo de alúmina es un fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton, y otra materia orgánica e inorgánica removida del agua (Arboleda, 2000).

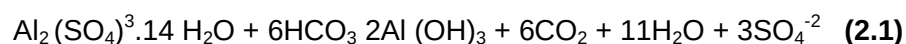
Los sólidos residuales de las plantas de tratamiento de agua están constituidos por sólidos suspendidos provenientes de los desechos de los procesos de coagulación-floculación,

sedimentación y del retrolavado de los filtros. Generalmente tendrá un contenido bajo de sólidos, en el rango de 3,000 a 15,000 mg/l. Los sólidos suspendidos son del 75 al 90% de los sólidos totales (ST), con una cantidad de sólidos volátiles del 20 al 35% de los ST. La demanda bioquímica de oxígeno generalmente es de 30 a 100 mg/l. El pH del lodo está en un rango de 5 a 7. (Ramírez, 2008)

Todas éstas características provocan que el lodo sea: insoluble a pH natural, fácilmente sedimentable, pero a una concentración que es inadecuada para su manejo conveniente y por consiguiente para relleno de tierra, muy compresible, sin embargo, resiste el paso del agua y que tenga una composición que cuando se dispone en el suelo lo azolva (Albrecht, 1972).

2.2.6 Producción de Lodos

El lodo obtenido en las plantas de tratamiento es una mezcla básica de los sólidos presentes en el agua a tratar y coagulante utilizado para tal fin. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua, la reacción se representa típicamente de acuerdo a la siguiente ecuación:



Cuando se logra el equilibrio, el hidróxido de aluminio será el producto predominante. Sin embargo, el equilibrio no se logra normalmente y se forma un compuesto complejo polimerizado, que contiene en promedio 3 o 4 moléculas de agua unidas al hidróxido de aluminio, el cual precipita. El agua unida al complejo incrementa la cantidad de lodo, aumenta el volumen del lodo y lo hace más difícil desaguar, ya que las moléculas de agua unidas químicamente no se pueden remover mediante los métodos mecánicos normales. La especie resultante de hidróxido de aluminio tiene un peso molecular de 132 g/mol. 1 mg/l de sulfato de aluminio agregado al agua producirá aproximadamente 0,44 mg/l de sólidos inorgánicos de aluminio (Ramírez, 2008).

$$S = 86,4 * Q (0.44Al + SS + A) \quad (2.2)$$

Fuente: CONAGUA 2007.

Estimación del volumen de lodos aluminosos generados

Dónde:

S: Lodos Producidos (Kg/día)

Q: Caudal de ingreso a la Planta (m^3/seg)

Al: Dosis de aluminio seco (mg/l)

SS: sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/l)

A: Otros aditivos (Polímeros, arcilla Carbón Activado) (mg/l)

La variable 0,44 corresponde a los sólidos inorgánicos de aluminio resultantes de la adición del sulfato de aluminio al agua para la coagulación. Los sólidos suspendidos, presentes en el agua cruda producen un peso equivalente de sólidos en el lodo, ya que no reaccionan. Se puede suponer que otros aditivos, tales como los polímeros o el carbón activado en polvo, producen lodo en la misma cantidad añadida.

2.2.9 Caracterización de los lodos residuales

Para la caracterización de lodos se pueden aplicar diferentes procedimientos, con la finalidad de describir las propiedades y composición de los mismos, entre los cuales se indican:

Análisis de componentes, se puede realizar a través de un balance de masa del proceso generador del lodo utilizando la información de la calidad de materia prima utilizada.

Análisis de lixiviados (TCLP), consiste en someter a una muestra de residuo a un proceso acelerado de descomposición simulando la situación más crítica que sufrirá al ser depositado en un relleno; en el lixiviado resultante se analiza los parámetros requeridos para su caracterización.

Análisis de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosos (CRETIB) del lodo, para determinar el tipo al que corresponde.

2.2.10 Efectos negativos de los lodos

La toxicidad potencial de los lodos de las plantas potabilizadoras en seres humanos y organismos acuáticos depende de diferentes factores como son: características del agua cruda; el coagulante utilizado y los posibles contaminantes removidos por el coagulante, así como las reacciones químicas que ocurran durante el proceso, el tiempo de retención del lodo en los sedimentadores; características físicas, químicas y biológicas del influente. Los lodos que tienen concentraciones elevadas de aluminio al ser vertidos a los lagos o a los ríos con una velocidad baja de caudal pueden formar sedimentos que aíslan la capa bentónica (Cordeiro, 1996).

Este impacto significativo de las descargas en cuerpos receptores, además de las limitaciones ambientales en materia de descarga de lodos y el alza de los costos por el transporte y manejo de los mismos a los sitios de disposición, han obligado a los organismos operadores a buscar alternativas técnica y económicamente viables para el aprovechamiento de los lodos de modo que representen un beneficio económico y ambiental.

2.2.11 Procesos para el tratamiento y vertido de lodo



Fuente: Adaptado del Metcalf y Eddy (1996)

2.2.12 Reciclaje, Reuso del lodo

Dependiendo de la composición y tipo de lodo, puede reciclarse para recuperar ciertos materiales presentes (de ser necesario adecuarlos según los requerimientos del proceso), utilizarse como fertilizante para mejorar suelos (en terrenos autorizados por la autoridad competente) aquellos que cumplan con características determinadas por la autoridad correspondiente, ya sea en forma cruda o después de algún tratamiento o aprovechar su contenido energético.

Los lodos orgánicos a partir de un mínimo poder calórico, pueden ser incinerados para recuperar la energía, generando electricidad o produciendo vapor (principio desecho a energía), pero restringiendo aquellos que no pueden ser eliminados por este procedimiento, debido a las características de sus componentes.

Entre los diferentes usos que se les puede asignar a los lodos residuales se señalan los siguientes:

- ✓ Acondicionadores de suelos, producto corrector destinado a actuar favorablemente sobre la componente física de la fertilidad. Estos son elegidos según las propiedades y necesidades del suelo.
- ✓ Extracción de minerales y metales pesados.
- ✓ Recirculación en el proceso de potabilización.
- ✓ Uso en el tratamiento de aguas residuales
- ✓ Aditivo para la construcción.

2.2.7 Desechos peligrosos

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), define como desechos peligrosos aquellos que comprenden residuos sólidos, líquidos, gaseosos o lodos envasados, diferentes a los radiactivos e infecciosos, que debido a su actividad química, tóxica, explosiva, corrosiva u otras características son fuente eventual de peligros para la salud o el ambiente, por sí mismos o en contacto con otros residuos.

La prevención en la generación de desechos peligrosos es la clave para la protección de la salud y el ambiente y para lograrla es de gran importancia controlar eficazmente la producción, el almacenamiento, el tratamiento, la reutilización, el reciclaje, el transporte, la recuperación y la eliminación de los desechos peligrosos.

2.2.8 Caracterización de desechos sólidos

La caracterización de un desecho sólido se basa en la determinación de sus propiedades físicas y químicas. Estas propiedades son muy importantes para la selección de los sistemas de tratamiento que tienen como objetivo, reducir el volumen de los contaminantes que son liberados al ambiente.

Las características de los desechos sólidos, producidos en el tratamiento de agua, pueden variar, debido a las grandes diferencias en la naturaleza de esta agua (cruda) y a las diferencias en el sistema de tratamiento empleado.

Entre las características de estos lodos se encuentran:

- ✓ **Contenido de humedad:** El contenido de humedad de un desecho sólido se define como el peso de agua absorbida en la muestra por unidad de peso húmedo de la muestra y se expresa en forma de porcentaje. Generalmente varía entre 75 y 99%.
- ✓ **Contenido de sólidos totales:** en un desecho sólido se define como, la materia que permanece como residuo luego de la evaporación a la temperatura de (103– 105)°C. Todos los materiales que ejercen una presión de vapor significativa a estas temperaturas, se pierde durante el secado. La temperatura a la cual se seca el residuo, tiene una relación importante en los resultados de este ensayo, ya que la pérdida de peso debido a la volatilización de la materia orgánica, el agua mecánicamente absorbida y los gases de la descomposición química producida por el calor, así como el peso ganado debido a la oxidación, dependen de la temperatura y el tiempo al cual se somete al calor. (Metcalf & Eddy. 1995).
- ✓ **Contenido de sólidos sedimentables:** el término sólidos sedimentables se aplica a los sólidos en suspensión que se pueden sedimentar en condiciones de quietud por la influencia de la gravedad. Sólo se pueden sedimentar los sólidos en suspensión más gruesos y con un peso específico lo suficientemente mayor que el agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos que sedimentan.
- ✓ **Corrosividad:** esta viene dada por una reacción de óxido reducción que se da en los metales. Las sustancias son clasificadas como corrosivas y no corrosivas, esto puede ser determinado según el pH de la muestra y a través de la velocidad de corrosión de la muestra en el acero.
- ✓ **Reactividad:** La reactividad química de una sustancia o de una especie química es la capacidad de reacción química que presenta ante otros reactivos. Comúnmente se determina la reactividad y cambios violentos que puede presentar la mezcla al mezclarse con agua, la variación que presenta al sufrir cambios elevados de presión y de temperatura. Adicionalmente se determina la posible presencia de cianuros y sulfuros que pudiese poseer la muestra.
- ✓ **Lixiviado:** es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto material suspendido o disuelto, generalmente ambos.

2.2.12 Muestreo

La Norma COVENIN 2709 (2002) indica que para que una muestra sea satisfactoria debe llenar los requisitos básicos: representar con precisión la masa muestreada grande o pequeña, y tener el tamaño adecuado para análisis subsecuente. Puesto que el agua puede muestrearse bajo diversas condiciones, no existe procedimiento único que pueda aplicarse de modo universal. El método, lugar y tiempo de muestreo deben combinarse de tal manera que los resultados obtenidos satisfagan el propósito para el que se decidió captar la muestra.

2.2.13 Tipos de muestras

Para la caracterización de cuerpos de agua, corrientes de proceso o aguas residuales se utiliza tres tipos de muestras; instantáneas, compuestas e integradas.

- ✓ **Muestras instantáneas:** Reflejan las características del cuerpo de agua, antes del proceso o aguas residuales en el momento de su captación.
- ✓ **Muestras compuestas:** Representan las características promedio del cuerpo de agua residual durante el periodo de captación. Para la preparación de la muestra compuesta, se captan submuestras instantáneas durante el periodo que se desea evaluar. Antes de la combinación de las submuestras, debe verificarse que los parámetros de interés no varíen significativamente durante el periodo de muestreo. La composición de una muestra compuesta puede ser: Proporcional al caudal, a volumen constante o tomadas según casos especiales, cuando el flujo es intermitente como en condiciones de bombeo o por carga donde las submuestras son captadas a intervalos de tiempo definidos en función de la operación.
- ✓ **Muestra integrada:** Consiste en la mezcla de muestras instantáneas, captadas en diferentes sitios simultáneamente. Se utiliza especialmente en los ríos, lagos y aguas costeras, donde ocurren variaciones en la composición dependiendo de la profundidad y el ancho de la corriente.

2.2.14 Modalidad de captación

La captación de la muestra puede realizarse en forma manual o automática. La selección depende de cada caso en particular y está fundamentada en elementos como la posibilidad o

no de instalación de equipos automáticos, el conocimiento previo de la variabilidad de las corrientes y los costos asociados entre otros.

- ✓ **Captación manual:** es realizada directamente por el personal involucrado en el programa. Permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación. Resulta más económica cuando se trata de programas de caracterización relativamente sencillos, donde el número de puntos y la frecuencia de captación de muestras es reducida. No requiere mantenimiento. Tiene las desventajas de que requiere de técnicas de campo entrenados y la posibilidad de ocurrencia de errores humanos producto de las dificultades de captación y el cansancio.
- ✓ **Captación automática:** se realiza con equipos de muestreo automáticos diseñados especialmente para ello. Es útil cuando es necesario captar en muchos sitios simultáneamente o se requiere de un registro más continuo. Entre las ventajas se puede mencionar consistencia en la captación, disminución de posibles errores causados por manipulación de las muestras, requiere poco personal, permite mayor frecuencia de captación de muestras en un mayor número de sitios.

2.2.15 Selección de Alternativas Multicriterio

La solución a la problemática creada en un estudio o investigación, da lugar a plantear diferentes alternativas analizadas desde una perspectiva multicriterio, para determinar su viabilidad, rentabilidad y eficiencia teniendo un fin y objetivo en común. La evaluación de cada alternativa debe considerar los siguientes criterios: Viabilidad Técnica (posibilidad de ejecutar la alternativa), Rentabilidad Económica y Eficiencia Ambiental (valoración de los impactos ambientales) (Conesa 1997), que deben ser cumplidos por los criterios específicos de cada estudio.

La evaluación está conformada por la unidad decisora encargada de tomar la disposición, se divide en uniexpertos (una sola entidad) o multiexperto (unidad formada por más de una entidad). Por otra parte, están las alternativas como el conjunto de posibles opciones que deben ser diferenciables y excluyentes del resto, además en la toma de decisiones el entorno influye al igual que los criterios, considerados como elementos sobre los cuáles se toma una decisión para mejorar la situación actual, cumpliendo los objetivos y las metas propuestas, para luego considerar la solución más eficiente. Teniendo en cuenta los conceptos anteriormente descritos, se establece una categorización para tomar la mejor decisión, divididos en estado del entorno,

números de criterios de decisión, naturaleza de las alternativas y características de la unidad decisoria (García y colaboradores, 2010).

2.3 BASES LEGALES

Puesto que la investigación guarda relación en gran parte con la gestión integral del agua y la recuperación de un desecho, a continuación se hace una recopilación de las principales disposiciones establecidas en Venezuela para el uso y conservación del recurso hídrico y la incidencia, tratamiento y disposición final de las sustancias peligrosas.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela del año 1999, incluye disposiciones de orden ambiental, en sus artículos 127, 128 y 129 donde hace énfasis en la protección del ambiente y en la conservación del equilibrio ecológico como instrumentos para impulsar el desarrollo sustentable de Venezuela.

En cuanto al desarrollo de los principios constitucionales se encuentran disposiciones de rango legal y sub-legal que regulan lo referente a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales, entre ellos, Leyes Orgánicas, Ordinarias, Decretos con rango y fuerza de Ley, Decretos, Reglamentos, Resoluciones, Órdenes Ejecutivas y ordenanzas. En cuanto a la conservación del recurso hídrico existe un abundante marco legal que refuerza las disposiciones y compromisos establecidos en convenios, tratados, conferencias, foros y eventos mundiales, sobre la base de la política ambiental en la materia, los cuales se resumen a continuación:

Ley Orgánica del Ambiente en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.833 (2006) Establece dentro de la política del desarrollo integral de los lineamientos y principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de vida, bajo una visión holística y sistemática.

Ley Penal del Ambiente en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.358 (1992) Tipifica como delitos ambientales aquellos hechos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa, y mejoramiento del ambiente y establece las sanciones penales correspondientes.

Ley de (2007) Contempla las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado. Tiene su fundamento en el artículo 304 de la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, establece la obligatoriedad de sancionar una Ley que fundamente las disposiciones que garanticen la protección, aprovechamiento y recuperación del recurso agua, considerándose éste como un bien social que debe conservarse en calidad y cantidad en el tiempo, tomando en cuenta además que se declara como del dominio público de la Nación todas las aguas, insustituibles para la vida y el desarrollo.

En el Decreto N° 883 (1995). Normas para la Clasificación Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Regula lo concerniente a los vertidos líquidos en cuerpos de agua, redes cloacales o infiltración en el subsuelo, u otras fuentes contaminantes y ofrece una lista de las actividades sometidas a dichas regulaciones.

Decreto N° 1257 (1996). Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles a degradar el ambiente. Plantea en su Artículo N°1 que estas normas tienen por objeto establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente.

Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos. (2001), en el Artículo 1 esta Ley tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre con el fin de proteger la salud y el ambiente y en el Artículo 2. También serán objeto de regulación, en todo lo relativo a su incidencia y sus efectos en la salud y en el ambiente, aquellas sustancias y materiales peligrosos y otros similares, de origen nacional o importado que vayan a ser utilizados con fines de uso agrícola, industrial, de investigación científica, educación, producción u otros fines.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación que se presenta es de tipo proyecto factible en base a la definición que sostiene Barrios et al (1998). La misma se fundamentó en la elaboración de una propuesta (bioalternativa) de un modelo operativo viable que permitió brindar una solución a un problema de tipo práctico ambiental referente a la carencia de aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Tomando en cuenta lo expresado por Barrios et al (1998) el proyecto factible comprende, inicialmente, una etapa de diagnóstico y fundamentación teórica de la propuesta, además de un procedimiento metodológico, y las actividades y recursos necesarios para su ejecución.

Adicionalmente, de acuerdo con Hurtado (2006), los proyectos factibles forman parte de la categoría de investigaciones proyectivas, las cuales intentan proponer soluciones a una situación determinada a partir de un proceso previo de indagación. En este sentido, esta definición coincide con el objetivo de la presente investigación debido a que en la misma se planteó y propusieron bioalternativas que permitieron dar una utilidad a los lodos que, hasta la fecha, se consideran como un desecho del proceso de potabilización del agua.

Esta investigación proyectiva se realizó de forma perspectiva, ya que se parte de la situación actual o presente, dirigiendo la visión hacia el futuro o situación deseada que es aprovechar los lodos generados de una manera amigable con el ambiente.

3.1.2 Diseño y nivel de la investigación

En base al esquema planteado por Hurtado (2006), el nivel de la investigación parte de una fase exploratoria, basado en el diagnóstico de la situación actual relacionado con la generación de los lodos en la planta potabilizadora, siguiendo a una fase descriptiva que permitió detallar los resultados obtenidos durante la caracterización de los mismos y, posteriormente, a la fase analítica-explicativa que permitió definir la factibilidad de las propuestas y evaluar la

bioalternativa que mayores beneficios ambientales y económicos genere, lo que conlleva al nivel superior de la investigación, la fase proyectiva.

Adicionalmente, la investigación se consideró de campo, en la cual, según Hurtado, (2006), el investigador pretende describir la evolución o el proceso de cambio de un evento, acompañándolo en el tiempo y obteniendo los datos de fuentes vivas en el contexto habitual o natural donde ocurre el evento en un período. (p. 237).

Cabe destacar que esto se evidenció al recopilar la información en la planta potabilizadora y recolectar las muestras de lodos que fueron caracterizados para determinar sus principales potencialidades de aprovechamiento.

3.2 Población y muestra o unidad de investigación

Hernández y colaboradores (2006), indican que “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p. 238). Resaltando que ésta debe situarse claramente entorno a sus características de contenido, de lugar y en el tiempo.

En base a lo expuesto, la población de esta investigación fue definida por los lodos generados en el proceso de potabilización de la planta Dr. Alejo Zuloaga, ubicada en el sector San Luis del municipio Valencia, Estado Carabobo.

En relación a la muestra, Hernández y colaboradores (2006) la definen como “un subgrupo de la población de interés (sobre el cual se recolectan datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión), este deberá ser representativo de la población” (p. 236). Por lo tanto, para esta investigación la muestra fue definida como los puntos de monitoreo, seleccionados de forma representativa, en cada una de las etapas de potabilización, específicamente identificados como, lodos generados en los sedimentadores y los almacenados en los densificadores.

3.3 Técnicas de recolección y análisis de datos

En vista de que, Palella y Martins (2006) definen a las técnicas de recolección de datos como “cualquier recurso del cual pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información” (p.137), para la presente investigación se seleccionó como instrumento de recolección de datos la hoja de observación y la tabulación de los datos y

parámetros, a través de los cuales se reportaron las impresiones recogidas durante el recorrido en la fase de diagnóstico y caracterización, empleando para ello la técnica de observación, ensayos y análisis de los datos.

3.4 Procedimientos (fases de la investigación)

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados, se describen las siguientes fases de la investigación:

3.4.1 Diagnosticar la situación actual relacionada con la generación de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.

Esta fase de la investigación se inició detallando cada una de las etapas de la potabilización, específicamente, el proceso convencional llevado a cabo en la planta Dr. Alejo Zuloaga perteneciente a la C.A Hidrológica del Centro, su ubicación geográfica, las aducciones del agua cruda, el origen de la misma, los reportes de caudales de los últimos años de servicio y valores de los parámetros fisicoquímicos y sanitarios del agua que ingresa; dichos datos sirvieron de referencia para diagnosticar la situación actual referente a la generación de lodos en la planta.

De igual manera, se solicitó, en los diferentes departamentos y gerencias de la empresa, la documentación referente a descargas de los subproductos del proceso, cuerpos hídricos, canales y plantas de tratamiento donde son dispuestos estos residuos y las condiciones actuales de los mismos. Así como, material geográfico (mapas), fichas técnicas de las unidades, equipos y materiales, trabajos realizados, adecuaciones del proceso y demás información relacionada con la investigación.

Una vez recopilado el material, se procedió a su comprensión y, a través de una inspección visual, se identificaron las diferentes etapas del proceso de potabilización y unidades en las cuales se generan lodos. Adicionalmente, se tabularon los datos, características y fichas técnicas de la planta y se tomaron evidencias fotográficas de lo antes señalado.

Otro dato importante que se consideró durante el diagnóstico, fue la producción de lodos, la cual se calculó a través de la ecuación 2.1. Los valores de caudal, dosis de coagulante y sólidos suspendidos, utilizados para el cálculo del volumen de lodos generados, corresponden a datos

históricos diarios de entrada del agua cruda a la planta Dr. Alejo Zuloaga, los cuales fueron registrados y avalados por los supervisores y analistas de planta, estos datos son 4.000l/s ($4\text{m}^3/\text{s}$), 65 mg/l y 7,86 mg/l, respectivamente. Cabe destacar que la variable A toma el valor de cero (0), debido a que en la actualidad sólo se emplean sustancias químicas como el gas cloro (desinfectante) y el sulfato de aluminio líquido (coagulante).

3.4.2 Caracterizar los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.

Previo a la caracterización, se realizó un plan de muestreo de los lodos generados en la planta de potabilización, donde se identificaron los puntos de captación de las muestras, el tipo de muestra, según la normativa venezolana, la cantidad de la misma, la secuencia y continuidad del muestreo, además de las condiciones ambientales al momento de la captación, aspectos organolépticos, entre otros.

✓ Plan de muestreo de lodos

Para la toma de muestra de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga se diseñó un plan de muestreo, basándose en la normativa nacional COVENIN 2709:2002; que consistió en hacer captaciones puntuales en las principales unidades generadoras de lodos (descarga de los sedimentadores y los lodos acumulados en los densificadores de la planta); las características del muestreo están detalladas en la tabla 3.1.

La modalidad de la captación fue manual, lo que permitió observar situaciones variables o imprevistas y hacer cambios en la programación. A cada muestra captada se le midió en sitio, la temperatura y el pH. Posteriormente, fueron preservadas y llevadas al laboratorio central de la C.A Hidrológica del Centro, donde se le realizaron los ensayos establecidos para determinar sus características

Tabla 3.1 Características generales del muestreo de lodos de la planta Dr. Alejo Zuloaga

Tipo de muestra	Instantánea / Compuesta
Modalidad de captación	Manual
Preservación y manejo de muestra	Según el ensayo a realizar (ver tabla 3.2)
Tipo de envase	Según ensayo (ver tabla 3.2)
Tipo de Muestreo	Reúne características del tipo 6.4 aguas industriales y 6.5 Sistema de tratamiento según COVENIN 2709:2002
Cantidad de muestra (l) Sedimentadores	10l por unidad= 30l
Cantidad de muestra (l) Densificador	5l por punto= 30l

La preservación, tipo de envase y cantidad de muestra fueron características esenciales al momento de la captación y dependientes del tipo de ensayo o análisis que se le realizaron a las muestras para conocer sus propiedades, estas características están detalladas en la tabla 3.2 y corresponden a una recopilación de lo establecido en el Método Standard, 2005/2011 y la norma COVENIN 2709:2002.

✓ Toma de muestra del lodo

El lodo empleado para el estudio es un residuo proveniente del proceso de potabilización de la planta Dr. Alejo Zuloaga, ubicada en el estado Carabobo, el mismo fue captado con la colaboración del personal operador de la planta, siguiendo las pautas correspondientes según la normativa nacional COVENIN 2709:2002. Las muestras de lodos fueron captadas en los tres sedimentadores de planta y en la unidad densificadora de lodos.

En el caso de los sedimentadores, se seccionó como se muestra en la figura 3.1 (a), donde se identifican cada una de las unidades de sedimentación que integran el proceso (1, 2 y 3). Luego, se procedió a abrir la válvula de drenaje o válvula de fondo y con ayuda de un recipiente atado a una cuerda, se tomaron aproximadamente 10 litros de lodos del sedimentador 1, tal como se indica en la figura 3.2; de igual forma, se realizó el procedimiento para los sedimentadores 2 y 3. Posteriormente, se mezclaron estas tres captaciones simples y se constituyó una muestra compuesta del sistema de sedimentación de la planta. (Ver figura 3.3)

Tabla 3.2 Características generales de la muestra de lodo según ensayo

Ensayo	Tipo de muestra	Tipo envase	Volumen	Preservación	Tiempo máx preservación
Temperatura	Instantánea	Polietileno o Vidrio	-	Analizar inmediatamente	0,25h/0,25h
pH	Instantánea	Polietileno o Vidrio	50ml	Analizar inmediatamente	0,25 h / 0,25 h
DBO	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio	1000ml	Refrigeración	6h/48h
DQO	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio	100ml	Analizar lo antes posible y agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 refrigerar	7d/ 28d
Conductividad	Instantánea, Compuesta	Polietileno o Vidrio	500ml	Refrigeración	28d/28d
Dureza Total	Instantánea, Compuesta	Polietileno o Vidrio	100ml	Añadir HNO ₃ o H ₂ SO ₄ Hasta pH<2	6 meses/ 6meses
Alcalinidad	Instantánea	Polietileno o Vidrio	200ml	Refrigerar	24h/14d
Cloruro	Instantánea, Compuesta	Polietileno o Vidrio	100ml	No precisan conservantes especiales	Sin referencia/28d
Sulfato	Instantánea, Compuesta	Polietileno o Vidrio	100ml	Refrigerar	28d/ 28d
Nitrógeno Amoniacal	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio	500ml	Analizar lo más rápido posible y agregar H ₂ SO ₄ Hasta pH<2 Refrigerar	7d/ 28d
Oxígeno Disuelto	Instantánea	Vidrio, Botella de DBO	300ml	Analizar inmediatamente, puede retrasarse la titulación tras la acidificación	0,5 h Inmediato
Fósforo Total	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio	100ml	Agregar H ₂ SO ₄ Hasta pH<2 Refrigerar	28 d
Sólidos	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio	200ml	Refrigeración	7d/2-7d
Metales en General	Instantánea, Compuesta	Plástico, Vidrio Lavado/ HNO ₃ 1:1	1000ml	Metales disueltos filtrar inmediatamente, añadir HNO ₃ Hasta pH<2	6meses/ 6meses
Coliformes Totales y Fecales	Instantánea	Vidrio de Borosilicato Esterilizable de boca ancha.	No menor a 100 ml	Refrigerar temperatura < 10°C durante el transporte	<30h

Fuente: Adaptado del Método Standard, 2005/2011.

En el caso del densificador de lodos, por tratarse de una piscina rectangular y prácticamente en reposo, se procedió a cuadricular o seccionar el área en 6 partes iguales, como se muestra en la figura 3.1 (b), donde, con la ayuda de un toma muestra fabricado en planta, se procedió a captar aproximadamente 5 litros de lodo en cada punto para obtener, a partir de 6 muestras simples, una compuesta representativa de los lodos almacenados en esta unidad (figura 3.2).

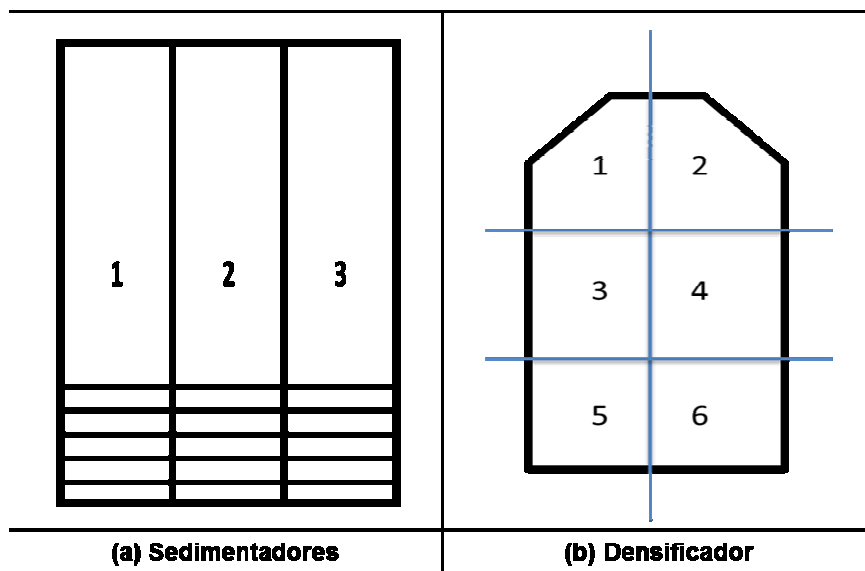


Figura 3.1 Cuadrículas de las unidades para la toma de muestras de lodos.



Figura 3.2 Captación de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

En la figura 3.2 se muestra el proceso que se llevó a cabo para la captación de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, tanto para los sedimentadores, como para el densificador y en la figura 3.3 se representa la homogenización y preservación de la muestra que se empleó para los diferentes ensayos



Figura 3.3 Proceso de homogenización y preservación de las muestras.

✓ **Caracterización de los lodos**

Para realizar la caracterización de los lodos, se consideró la premisa establecida en el decreto 2635 publicado en la gaceta oficial extraordinaria N° 5245 de fecha 3 de agosto de 1998, con el objeto de definir si el lodo evaluado poseía o no características de un residuo peligroso, tomando como referencia lo indicado en el capítulo II, artículo 5 de dicho decreto, en el cual se considera peligroso todo material o desecho que presente en su composición al menos una de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable e infeccioso o patológico (riesgo biológico), conocido con las siglas CRETIB.

Con respecto al riesgo biológico, se tomó en consideración lo expuesto en el decreto 883 publicado en la gaceta oficial extraordinaria N°5021. De fecha 18 de diciembre de 1995. Norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

La caracterización se llevó a cabo mediante la determinación, y en otros casos las mediciones puntuales, de diferentes parámetros, tanto fisicoquímicos como microbiológicos y de

peligrosidad de los lodos en estudio, para lo cual se realizó una tabla que resume las características de estos, además de las propiedades y parámetros de calidad que este residuo presenta.

✓ **Identificación de los parámetros a analizar**

Para esta actividad y en base a lo descrito en el decreto nacional 2635 y 883, se realizó una revisión del método estándar (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) y las normas COVENIN, a fin de seleccionar los parámetros de interés que aportaron las características, propiedades y la calidad de los lodos.

Tabla 3.3 Análisis de laboratorio para determinar la peligrosidad de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Análisis	Método	Técnica	Equipo
Corrosividad	4500-H+ B	Ph-metro	PH-metro
Reactividad	5210-B Hach	DBO DQO	Ver degradabilidad
Toxicidad por Metales pesados	3111-B	Digestión ácida. Absorción atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Riesgo Biológico	9221 B	Coliformes Totales y fecales	Método de múltiples tubos

Las pruebas específicas que se realizaron para determinar la peligrosidad del lodo fueron: Corrosividad, donde se midió el pH de la muestra y se determinó que tan alcalino o ácido es el material; reactividad, considerando la velocidad con que se degrada la muestra, para este caso se determinó la DBO y DQO además de la alcalinidad y la reactividad con el agua. Otra característica fue la toxicidad por metales, donde se determinó la concentración y el tipo de metales pesados que posee la muestra (plomo, cromo, cadmio, manganeso, zinc) referenciados en la tabla 3.4.

Es de hacer notar que las pruebas de explosividad e inflamabilidad no se realizaron debido a que el desecho en estudio, los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, se encontraban en estado líquido, no generan incendios bajo ciertas condiciones, no son de combustión espontánea, ni presentan un punto de inflamación inferior a 60° C. Además, no desprenden gases por reacciones químicas. Para culminar el análisis de peligrosidad, se

determinó el riesgo biológico por medio de pruebas microbiológicas (coliformes totales y fecales) para comprobar la presencia de agentes patógenos infecciosos.

Tabla 3.4 Concentración de metales para determinar la peligrosidad de un residuo según el Decreto 2635

Sustancia	Efecto	Cantidad Crítica (kg)	Límite de Peligrosidad (ppm)
Cobre y sus compuestos	A	2500	≤1000
Cadmio y sus compuestos	X	5	≤50
Cromo y sus compuestos	X	2500	≤50
Plomo y sus compuestos (sales y óxidos)	A,B	5	≤1000
Mercurio y sus compuestos	X	0,5	≤50
Níquel y sus compuestos	A,B	5	≤1000
Fósforo	X	0,5	≤50
Cinc y sus compuestos (polvo, óxido y sales)	A,C,B	50	≤1000

Fuente: Adaptado del Decreto 2635. Anexo C, sustancias peligrosas

Efecto:

A: Tóxico en agua.

B: Tóxico por inhalación, ingestión o contacto.

C: Reactivo / inflamable.

X: Altamente tóxico o peligroso.

Otros parámetros determinados, por ser considerados de gran importancia para seleccionar las mejores alternativas de tratamiento y disposición de los lodos, se presentan en la Tabla 3.5. Estos parámetros aportan características para conocer tanto la peligrosidad del lodo como las propiedades, cualidades y especificaciones que presentan a la hora del aprovechamiento de los mismos. Se toma como referencia el método estándar (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) APHA, AWWA y WEF, 2010.

Estos análisis se llevaron a cabo por el mismo investigador, en las instalaciones del laboratorio central de la empresa C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), con previa inducción y entrenamiento por personal calificado de la empresa.

Tabla 3.5 Parámetros a considerar para la caracterización de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Fisicoquímico y Sanitario		
Parámetro	Unidad	Método/Referencia*
pH	Adim	4500-H+ B
Temperatura	°C	2550
Sólidos Totales	mg/l	2540-B
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B
Sólidos Disueltos	mg/l	2540-B
Sólidos Volátiles	mg/l	2540-B
Conductividad	(uS/cm)	2510
Alcalinidad	mg/l	2320
Humedad	%	Gavimétrico Jackson, (1970)
Alcalinidad	mg/l	2320
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	5210-B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	HACH
Fósforo Total	mg/l	4500-P-E
Nitrógeno Total	mg/l	4500- Norg-C
Aluminio	mg/l	3500-Al-D
Sulfato	mg/l	SO4-2
Cloruro	mg/l	HACH
Instrumental (Metales Pesados)		
Cobre	mg/l	3111-B
Cromo	mg/l	3111-B
Hierro	mg/l	3111-B
Manganeso	mg/l	3111-B
Plomo	mg/l	3111-B
Zinc	mg/l	3111-B
Bacteriológicos		
Coliformes Totales	NMP/100ml	9221 B
Coliformes Fecales	NMP/100ml	9221 E
Plancton	org/ml	10200 F

* APHA, AWWA y WEF, 2010

En el caso de la medición del potencial de hidrógeno de las muestras de lodos (pH), se realizó in situ con un equipo portátil una vez captada y posteriormente en el laboratorio central como lo

indica el método estándar 4500-H+ B para una muestra líquida. El equipo empleado fue pH-metro, marca Thermo Scientific, modelo Orion Dual Star, serial 02634.



Figura 3.4 Determinación del pH de las muestras de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

La figura 3.5 representa los pasos realizados para determinar la concentración de sólidos (totales, suspendidos, sedimentables y volátiles) de los lodos caracterizados.

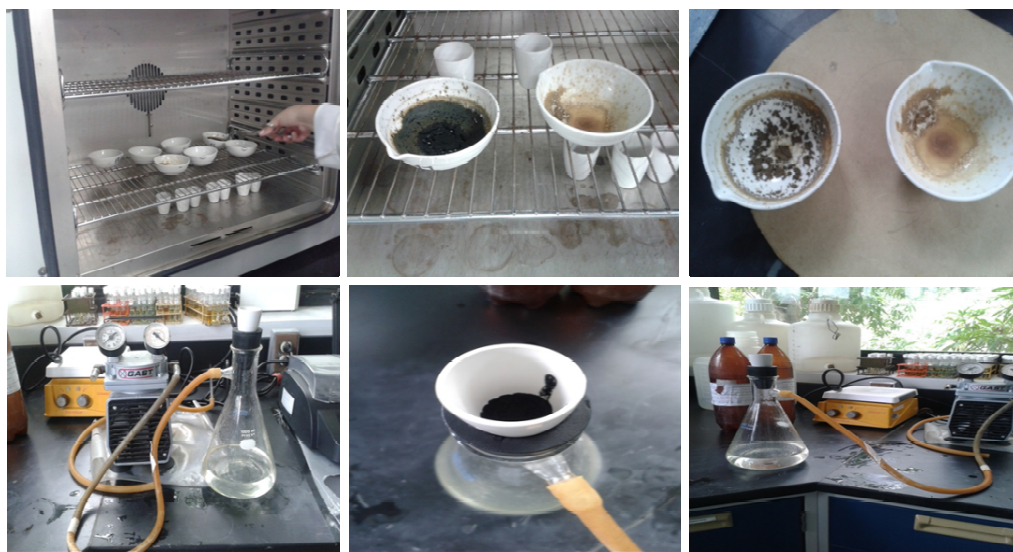


Figura 3.5 Determinación de sólidos totales y suspendidos de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Por su parte, la determinación de humedad, densidad y temperatura del lodo se realizó tal como se indica en la figura 3.6.



Figura 3.6 Determinación de la humedad, densidad y temperatura de la muestra de una muestras de lodo de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se realizó según el método 5210-B, midiendo la concentración de oxígeno disuelto el día que se captó la muestra, y posteriormente, transcurridos los 5 días de prueba como lo indica el método. Este proceso se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7 Determinación de la Demanda Bioquímica de oxígeno de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

La determinación de la DQO, se realizó mediante un equipo HACH modelo DRB 200, empleando diales como se muestra en la figura 3.8. Este equipo aporta directamente el valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las muestras.



Figura 3.8 Determinación de la Demanda química de oxígeno de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

La cuantificación de metales pesados tanto en patrones como en las muestras de lodos analizadas se realizó por el método de absorción atómica, el instrumento empleado fue el Espectrómetro de Absorción Atómica modelo AANALYST 300, marca Perkin- Elmer (figura 3.9) Este equipo, de llama acetileno-aire, cuenta con un atomizador, tiene incorporado una corrección de fondo de fuente continua y emplea como fuente de radiación una lámpara de cátodo hueco específica para cada metal analizado.

Previo a la determinación de los metales de la muestra, se realizó una digestión debido al posible exceso de materia orgánica contenida en ellas, para garantizar que no existieran partículas sólidas que fueran a obstruir el capilar en el proceso de atomización; para ello se tomó 100ml de la muestra, se agregó 03 gotas de naranja de metilo, se acidificó con H_2SO_4 hasta el viraje, luego se agregó 5ml de HNO_3 concentrado y 2ml de H_2O_2 al 30% (v/v) y se evaporó hasta obtener aproximadamente 20ml de la muestra. Seguidamente se transfiere a una fiola de 125ml y se agregó 5ml de HNO_3 concentrado y 10ml de H_2SO_4 con perlas de ebullición, se evaporó hasta que se produjo gas blanco de SO_3 . Posteriormente se dejó enfriar y se diluyó a 50ml aproximadamente con agua destilada, se calentó hasta ebullición para disolver las sales solubles y se filtró en frío con papel filtro cuantitativo y el filtrado se llevó a un balón de 100ml,

se aforó y se mezcló bien para obtener la muestra que se empleó para la determinación de la concentración de los metales pesados mediante el equipo de absorción atómica. Estos procedimientos se muestran en la figura 3.9.



Figura 3.9 Determinación de los metales pesados por el método de adsorción atómica de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

El nitrógeno total presente en las muestras de lodos fue determinado mediante el método Kjeldahl, mediante el equipo Kjeldahl destilador marca Velp Scientific modelo UDK 1304, como se representa en la figura 3.10.

Adicionalmente, la determinación de fósforo total se realizó mediante una previa digestión de las muestras y luego se le aplicó el método 4500 P-C del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, como se representa en la figura 3.11.



Figura 3.10 Determinación del nitrógeno amoniacal de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

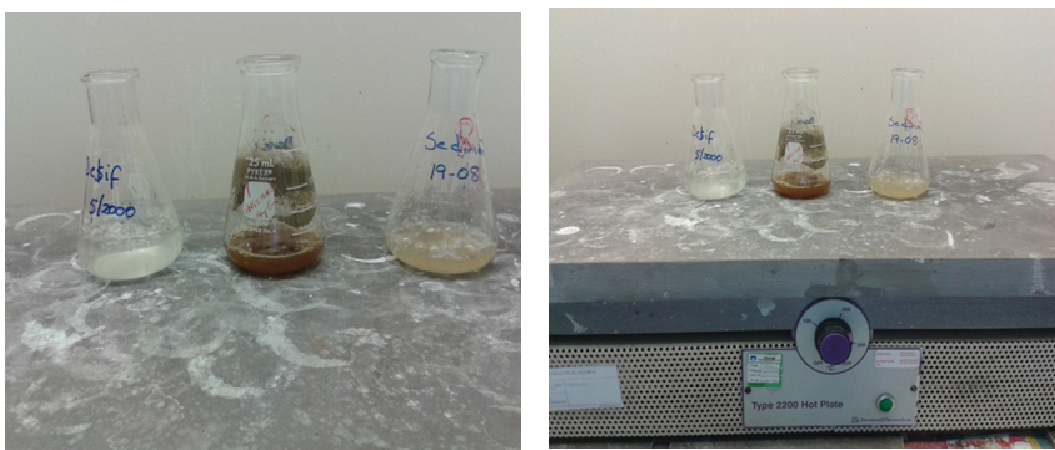


Figura 3.11 Digestión de las muestras para la determinación de fósforo de los lodos de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Adicionalmente, la presencia de elementos o compuestos tóxicos en el lodo, no es la única característica que puede presentarse para considerar este material como peligroso, sino también el contenido de microorganismos patógenos, por lo que fue necesaria la determinación microbiológica, como son coliformes totales y fecales, mediante el método de los tubos múltiples. Adicionalmente se determina la concentración de plancton por el método 10200 F.

3.4.3 Analizar la factibilidad técnica de las bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo.

En esta fase de la investigación, se analizaron los resultados obtenidos en la caracterización, tomando en cuenta las propiedades, concentraciones de nutrientes, metales y demás parámetros determinados en el lodo y de esta manera se realizó una lluvia de ideas respecto a las posibles bioalternativas de uso, se contó con la colaboración de expertos en el área y de referencias bibliográficas que dieron base al planteamiento de las posibles propuestas para el aprovechamiento de este residuo, tomando en cuenta las normas nacionales e internacionales que aplicaron según el caso.

Adicionalmente, para dar cumplimiento a este objetivo, se aplicó el método de multicriterios; ésta metodología sirvió para seleccionar la propuesta más adecuada bajo un conjunto de criterios de disposición, donde se evaluaron cada uno de estos.

Para la evaluación de las alternativas se seleccionaron los criterios, se identificaron los efectos de cada una, se valoraron los impactos, se evaluaron las alternativas con base a los criterios, describiendo sus ventajas y desventajas, y posteriormente se desarrolló una matriz simplificando y clasificando los elementos del análisis.

Con base en lo anterior, se estableció una metodología compleja, que recibe el nombre de adición ponderada, para operar la matriz y seleccionar la mejor alternativa teniendo en cuenta los resultados, la cual relacionó el comportamiento de cada una con cada criterio establecido, luego se sumaron de forma ponderada teniendo en cuenta los pesos asignados a cada criterio.

Para lograr la valoración de las alternativas, el procedimiento metodológico fue el siguiente: se definieron los criterios, se valoraron las alternativas (A_i) de acuerdo a los criterios (M_j) obteniendo un valor (V_{ij}), se asignaron los pesos relativos a cada criterio y posteriormente se calcularon los índices (V_a), teniendo en cuenta el peso del criterio (P_j), empleando para cada alternativa la siguiente fórmula: (Conesa, 1997)

$$V_{ai} = V_a = \sum_{j=1}^m V_{ij} * P_j / \sum_{j=1}^m P_j \quad (3.2)$$

En la figura 3.12 se muestra la estructura del método complejo de adición ponderada para la selección de alternativas, donde se desglosa en cada renglón los datos antes expuestos y la manera de valorar los criterios y valores correspondientes a cada alternativa.

		Alternativas					
Criterios	Peso	A_1	A_2		A_3		A_n
M_1	P_1						
M_j	P_j				V_{ij}		
M_m	P_m						
$V_{pi} = \sum_{j=1}^m V_{ij} * P_j$					$\sum_{j=1}^m V_{ij} * P_j$		
$V_{ai} = V_{pi} / \sum_{j=1}^m P_j$					V_{aj}		

Figura 3.12. Método Complejo de adición ponderada para la selección de alternativas

Fuente: Conesa, 1997.

✓ Determinación de los Criterios

Se eligieron cinco criterios importantes para cumplir el objetivo planteado, los cuáles fueron: requerimiento de pre-tratamiento, aprovechamiento de las propiedades del lodo, espacio requerido para la implementación de la alternativa y requerimiento de personal especializado o calificado. A cada criterio se le asignó un valor de 1 a 10 según la importancia con su justificación correspondiente, siendo 1 poco importante y 10 muy importante como se representa en la tabla 3.6. Esta valoración de los criterios se realizó con la ayuda de personal técnico y profesional en una mesa de trabajo, donde se discutieron los diferentes puntos de vista.

Tabla 3.6 Criterios para la selección de la bioalternativa

Criterios	Peso	Justificación
Requerimiento de pre-tratamiento	9	Este criterio tiene un peso alto porque depende si la alternativa es apta para ser implementada de inmediato o necesita de un tratamiento previo teniendo en cuenta la aplicación final.
Aprovechamiento de las propiedades del lodo	10	Este criterio posee el mayor peso porque de las propiedades del lodo parte fundamentalmente la elección de las bioalternativas, las cuales aportarán beneficios al medio ambiente.
Espacio requerido	6	Criterio tomado en cuenta debido al área necesaria para implementar la propuesta (m ²)
Personal calificado	8	Tomado en cuenta debido a que a medida que aumente la tecnología para cada alternativa aumenta la necesidad de tener personal especializado.

✓ Nivel de satisfacción de cada alternativa según los criterios

El nivel de satisfacción se determinó, valorando en una escala del 1 al 5, el cumplimiento o no de los criterios previamente seleccionados por parte de cada una de las alternativas, siendo 5 el mayor nivel de satisfacción. La asignación de estos valores se realizó en base a las ventajas y desventajas que presentaba cada alternativa.

✓ Selección de la bioalternativa

Una vez ponderada y valorada cada una de las alternativas según el criterio, se procedió a la adición ponderada de esta, considerando como la más idónea la de mayor puntuación.

De esta manera, se llega al análisis de la factibilidad técnica y ambiental, seleccionando la bioalternativa que mejor se adapta a las necesidades de aprovechamiento del residuo en estudio como lo es el lodo generado en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

3.4.3 Desarrollar a escala piloto la propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia, Edo. Carabobo

Con base en los resultados de los dos últimos objetivos, se procedió a desarrollar la bioalternativa más viable para el aprovechamiento de los lodos generados, la misma se realizó a escala piloto en las instalaciones de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga. La metodología que se empleó para el desarrollo de la propuesta se basó en el paso a paso para la ejecución de un proyecto, donde se consideraron los siguientes puntos:

ESQUEMA PARA LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

TITULO DEL PROYECTO

- ✓ Breve reseña o explicación del proyecto.
- ✓ Propósito del proyecto.
- ✓ Importancia y justificación del proyecto.

DATOS INFORMATIVOS

- ✓ Institución ejecutora,
- ✓ Beneficiarios
- ✓ Ubicación
- ✓ Tiempo para la ejecución
- ✓ Equipo técnico responsable

JUSTIFICACIÓN: Se describen los argumentos que justifican la ejecución del proyecto.

OBJETIVO: Propósito central del proyecto.

MODALIDAD BÁSICA DEL PROYECTO: Define el tipo de proyecto que se presenta.

FUNDAMENTOS TEORICOS: Bases bibliográficas se sirven de referencia en las discusiones.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES: Descripción detallada del paso a paso para lograr el objetivo propuesto.

DISCUSIONES DE RESULTADOS.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Diagnosticar la situación actual relacionada con la generación de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo

La planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, adjunta a la empresa C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), se encuentra ubicada en el sector San Luis, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia, del Estado Carabobo.

En la figura 4.1 se muestra la ubicación satelital de dicha planta y sus coordenadas, según la Jefatura Central de Catastro de la C.A Hidrológica del Centro en su última actualización en el año 2016. Los puntos de referencia son el cementerio jardines del recuerdo y la multitienda Ferro-cerámica Valcro C.A. Autopista Vía Campo de Carabobo. El área total de la planta es de 12 hectáreas, que abarca un área aproximada en infraestructura de 05 hectáreas y el resto corresponde a áreas verdes.

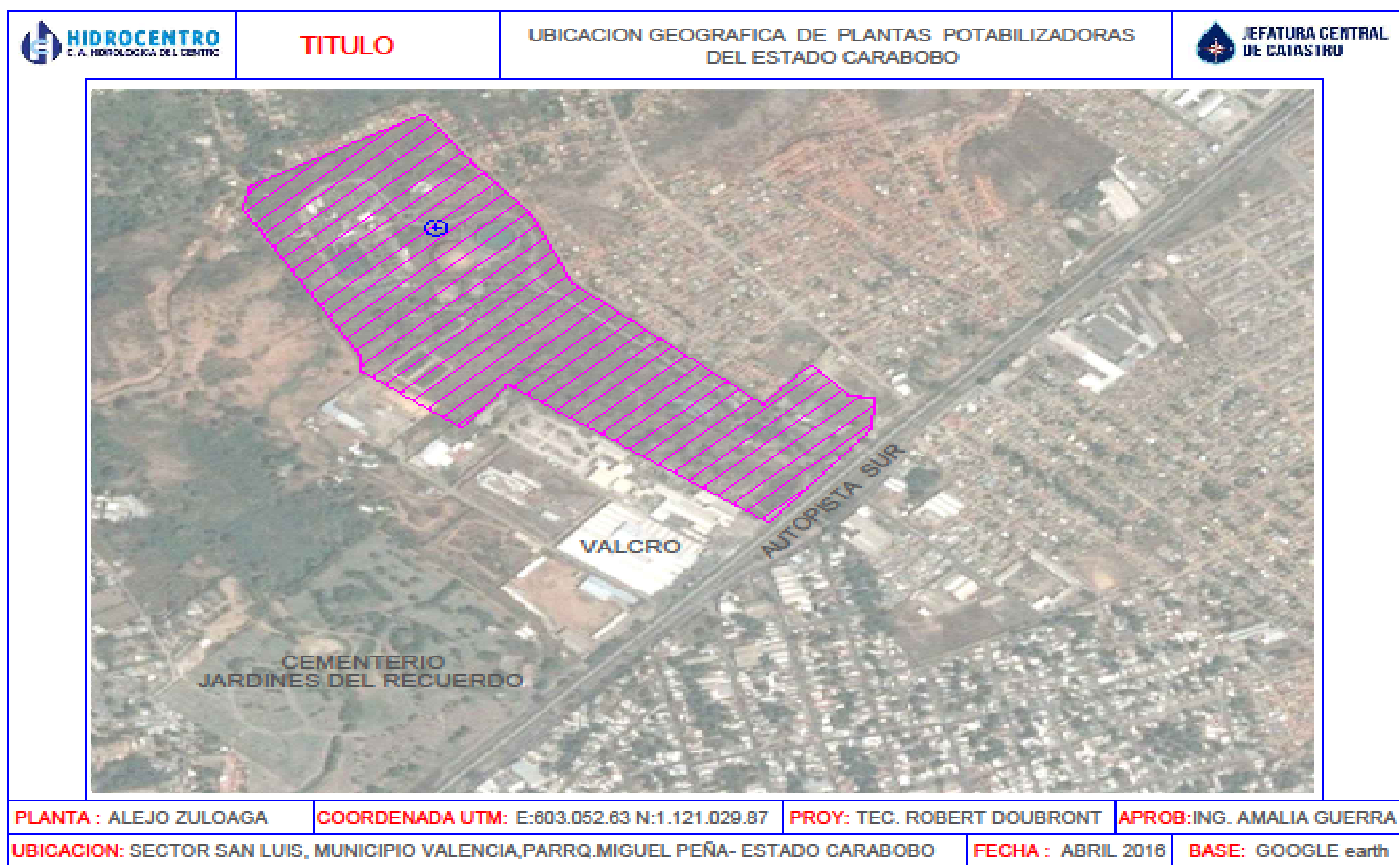


Figura 4.1 Ubicación geográfica de la planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga vista Satelital.

Tabla 4.1 Características generales de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Fuentes de Abastecimiento	Embalse Pao Cachinche, Dique Guataparo y Río Torito.
Captación	La Planta posee un sistema de captación principal ubicado en el embalse Pao Cachinche, que consta de una torre toma con diez (10) compuertas, que se colocan en servicio dependiendo de la calidad del agua cruda y época del año, mediante una tubería de 77" y llega a la estación de bombeo, de allí se envía hasta una chimenea (torre de Alivio), donde se divide en paralelo en dos tuberías, una de 60" y otra de 54", las cuales llegan hasta la planta. Existe una captación complementaria que es el Dique de Guataparo, el cual envía el agua por gravedad por una tubería de 54" hasta la planta. Existe otra pequeña captación que envía agua por gravedad desde el Río Torito.
Tipo y Capacidad de la planta	La planta Dr. Alejo Zuloaga comprende dos (02) sistemas, el tipo convencional (tratamiento completo) sistema Americano, diseñado para 3.000 l/s y el tipo Degremont (tratamiento completo) Sistema Francés con capacidad de diseño de 5.000 l/s
Estanques de Almacenamiento	El S.R.C.I contempla los siguientes estanques de almacenamiento: - Dos (02) dentro de las instalaciones de la Planta Potabilizadora (30.000 m ³ ; - Dos (02) en el Municipio Valencia (sector Los Colorados).
Estaciones de Bombeo	Las Estaciones de bombeo del S.R.C. I son: Municipio Valencia 1) Cachinche, 2) Red Media y Red Baja, 3) Red Alta, 4) Bárbula I, 5) Bárbula II.
Longitud de redes de distribución	Existe una red de aproximadamente 230 km. de tuberías instaladas.
Localidades Abastecidas	Municipio Libertador (Suroeste), Municipio Valencia, Municipio Naguanagua, parte del municipio Los Guayos y Parte de san Diego.
Población Total 2015 (hab.)	1.266.444 habitantes (según proyección I.N.E, 2015)
Población Servida 2015 (%)	100% de los Municipios Valencia, Naguanagua y Libertador
Productos químicos utilizados	Cloro-gas, sulfato de aluminio líquido, polímero catiónico, cal hidratada, carbón activado.

Fuente: Manual de operaciones de planta Dr. Alejo Zuloaga.

El sistema convencional reúne una serie de características propias que le dan las propiedades tanto al agua procesada como a los residuos obtenidos, dichas características se resumen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Características generales del proceso de potabilización de la planta Convencional

Tipo de Planta	Sistema Completo. Tecnología Americana.
Etapas del proceso	Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección.
Años de Servicio	43 (Noviembre de 1973).
Caudal de Diseño	3.000 (l/s).
Caudal de Operación	2.780 l/s (Caudal promedio periodo comprendido entre 2013 al 2015).
Breve Descripción del proceso de potabilización. (Planta Convencional)	El agua de entrada (agua cruda) ingresa a una obra de llegada (Rompe-carga), de allí pasa por medio de un tubo Venturi, donde se toma el caudal de entrada, luego es conducida a la obra de mezcla rápida, la cual es netamente hidráulica y donde se le aplican las sustancias químicas como: agua clorada, Sulfato de Aluminio Líquido y Carbón Activado; el agua ya dosificada pasa a un canal de coagulación y seguidamente a los floculadores, y a su vez es conducida a la etapa de sedimentación, donde se disminuye progresivamente la velocidad y van precipitando los flóculos formados. Posteriormente, el agua clarificada entra al sistema de filtración para luego ser almacenada en el pozo de succión y llega por gravedad a dos (02) estanques cilíndricos de 30.000 m ³ de capacidad; de esta manera se transporta a la estación de bombeo donde es suministrada a través de la red de distribución a la comunidad en general. Ver Figura 4.2
Productos Químicos dosificados	Gas-Cloro y Sulfato de Aluminio Líquido

Fuente: Manual de operaciones de planta Dr. Alejo Zuloaga.

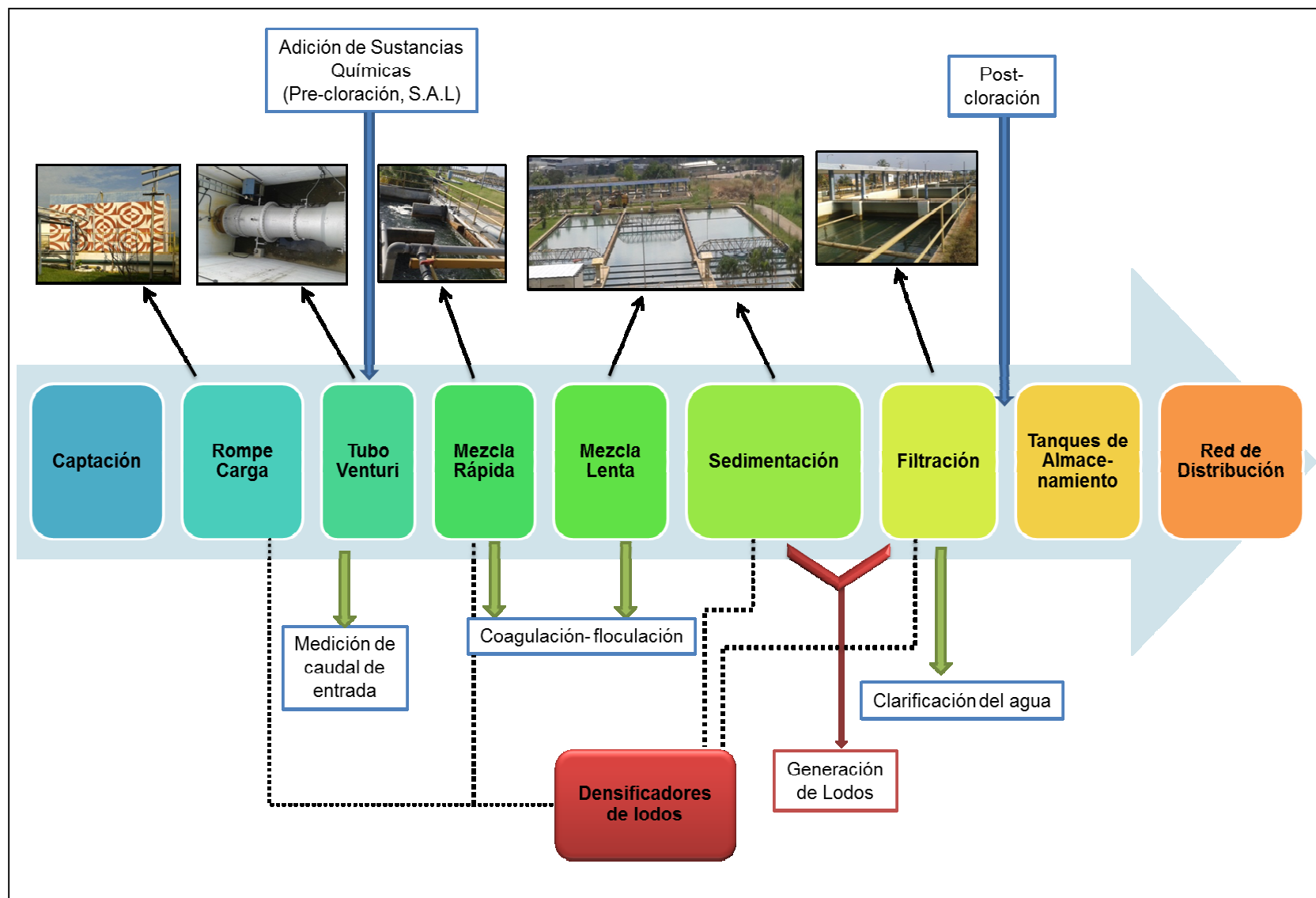


FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA

En todas las etapas de potabilización se generan lodos, sin embargo, en las unidades de sedimentación y filtración se acumula la mayor cantidad de éstos, como se aprecia en la figura 4.2. La composición de los lodos va a depender de las características del agua cruda procedente del embalse Pao Cachinche y de los diferentes productos químicos empleados en el proceso, donde actualmente se aplica gas-cloro y el sulfato de aluminio líquido como coagulante.

Según el Decreto Nacional 883, publicado en la Gaceta Oficial N° 5.021 extraordinario del 18 de diciembre de 1995, que clasifica y controla la calidad de los cuerpos de agua, vertidos o efluentes líquidos, el agua que ingresa a la planta Dr. Alejo Zuloaga, se considera como agua de tipo 1, Sub- Tipo 1B, es decir, que puede ser acondicionada por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

En este sentido, a continuación se tabulan los resultados de los diferentes parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos recopilados durante el año 2015 del agua cruda que ingresa a la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, para dar una idea de la composición del lodo generado en dicha planta potabilizadora. Dichos parámetros, se encuentran detallados en la tabla 4.3, donde se observa que los valores de color, turbiedad, sólidos disueltos totales y coliformes totales muestran una tendencia a generar flóculos con la acción del coagulante aplicado, por deposición de material sedimentable, lo que sugiere una producción considerable de subproductos conocidos como lodos, que será el residuo del proceso de potabilización. Además de la carga orgánica que posee el agua que ingresa a planta, rica en macro y micro nutrientes.

Para el año 2015, la concentración promedio de metales pesados del agua cruda que ingresa a planta, mostradas en la tabla 4.4, no excedía los límites establecidos en el decreto 883, encontrándose en trazas y en algunos casos como el cromo y el plomo no fueron detectados en el agua lo que da un indicio a la calidad del agua procesada y a los subproductos obtenidos en el proceso de potabilización.

Tabla 4.3 Calidad del agua cruda de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga para el año 2015

Mes/ Parámetro	Color (Pt/Co)	pH (Adim)	Turb (NTU)	Conduct (uS/cm)	Hierro (mg/l)	P total (mgP/l)	Sólidos disueltos Totales (mg/l)	Nitrógeno Total (mg NH3- N/l)	Sodio+ Potasio (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	Coliformes T NMP/100 ml
ENERO	50,00	6,74	7,47	449,75	0,20	0,69	207,8	2,64	22,24	136,76	3640,00
FEBRERO	50,00	6,74	7,52	443,32	0,12	0,56	235,9	3,85	24,23	123,00	3028,75
MARZO	40,00	6,59	8,15	421,36	0,19	1,63	239,6	4,60	13,23	112,62	754,55
ABRIL	40,00	6,80	8,57	402,13	0,55	2,09	232,3	4,38	31,87	113,12	738,00
MAYO	40,00	6,79	12,23	414,80	0,30	1,91	271,9	4,89	28,89	100,58	639,00
JUNIO	40,00	6,63	17,30	537,88	-	1,76	-	4,81	78,25	148,76	873,00
JULIO	50,00	6,44	6,44	517,56	-	1,00	289,8	3,14	57,74	148,25	5969,70
AGOSTO	50,00	6,03	10,51	446,13	0,31	0,72	-	2,30	32,55	121,72	19041,00
SEPTIEMBRE	50,00	6,08	8,26	412,00	-	2,08	211,0	1,45	20,77	114,70	22000,00
OCTUBRE	60,00	6,79	6,79	387,18	-	0,71	298,8	2,55	43,61	125,18	3682,00
NOVIEMBRE	50,00	7,32	10,54	392,82	0,11	0,69	232,0	1,56	29,76	118,74	4661,00
DICIEMBRE	50,00	7,31	8,91	385,19	-	0,76	-	1,92	29,74	115,37	6415,00
PROMEDIO	50,00	6,69	9,39	434,18	0,25	1,22	246,6	3,17	34,32	123,23	5953,50
Límite (Decreto 883)	<15	6-8,5	<25	<500	1,0	NR	1.500	NR	NR	NR	<10.000

Fuente: Adaptado del informe de gestión del año 2015 de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

**TABLA 4.4 Concentración de los metales pesados en el agua cruda de la planta
Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga para el año 2015**

Fecha de Captación	Cobre Total (mg/l)	Cromo Total (mg/l)	Hierro Total (mg/l)	Manganeso Total (mg/l)	Níquel Total (mg/l)	Plomo Total (mg/l)	Zinc Total (mg/l)
Enero	0,002	ND	0,332	0,208	ND	ND	ND
Febrero	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	ND	ND	0,081	0,170	ND	ND	ND
Abril	ND	ND	0,056	0,130	ND	ND	0,001
Mayo	ND	ND	0,296	0,161	ND	ND	0,001
Junio	-	-	-	-	-	-	-
Julio	ND	ND	0,265	0,161	ND	ND	0,001
Agosto	ND	ND	0,305	0,142	ND	ND	0,010
Septiembre	ND	ND	0,261	0,084	0,007	ND	0,009
Octubre	ND	ND	0,352	0,150	ND	ND	0,017
Noviembre	ND	ND	0,105	0,129	ND	ND	0,005
Diciembre	ND	ND	1,130	0,346	-	ND	ND
Promedio	0,002	-	0,318	0,168	0,007	-	0,007
Límite (Decreto 883)	1,0	0,05	1,0	0,1	0,5	0,05	5

ND: No detectado.

Fuente: C.A Hidrológica del Centro.

Identificación de la fuente de generación y almacenamiento de los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Como se muestra en la figura 4.2 la generación de lodos viene dada en todas las etapas de la potabilización pero se ven más influenciadas en las siguientes:

Sedimentación: los lodos que se producen básicamente en la sedimentación son los residuos de la coagulación química, los mismos están compuestos por los precipitados de aluminio provenientes del uso del sulfato de aluminio, así como, por el material orgánico e inorgánico removido (arena, limo, arcilla, polímero o ayudante de coagulación usados), y por el agua de arrastre utilizada para su transporte. Las características de diseño de esta unidad se muestran en la tabla 4.5.

Filtración: los lodos que se producen en la operación de lavado de los filtros tienen una baja concentración de sólidos, la cantidad es del orden del 2 al 6% del agua filtrada y los sólidos son

retenidos en el filtro durante la carrera de filtración. Para el lavado de los filtros se emplea un retro lavado en donde se descarga, aproximadamente, 1% de los lodos que no fueron retenidos en los sedimentadores.

Con base en lo evidenciado en estas dos etapas se descartan los lodos producidos tras el lavado de los filtros ya que la cantidad producida resulta irrelevante en comparación con el total generado en los sedimentadores. Además, los lodos generados en ambas unidades (sedimentadores y filtros) se unen al final del proceso en los densificadores, como se muestra en la figura 4.2.

Tabla 4.5 Características de las unidades generadoras y almacenadora de lodos de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Características	Sedimentadores	Espesamiento de lodos
Tipo de conducción	Gravedad	Gravedad
Nº de unidades	Tres (03)	Dos (02)
Ingreso	20 Válvulas de entrada (c/u) de 6 " de diámetro	2 Válvulas de entrada de 6 " de diámetro
Dimensiones	Largo (m): 65. Ancho (m): 20. Profundidad (m): 3,5. Columna de Agua (m): 3,15. Volumen de agua de c/u (m ³): 4.095. Periodo de retención (min): 1h 8 min; 68min.	Largo (m): 62 Ancho (m): 25 Profundidad (m): 4,5 Columna de Agua (m): 4 Periodo de retención (min): 5h; 300min aproximadamente.
Drenaje	3 válvulas (1 c/u) de 6" de diámetro	Mediante maquinaria pesada

Fuente: ficha técnica de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Sistema de tratamiento y disposición de los lodos generados

El sistema de tratamiento de los lodos que se generan en el proceso de clarificación, consiste en un sistema de lagunas de sedimentación, conocidas como densificadores de lodos; estos reciben el afluente de los sedimentadores, decantadores y filtros, tal como se muestra en la figura 4.2 y en la figura 4.3.

Los lodos generados en todo el proceso de potabilización carecen de un tratamiento que disminuya el posible riesgo que representan para el ambiente y que permita dar un

aprovechamiento a los mismos. Cabe destacar que estos se encuentran almacenados desde hace más de 6 años en la mencionada unidad de densificación.

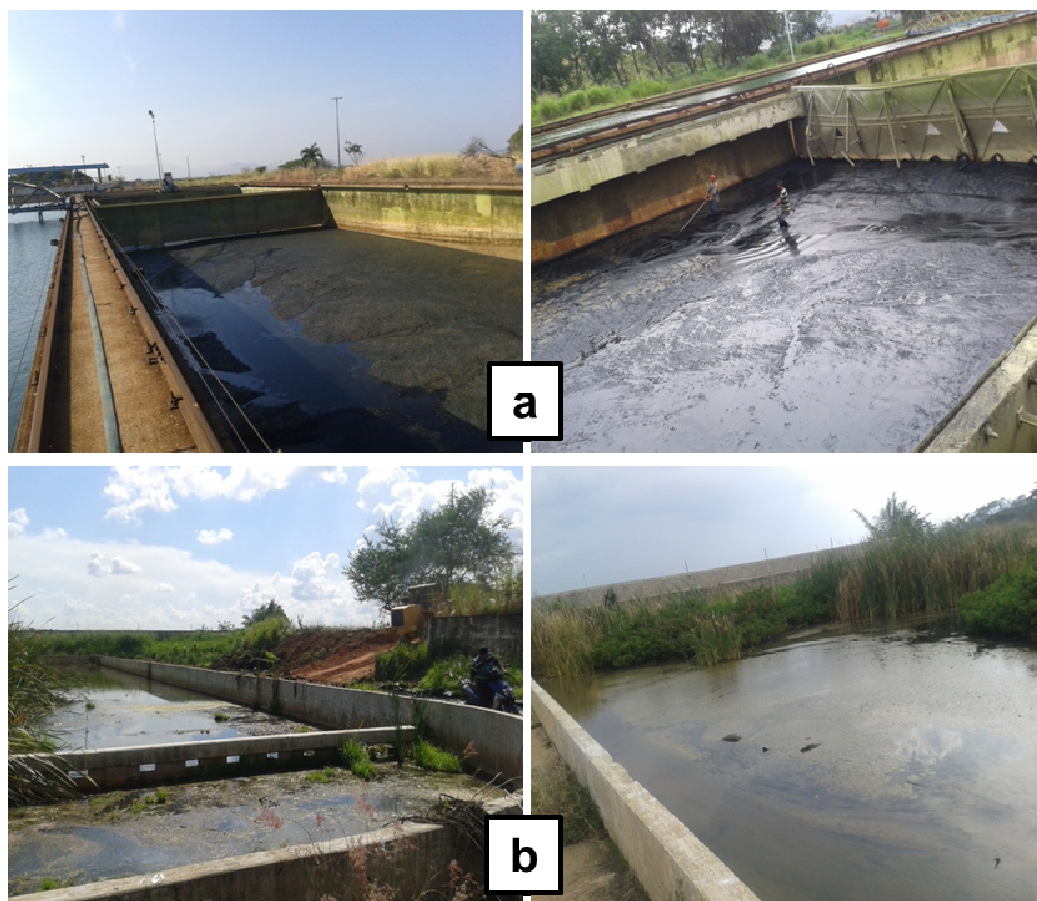


Figura 4.3 Vista de un Sedimentador en mantenimiento (a) y un densificador de lodos (b).

Cálculo de la producción de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Empleando la ecuación 3.1, se determinó que la cantidad de lodos producidos en la planta Dr. Alejo Zuloaga, para el año 2015, fue de 12.600,58 kg/día, siendo esta una cantidad relevante que implica la necesidad de un sistema que permita un manejo y disposición adecuada de estos residuos. Los datos y procedimientos para el cálculo se encuentran el apéndice A.

4.2 Caracterización de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga ubicada en el municipio Valencia. Edo Carabobo

La fracción analizada se debe al lixiviado, fracción líquida, debido a la humedad y densidad que contiene el lodo. Los resultados de los análisis de peligrosidad se resumen en la tabla 4.6, los cuales muestran que dichos lodos no son peligrosos, ya que los ensayos de corrosividad, reactividad, toxicidad y riesgo biológico, cumplen con los valores límites exigidos en los Decretos 2635, 883 y lo expuesto en las diferentes referencias bibliográficas, mostrados en la misma tabla.

Tabla 4.6 Resultados de análisis CRETIB en los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Análisis	Parámetro	Unid	Sed	Den	Límite de peligrosidad	Referencia
Corrosividad	pH	Adim	5,89	6,55	2 -12,5	Decreto 2635
Reactividad	DBO	mg/l	117	59	30-300 mg/l	Ramirez,2008
	DQO	mg/l	679	1555	30-5000 mg/l	Ramirez,2008
Toxicidad por Metales pesados	Cobre	mg/l	ND	0,59		
	Plomo	mg/l	ND	ND	< 1000 ppm	Decreto 2635
	Zinc	mg/l	7,1	2,8		
	Cromo	mg/l	ND	0,97	< 50 ppm	Decreto 2635
Riesgo Biológico	Coliformes totales	NMP/ 100 ml	>160000	4300	Menor a 5000 NMP/ 100ml	Decreto 883 (Sub tipo 2B)
	Coliformes fecales	NMP/ 100 ml	22000	630	Menor a 1000 NMP/ 100ml	Decreto 883 (Sub tipo 2B)

ND: no determinado por el equipo (trazas).

NA: No aplica.

Cabe destacar que, la prueba de inflamabilidad y explosividad no fueron realizadas, por carencia de método experimental para determinarla en el tipo de material estudiado; sin embargo, teóricamente se conoce que los lodos de las plantas potabilizadoras no son explosivos, principalmente cuando en estado sólido o líquido no desprenden gases por reacciones químicas, no generan incendios bajo ciertas condiciones, no son de combustión

espontánea, ni presentan un punto de inflamación inferior a 60° C. por las razones ante expuesta se considera que los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga no son Inflamables, ni explosivos.

Otros parámetros medidos y determinados para la caracterización del lodo, que se tuvieron en cuenta por ser considerados de gran importancia para seleccionar las mejores alternativas de tratamiento y disposición se presentan en la Tabla 4.7

Tabla 4.7 Caracterización de los lodos en fase líquida de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Parámetro	Unidad	Sedim	Densif
Temperatura	°C	27,00	27,00
Sólidos Totales	mg/l	1.312,00	25.352,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	490,00	9550,00
Sólidos Disueltos	mg/l	822,00	15.802,00
Conductividad	(uS/cm)	655,00	435,00
Alcalinidad	mg/l	52	88
Humedad	%	94,00	92,00
Fósforo Total	mg/l	31,99	1.848,80
Nitrógeno Total	mg/l	119,84	78,40
Aluminio	mg/l	18,21	810,00
Sulfato	mg/l	106,91	355,20
Cloruro	mg/l	698,00	134,57
Manganeso	mg/l	2,23	19,70
Hierro	mg/l	4,61	163,50
Plancton	org/ml	123.280	6720

Sedim: sedimentadores

Densif: densificadores

Con base en los análisis realizados, los lodos de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga son de clase 2, tomando en cuenta que cumplen con las características de este grupo, establecidas en el Decreto 2635:1998, la concentración de sus parámetros no puede causar un envenenamiento masivo, ni perturbación en el ambiente, no son irritantes ni tóxicos por inhalación y su riesgo mayor está relacionado con su condición fluida que dificulta su recuperación en caso de derrame.

Los lodos que se emplean para la presentación de las alternativas de aprovechamiento son los almacenados en el densificador, en vista de las características que los definen, al estar durante más de 6 años acumulados en esta unidad, los parámetros biológicos han sido controlados y las propiedades como nutrientes aportan mejores resultados que los lodos generados en los sedimentadores por tratarse de lodos crudos.

4.3 Análisis de la factibilidad técnica de las bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Según el esquema mostrado en la figura 4.2, la última unidad de tratamiento de los lodos es un espesador por gravedad, lo que implica que se tiene un producto final bajo las condiciones actuales de 95% de humedad; que requiere que cualquier aplicación de reuso incluya previamente un diseño o la inversión en una unidad de estabilización (digestor), luego deshidratación (filtro prensa, filtro banda, lechos de secado) y posteriormente secado térmico.

En vista de que el objetivo principal de la investigación se basa en proponer bioalternativas de aprovechamiento de un material que hasta la fecha es considerado desecho, se capta el material con las características proporcionada en la última unidad del proceso actual (espesador por gravedad) y a medida que se analizan las posibles alternativas de aprovechamiento se detallan los pretratamientos a seguir para la aplicación que se seleccione.

Considerando las características de los lodos provenientes de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, a continuación se presenta un esquema (figura 4.4) que permite identificar la metodología a seguir para la determinación de las posibles bioalternativas de uso.



Figura 4.4 Diagrama de flujo para la determinación de posibles alternativas de aprovechamiento de los lodos generados en la planta Dr. Alejo Zuloaga

En la tabla 4.8 se listan las posibles bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos según las características determinadas, en la misma se detallan las diferentes actividades aptas para ejecutar según cada alternativa planteada.

Tabla 4.8 Clasificación de las bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos.

Bioalternativa	Actividades relacionadas
Energía Biocombustibles	Producción de biogás, incineración con recuperación de calor y/o electricidad, gasificación.
Aditivo para la Agricultura	Producción de cultivos, enmienda de suelos, fertilización de cultivos, control de erosión, producción de forraje, forestación, biorremediación de sitios contaminados.
Aditivo para el compostaje	Compost, sustratos de macetas, producción de panes de césped para jardines, parques y campos deportivos.
Aditivo para la construcción	Suplemento de cemento, ladrillos, bloques y otros materiales de construcción, base de pavimento.

Cabe destacar que todas las alternativas planteadas son aptas para desarrollar, pero en esta investigación se busca proponer y desarrollar a escala piloto la que más se adapta al aprovechamiento de las cualidades del lodo.

Basado en la perspectiva multicriterio, se evaluaron las alternativas considerando los siguientes aspectos: viabilidad técnica (posibilidad de ejecutar la alternativa), rentabilidad económica y eficiencia ambiental (valoración de los impactos ambientales).

Definir cada alternativa

En vista de la gran variedad de alternativas que se pueden proponer para el aprovechamiento de los lodos, se realiza un resumen de las principales que engloban a las diferentes actividades que se pudieran ejecutar, como son:

Tabla 4.9 Cuadro resumen de las principales bioalternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en una planta potabilizadora de agua.

Bioalternativa	Descripción breve de alternativa
Aprovechamiento energético	El aprovechamiento energético se produce mediante la incineración del lodo, la cual consiste en oxidar los materiales combustibles de los residuos, generando energía por medio de las reacciones químicas de las sustancias orgánicas presentes, cuando entran en contacto con el oxígeno y alcanzan la temperatura de ignición necesaria. (European Commission, 2006). El proceso ocurre luego de la combustión en un horno, lo cual hace que el agua que circula por las tuberías de la caldera se transforme en vapor a gran presión, este es llevado a diferentes turbinas según la presión, creando el movimiento de un generador eléctrico que se encarga de transformar la energía mecánica en electricidad, la energía obtenida pasa por equipos que adaptan la intensidad y tensión a la red del sistema. Luego el vapor utilizado anteriormente es condensado y el agua resultante es utilizada para repetir el ciclo térmico (UNESA, s.f).
Aditivo para la agricultura	Una de las alternativas de disposición que se ha incrementado en la última década, es la aplicación directa de este residuo en los suelos para la agricultura, debido a que aumenta el crecimiento de las plantas en los cultivos y el rendimiento, mejora la humedad del suelo y la retención de nutrientes (Rashid, 2006). Así mismo, permite el retorno de los materiales orgánicos en el ciclo biológico, evitar el uso de fertilizantes artificiales y la no contaminación de los suelos por metales pesados, debido a la no peligrosidad de los lodos (Werther & Ogada, 1997). Los parámetros más importantes para definir si el lodo es apto en la agricultura, son humedad, materia orgánica, pH y nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio), porque el lodo influye en el crecimiento de las plantas y en su rendimiento, debido a la mejora en la humedad del suelo y a la retención de nutrientes, evitando el uso de fertilizantes y mejorando las condiciones del suelo.
Aditivo para el Compostaje	El principal objetivo del compostaje es reducir la humedad, el peso y el volumen de los residuos, para obtener un producto llamado compost el cual es aplicado ya sea para la agricultura o la restauración de suelos, que al ser incorporado mejore las propiedades y aporte nutrientes para el sustento de las plantas o cultivos (Alonso, 2003). Es un tratamiento productivo que estabiliza el material orgánico, basado en la degradación del mismo bajo la acción de diferentes microorganismos (Monte et al 2008), en el cual intervienen factores como humedad, disponibilidad de oxígeno, pH, porosidad, temperatura y la relación C/N, los cuáles son determinantes para la eficiencia del proceso y se encuentran en constante cambio debido a las condiciones ambientales en las que se desarrolla la actividad microbiana.
Aditivo para la construcción	Los lodos pueden ser aprovechados incorporándolos en la estructura interna de los materiales de construcción como sustitutos sostenibles de estos, reduciendo su costo de fabricación, sin comprometer su estructura. Investigaciones muestran que adicionar fibras vegetales aumenta la resistencia mecánica, produce materiales compuestos más ligeros y reduce la cantidad de energía utilizada al fabricar los materiales de construcción (Rajput, 2012).

Tabla 4.10 Ventajas y desventajas de las alternativa planteada para el aprovechamiento de los lodos.

Bioalternativa		Ventajas	Desventajas
Aprovechamiento energético		✓ Alto porcentaje de lodo reducido. ✓ Recuperación del contenido energético del lodo a través de la incineración. ✓ Poca área requerida para tratar los lodos	✓ Impide el aprovechamiento de los materiales y nutrientes presentes en el lodo. ✓ Emisión de gases contaminantes a la atmósfera. ✓ Alta inversión de capital en el tratamiento previo
	Aditivo para la agricultura	✓ Mejora las propiedades físicas de los suelos. ✓ Recirculación de los nutrientes. ✓ Reduce la erosión del suelo ✓ Aporta un ahorro doble de energía, la de incineración y la de fabricación de fertilizantes sintéticos. ✓ Recuperación de zonas marginales improductivas. ✓ Capacidad de retención de agua en suelos. ✓ Incrementa la población microbiana. ✓ Mejora del contenido de nutrientes, la capacidad de retención de agua y la porosidad del suelo. ✓ Alto contenido de materia orgánica de los lodos. ✓ Baja inversión de capital.	✓ Requiere de un área extensa para su aplicación. ✓ Amerita conocer las características del suelo a aplicar, así como las condiciones hidráulicas del entorno. ✓ Altos niveles de salinidad y deficiencias del nitrógeno. ✓ La aplicación directa no toma en cuenta la selectividad de los nutrientes aportados
	Aditivo para el compostaje	✓ Reduce el uso de fertilizantes sintéticos. ✓ Reduce grandes porcentajes de masa y volumen, esto hace el compost más adecuado para el uso en el suelo. ✓ Bajos costos de tratamiento.. ✓ Alta velocidad de descomposición. ✓ Alcanza y mantiene altas temperaturas para una higienización de los agentes patógenos.	✓ Se generan malos olores si se ejecuta inadecuadamente el tratamiento. ✓ El balance inadecuado de nutrientes es un factor que puede dificultar el compostaje. ✓ Bajo contenido de m.o y humedad. ✓ Se generan malos olores si se ejecuta inadecuadamente el tratamiento. ✓ Alto costo de energía para una correcta aireación.
	Aditivo para la construcción	✓ Encapsulamiento de metales. ✓ Refuerza la estructura mecánica del ladrillo. ✓ Mayor resistencia y durabilidad del producto final. ✓ Se reduce la cantidad de energía utilizada para fabricar los materiales de construcción (mejor eficiencia energética). ✓ La ceniza resultante de la incineración permanece en el producto.	✓ Emisión de gases durante la cocción, ya sean inorgánicos u orgánicos volátiles. ✓ Alta inversión de capital para la fabricación de materiales. ✓ Emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Tabla 4.11 Matriz de selección de la alternativa más adecuada para el aprovechamiento de lodos generados en la planta Dr. Alejo Zuloaga.

Criterios	Peso	Alternativas							
		P1		P2		P3		P4	
A	9	2	18	4	36	3	27	2	18
B	10	3	30	4	40	4	40	2	20
C	6	4	24	5	30	3	18	3	18
D	8	1	8	4	32	3	24	3	24
		80		138		109		90	

Criterios para la selección de la alternativa para el aprovechamiento del lodo.

- A: Requerimiento de pre-tratamiento
- B: Aprovechamiento de propiedades
- C: Espacio requerido
- D: Personal calificado

Identificación de las propuestas

- P1: Aprovechamiento energético.
- P2: Aditivo para la Agricultura.
- P3: Aditivo para el compostaje.
- P4: Aditivo para la construcción.

En la tabla 4.11, se observa que la alternativa P2, presenta la mayor ponderación en cuanto al requerimiento de un pre-tratamiento para su aplicación, en vista de que el lodo para el uso agrícola se puede aplicar sin disminuir la humedad inicial a diferencia de las alternativas de P1 y P4 que es fundamental disminuir la humedad para poder procesarlos y en el caso del P3 el pre-tratamiento que se le debe dar al lodo es básico para la construcción de las pilas de compostaje.

En cuanto al aprovechamiento de las propiedades del lodo, las alternativas P2 y P3 son la que poseen mayor ponderación debido a que con la implementación de las mismas se estaría tomando provecho de las cualidades y nutrientes presente en los lodos, la cual es de carácter social y ambiental. De acuerdo al grado de importancia le sigue la P1, con una ponderación de 3, en vista de que aprovecharían los lodos para la producción de energía y biocombustible. La alternativa P4 presentó la menor ponderación debido a que mayoría de las propiedades del lodo como los nutrientes y metales, quedan encapsulados en el material de construcción.

En relación al espacio requerido se le asignó la mayor ponderación a la alternativa P2, ya que la misma no requiere un espacio definido para su ejecución y se cuenta con un área aproximada de 5 hectáreas, disponible en la planta Dr. Alejo Zuloaga, seguido de la incineración con aprovechamiento energético que el requerimiento de área es menor pero con una planificación detallada del mismo, en el caso del compostaje y como aditivo para construcción se les asignó 3, debido a que se requiere de un área específica para su ejecución

Con respecto al personal calificado requerido, se le asignó la máxima ponderación (5) a la aplicación para la agricultura, en vista de que se podrían realizar las siembras y mantenimientos mediante el personal de planta. Siguiendo el mismo grado de importancia, se encuentran las alternativas P3 y P4, con una ponderación de 3, ya que se necesita de personal con mayor grado de instrucción para el monitoreo y control del proceso, como operarios, analistas, entre otros. Por último, se encontró que para la P1, ya que al momento de implementar la misma, se requiere de un personal con mano de obra calificada, para el diseño e implementación de la propuesta, como ingenieros, analistas, entre otros.

Con base a los resultados obtenidos en la matriz de selección, la alternativa más adecuada para el aprovechamiento de los lodos producidos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga es la P2, uso como aditivo para la agricultura.

4.4 Desarrollo a escala piloto de la propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Tomando en cuenta los resultados de los objetivos anteriores, se procede a desarrollar la bioalternativa más viable para el aprovechamiento de los lodos generados, la misma se realiza a escala piloto en las instalaciones de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DR. ALEJO ZULOAGA COMO ADITIVO AGRÍCOLA EN EL CULTIVO DE AJÍ

El proceso de potabilización de agua de la planta Dr. Alejo Zuloaga, de la empresa C.A Hidrológica del centro (HIDROCENTRO), genera aproximadamente un total de 12.600,58 kg/día de lodos residuales, provenientes del proceso de coagulación-floculación, sedimentación y el

retrolavado de los filtros, los mismos se encuentran almacenados en densificadores y hasta la fecha carecen de un plan de aprovechamiento.

Con el objeto de desarrollar una alternativa para el uso de los lodos generados, se realizó un diseño experimental empleándolos como aditivo agrícola en el cultivo de ají a fin de evaluar la influencia que presentan en el crecimiento de los cultivos en relación con el mismo tipo de especie sembrada en condiciones normales del suelo (sin aplicar lodo); para dicha evaluación se tomó como referencia una serie de criterios físicos como color, altura, calibre del tallo, cantidad de hojas, entre otras y al comparar los resultados de los parámetros medidos, se determinó que el cultivo de ají con lodo presentó mejores resultados de crecimiento en comparación con las que carecían de este.

El propósito del proyecto se basó en el aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, como aditivo agrícola en el cultivo de ají y su importancia radica en el hecho de aprovechar el material orgánico rico en nutrientes para el desarrollo de plantas además de recuperar espacios dentro de la empresa potabilizadora.

Este estudio representa un aporte significativo en la conservación del ambiente, debido a la disminución de desechos que comúnmente son almacenados o descargados a las fuentes de agua.

DATOS INFORMATIVOS

Institución ejecutora: Hidrológica del centro (HIDROCENTRO).

Beneficiarios: El sector agrícola e industrial, comunidad en general.

Ubicación: Valencia Edo. Carabobo.

Tiempo para la ejecución: 6 meses.

Inicio: abril de 2016.

Final: septiembre de 2016.

Equipo técnico responsable: Ing. Carmen Rodríguez, personal técnico y de mantenimiento de planta Dr. Alejo Zuloaga.

JUSTIFICACIÓN

La protección del ambiente es uno de los mayores retos que se enfrenta hoy la humanidad; en todos los niveles, el ambiente se encuentra seriamente comprometido y amenazado por el

hombre, particularmente, el inadecuado tratamiento de los desechos industriales es un ejemplo fiel de lo antes expuesto.

Actualmente en el país, las empresas potabilizadoras de agua no disponen de un mecanismo definido para la utilización y aprovechamiento de los lodos generados durante el proceso industrial, por esta razón, es esencial buscar opciones enfocadas en el empleo de dichos residuos, los cuales, en lugar de impactar negativamente, le proporcionen beneficios al ambiente y a la comunidad en general. El empleo del lodo como aditivo agrícola es la propuesta que mejor se adapta al aprovechamiento de las propiedades de este residuo.

Este proyecto generará un aporte significativo en la conservación del ambiente debido al aprovechamiento de las propiedades del lodo en el desarrollo de plantas y, de esta manera, hacer frente a la problemática ambiental que ocasiona la disposición final de estos desechos.

OBJETIVO

Aprovechar los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga como aditivo agrícola en el cultivo de ají.

MODALIDAD BÁSICA DEL PROYECTO

La presente investigación presenta una modalidad experimental debido a que permitirá la utilización de los lodos como aditivo para la agricultura en el cultivo de ají, aprovechando los nutrientes que este material aporta para el buen desarrollo de la planta. De igual manera, se complementa mediante información bibliográfica con respecto a las especificaciones técnicas del cultivo y los nutrientes requeridos.

Así mismo, es de campo, tomando en cuenta que se evalúa in situ, en el tiempo que dura la investigación, el óptimo crecimiento de las plantas con la adición de lodos residuales y en condiciones normales (sin aplicar lodo).

FUNDAMENTOS TEORICOS

Características del cultivo

Ají (*Capsicum annuum*), el cual se caracteriza por ser de pequeño tamaño, de unos 5 centímetros, de forma irregular, un poco redondeada y de colores variados, dependiendo de su grado de maduración: verde, amarillo, anaranjado y rojo, lo que no modifica apreciablemente su

sabor; es un cultivo tradicional en Venezuela y de gran demanda en el mercado regional, sin embargo, la producción es estacional, con mayor oferta de frutos durante la época de invierno.

✓ **Botánica del ají**

El ají pertenece al género *Capsium*, de la familia de las Solanáceas (tabla 4.12). Las variedades cultivadas de la especie *Capsicum annum* L. pertenecen a varias subespecies o variedades botánicas.

Tabla 4.12 Clasificación taxonómica del ají

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Capsicum annum</i> L.

✓ **Morfología**

La planta de ají es un pequeño arbusto de crecimiento indeterminado, existen casos donde llegan a alturas máximas de 1,6 m a los 10 meses de edad y otros donde la planta es de porte bajo (raquíticas) que no superan los 0,80 m de altura. Presenta un tallo frágil, erecto y herbáceo, con ramas que se subdividen en dos partes, sus hojas son grandes y de color verde intenso brillante, con forma oblonga (más largas que anchas). El sistema radical inicia con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m, las flores son de color blanco o blanco amarillentas y el fruto es una baya hueca que, dependiendo de la posición del pedúnculo, erecto o abatido y el peso del fruto, va a desarrollarse total o parcialmente erguido o en péndulo (FAO, 2013).

La estructura del fruto se muestra en la figura 4.5, donde se representa las partes que lo integran, la baya hueca, semicartilaginosa, de tamaño variable, donde las semillas se encuentran en una placenta cónica de disposición central. El grosor del pericarpio es una de las características importantes para la valoración de las variedades y el consumo de la especie.

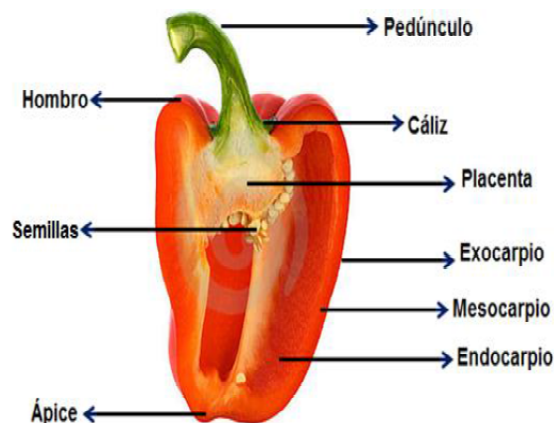


Figura 4.5 Estructura interna del ají

Germinación y etapas de crecimiento de la planta

El ají exige humedad, aireación y temperaturas específicas para lograr una eficiente germinación de las semillas, las cuales aseguran un buen crecimiento vegetativo en los primeros estadios del desarrollo de la plántula y proporcionan un buen prendimiento de la planta después del trasplante.

La aparición de la radícula evidencia la germinación de la semilla que se ve influenciada por factores como la temperatura, agua, oxígeno y presencia de luz. El estado de la plántula queda delimitado entre los 30 a 40 días después de la siembra, tiempo requerido para ser trasplantada, otro criterio para el trasplante es que tenga de 12 a 15 cm de alto con un tallo de 5 a 7 mm de grosor y entre 4 o 5 hojas, lo que ocurre entre 18 y 28 días (Mundarain, 2005).

Componentes de la calidad del ají

Los múltiples usos del ají, permiten considerar un gran número de atributos como indicadores de su calidad. No obstante, en las normativas más utilizadas destaca el calibre (grosor), el color y la firmeza como indicadores de la madurez. Estas características se pueden relacionar con el grado de aceptación por los consumidores (Sethu y col., 1996).

La textura, es un atributo de calidad importante para los consumidores. Por lo que se puede definir a las propiedades texturales de un alimento como: grupo de características física que son detectadas por la sensación del tacto. Estas propiedades pueden ser mecánicas (dureza,

masticabilidad y viscosidad), geométricas (tamaño de partícula y la forma) o químicas (contenido de humedad y grasa) (Sams, 1999).

La firmeza es un indicador de calidad que está claramente relacionado con el tiempo de conservación de alimentos principalmente en frutas y hortalizas. Por esta razón, la firmeza es deseable para productos que tienen que viajar largas distancias antes de llegar a los consumidores (Urrestarazu y col., 2002).

El color es la base para la clasificación de muchos productos en niveles de calidad comercial, y se relaciona directamente con la percepción del consumidor.

El grosor de la pared (pericarpio), es otra característica que provee la calidad del ají, ya que el ají de carne gruesa responde a los incrementos de radiación, mejorando su tamaño y peso del fruto y en consecuencia el grosor de la pared de la hortaliza.

Para que los ajíes se consideren de calidad deben ser firmes, enteros y sanos, lo que significa que no presenten enfermedades, daños físicos, mecánicos, fisiológicos y fitopatológicos.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES

A continuación se describen las actividades desarrolladas para el cultivo de ajíes en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, Valencia, Edo. Carabobo.

Selección del terreno

El terreno seleccionado para la implementación de la propuesta fue un área de 15m² de la planta Dr. Alejo Zuloaga, representada en la figura 4.6, ubicada en el sector San Luis, del municipio de Valencia, del Estado Carabobo.

Cabe destacar, que dicho terreno se dividió en dos (2) bloques, en el primero se agregó lodo como sustrato para la siembra y en el segundo se sembró directamente la planta sin agregar ningún aditivo, con la finalidad de observar diferencias en el comportamiento del cultivo bajo estas condiciones.



Figura 4.6 Terreno de la planta potabilizadora seleccionado para el cultivo

✓ **Aspectos climatológicos y geográficos de la zona**

La zona seleccionada para la ejecución de la propuesta, tiene una precipitación anual de 660 mm, con temperaturas promedios de 27-30C. El suelo experimental tiene una textura franco-arcillosa, con un pH ligeramente alcalino (Vitalis, 2013). El terreno es abastecido con agua proveniente de una toma de agua cruda (Pao Cachinche) cuya caracterización se encuentra en la tabla 4.2.

Construcción del semillero o almácigo.

Para esta actividad se utilizó el corte transversal de una tubería de PVC en desuso, de 1,5 m de longitud, la cual se perforó en la base para garantizar un buen drenaje, se apoyó sobre bloques y se ubicó en un lugar soleado y despejado. Se agregó lodo hasta una altura de 15 cm, aproximadamente, previamente seco y a continuación, se procedió a introducir las semillas seleccionadas de ají, mostradas en la figura 4.7, dejando una separación aproximada de 5cm entre éstas. Este procedimiento se detalla en la figura 4.8.



Figura 4.7 Semillas empleadas para la siembra de ajíes

El objetivo de construir un buen semillero es garantizar los mejores cuidados y condiciones en la primera etapa del desarrollo de la planta, como lo es la germinación, para que pueda crecer sin dificultad hasta que la plántula esté lista para el trasplante.



Figura 4.8 Elaboración de un semillero con material reciclado

Germinación y primera etapa de crecimiento de la planta antes de trasplantar

En la figura 4.9 se muestran las condiciones del semillero desde la primera semana hasta la cuarta semana, observando la evolución de la plántula antes de ser trasplantada. En el primer

mes la planta, en el bloque 1, obtuvo un promedio de crecimiento de 14cm de alto con un tallo de 6mm y en su gran mayoría presentaron la formación de 5 hojas; en el caso del bloque 2, las plantas presentaron crecimiento de 13cm de alto con tallos de 5mm y la formación de 5 hojas.



Figura 4.9 Evolución del semillero de ajíes desde la semana #1 hasta la # 4.

Trasplante y asiento de las plantas.

Una vez que las plantas del semillero tienen el tamaño adecuado (13cm aproximadamente) se extrajeron del semillero y trasplantaron al terreno seleccionado. La extracción de la planta se realizó cuidadosamente, para evitar dañar las raíces y se seleccionaron las mejores.

El bloque 1 se acondicionó con seis carretillas de lodo y en el bloque 2 solo se removió la capa superficial del terreno; en ambos se sembró la misma cantidad de plantas haciendo surcos y dejando el espacio necesario entre ellas (aproximadamente 20cm). Adicionalmente, se regaron con agua cruda a diario, sin excederse, en horas de la mañana por lo general. Estas actividades se aprecian en la figura 4.10.



Figura 4.10 Trasplante y siembra de las plantas de ajíes en el área acondicionada con lodo.

Evolución del cultivo

Una vez trasplantadas, las plantas se monitorearon cada tres días realizando las mediciones de las principales características físicas como: el grosor del tallo, altura, floración, formación del fruto y cosecha, dicha evolución se presenta en la figura 4.11. Donde se evidencia que tanto para el bloque 1 como para el 2, se cumplen las etapas fundamentales del desarrollo del cultivo.

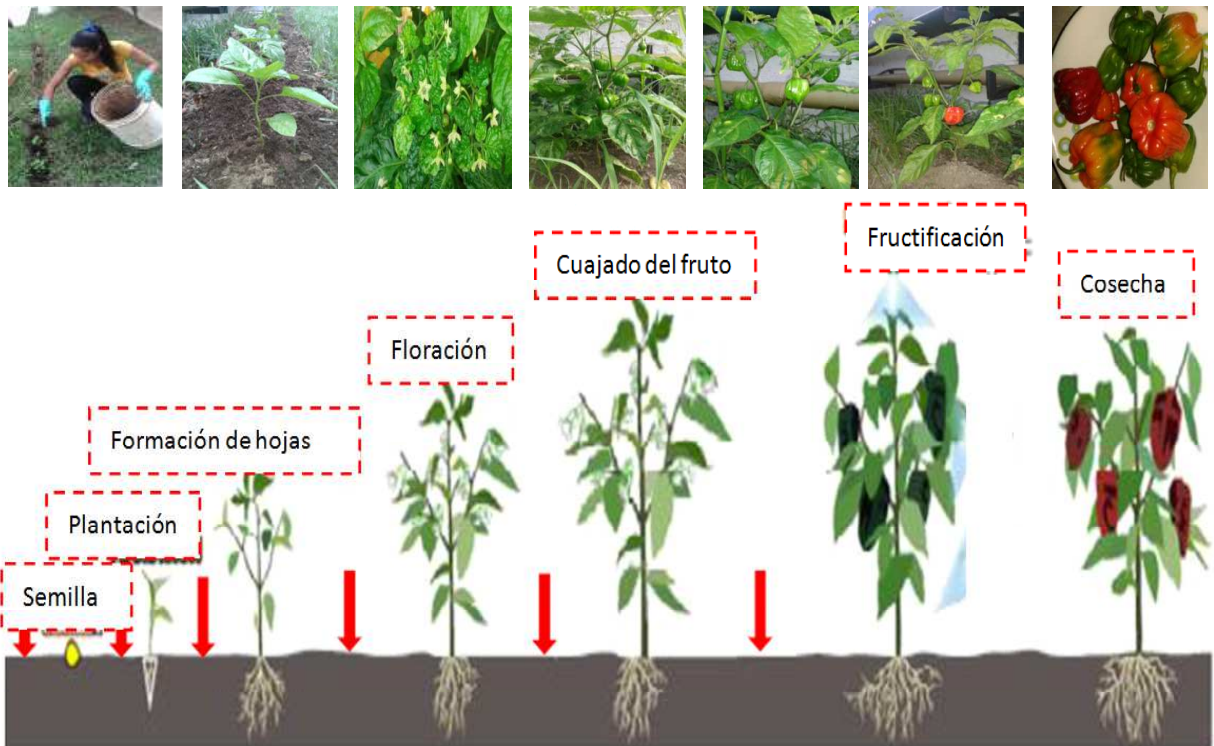


Figura 4.11 Etapas de evolución del cultivo de ají.

Comparación entre el cultivo de Ajíes en las condiciones del bloque 1 y 2.

Para realizar la comparación entre los dos bloques cultivados se procedió a tabular las características más resaltantes desde la etapa de germinación hasta la cosecha del fruto. Los valores expresados en la tabla.4.12, son el resultado del promedio de la producción de ajíes cultivados, en la planta Dr. Alejo Zuloaga, desde el mes de abril hasta septiembre del 2016, se tomó como referencia los valores presentados por CEDEPAS-INCAGRO, (2003) en el manual del productor, donde recopila las características físicas del cultivo de ají y a la vez sirve de base en este proyecto para comparar entre el desarrollo del cultivo en los dos bloques señalados.

Tabla 4.12 Comparación de las características teóricas y prácticas del cultivo de ají

Características		Valor de referencia *	Bloque 1	Bloque 2
Tiempo de germinación (días)		3 - 6	4	4
En el primer mes de germinación (plántula)	Grosor del tallo (mm)	5 - 7	6	5
	Tamaño (altura) (cm)	12 - 15	15	13
	Cantidad de hojas (unidades)	4 - 5	5	5
Floración		Flores blancas	Flores blancas	Flores blancas
En el tercer mes	Grosor del tallo (mm)	-	20	16
	Tamaño (altura) (cm)	30 - 100	100	50
	Color de hojas	Verde	Verde brillante	Verde mate
Humedad (%)		80 - 95	90	88
Color		Verde, amarillo, anaranjado y rojo	Verde, anaranjado y rojo	Verde, anaranjado y rojo
Grosor de pared del fruto (mm)		30 - 50	50	30
Cantidad de frutos por planta (promedio)		-	5	3

* CEDEPAS-INCAGRO. 2003

DISCUSIONES DE RESULTADOS

Con base a los valores representados en la tabla 4.11, se constató que, tanto el cultivo del bloque 1 como el del bloque 2 presentaron características físicas dentro del rango expuesto en el manual del productor CEDEPAS-INCAGRO (2003). Estas características se relacionan con el grado de aceptación de los consumidores.

Por otra parte, al comparar las características físicas de desarrollo, entre los dos bloques, se obtuvo diferencias significativas en cuanto al grosor del tallo y altura de la planta a los 3 meses, donde el bloque 1, presenta ventaja en el crecimiento y proporciona mayor rigidez en la planta, debido a los nutrientes aportados por el lodo generado en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

Con respecto al color del fruto de ambos bloques, no se observaron diferencias significativas, tanto los sembrados en el lodo, como los de condiciones normales, presentaron coloraciones verde, anaranjado y rojo según el grado de madurez del fruto. Cabe señalar, que se evidenció mayor brillo en los cosechados en el bloque 1.

El grosor de la pared (pericarpio), es otra característica que provee la calidad del fruto, ya que el ají de carne gruesa responde a los incrementos de radiación, mejorando su tamaño y peso, y en consecuencia el grosor de la pared de la hortaliza. En el caso específico del los ajíes cultivados con el lodo se evidenció mayor carnosidad y por ende mayor tamaño y peso del fruto. (Figura 4.12)

En cuanto a la apariencia en general de la cosecha de ají, cabe destacar que los nutrientes que le aporta el lodo al desarrollo de la planta, entre los que se encuentra el nitrógeno, fosforo y materia orgánica, es significativo y proporciona mayor tamaño de los frutos y más cantidad de especies cosechadas en el mismo lapso de tiempo que los producidos sin aplicar el lodo.

Otra observación que se verificó en el desarrollo de la propuesta es la carencia de plagas o enfermedades en las plantas o frutos, no se evidenciaron daños físicos ni mecánicos en las etapas del cultivo.



Figura 4.12 Características físicas del ají a) Tamaño, b) Color, c) grosor de pared.



Figura 4.13 Determinación de la humedad del cultivo de ají.



Figura 4.14 Diferencias de tamaño de planta y frutos entre el bloque 1 y el 2

CONCLUSIONES

- ✓ Los lodos generados en la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga no son aprovechados en la actualidad, solo son dispuestos en unidades espesadoras.
- ✓ La producción de lodos en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, según cálculos experimentales, es de 12.600 kg/día equivalente a 12,6 TM/día aproximadamente.
- ✓ Los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, según la normativa nacional (Decreto 2635 publicado en la gaceta oficial extraordinaria N° 5245 de fecha 3 de agosto de 1998) no son peligrosos, luego de determinar el análisis CRETIB.
- ✓ Los lodos generados en los sedimentadores son ligeramente ácidos y los almacenados en los densificadores son de pH neutro característica fundamental para su aprovechamiento.
- ✓ La concentración de metales pesados en los lodos generados en la potabilizadora están en un orden aceptados por la normativa nacional e internacional, por tal motivo no son considerados tóxicos o peligrosos.
- ✓ La bioalternativa que mejor se adapta al aprovechamiento de los nutrientes presentes en el lodo es el de uso agrícola y recuperación de suelos.
- ✓ Los lodos caracterizados presentan un alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, por lo que aporta fertilidad al suelo.
- ✓ La implementación de los lodos generados en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga en la agricultura mediante el cultivo de ajíes arrojó buenos resultados, en cuanto al crecimiento, producción y cosecha del alimento.

- ✓ Las características físicas como altura, grosor del tallo, floración, color y apariencia del cultivo de ajíes en el lodo generado en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga entran en el rango establecido por la referencia bibliográfica (manual del productor, cultivo de pimiento y ajíes)

- ✓ La condición física y características de las plantas y frutos (ajíes) cosechados en el lodo generado en la potabilizadora presentan una diferencia positiva, aproximadamente de un 50% en relación a los cultivados sin el lodo.

RECOMENDACIONES

Con base en el desarrollo de la presente investigación se describen las siguientes recomendaciones:

1. Ampliar el diseño experimental para evaluar la factibilidad técnica de cada una de las alternativas planteadas.
2. Realizar un plan de muestreo de los lodos más detallado, incluyendo más días de monitoreo y periodos de captación, tanto el período de lluvia como el de sequía para observar los cambios que esto podría ocasionar en la generación de lodos de la planta potabilizadora.
3. Proponer un pretratamiento al lodo para eliminar la mayor cantidad de humedad y ampliar la gama de alternativas de uso.
4. Mantener actualizado el monitoreo de los lodos generados, presentando un informe, al menos anual, referente al comportamiento y posibles descargas o disposición de los mismos.
5. Incrementar pruebas para la caracterización del lodo y verificar efectos secundarios a la salud, al suelo y aguas subterráneas.
6. Involucrar tanto a entes competentes, como a la comunidad en general, con el fin de contribuir al aprovechamiento de un residuo industrial, con jornadas comunitarias que logren integrar a la sociedad y a su vez mejorar su calidad de vida. (programas de saneamiento ambiental).
7. Se recomienda evaluar la posibilidad de aplicar la metodología del aprovechamiento de los lodos generados como aditivo para la agricultura en otras plantas potabilizadoras del país.

La necesidad de investigación en esta área es de alto interés estratégico tanto para la economía del país, la comunidad en general y el medioambiente, lo que abre posibilidades de:

- Mejoras o cambio tecnológico en las faenas de la producción agrícola de un gran abanico de rubros.
- Investigación, desarrollo e innovación de pruebas de laboratorio y en campo para la evaluación de los cultivos y de cambios que se pueden presentar en el suelo en estudio.
- Integración y acuerdos entre las universidades, la empresa pública, privada y la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO y colaboradores. (2003) **Manual para la gestión de los residuos urbanos**, Madrid, Ecoiuris.
- ARBOLEDA J. (2000) **Teoría y Práctica de la Purificación del Agua**, Mc-Graw Hill, Colombia.
- APHA, AWWA y WEF, (2010). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- BARRIOS, Maritza. Gutiérrez, L. Becerra, L. Vásquez, E. Orellana, A. (1998) **Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales**. Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- CEDEPAS-INCAGRO. (2003) **“Cultivo de pimiento y ajíes” manual del productor**. Guía didáctica, volumen: 1-004.
- COVENIN 2709: 2002 **Guía para las técnicas de muestreo de aguas naturales, industriales y residuales**. Venezuela.
- CONESA, F. (1997) **Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa**. Madrid, Mundi-Prensa.
- DÍAZ, Ibarra y colaboradores (2010). **Aplicación de lodos de procesos de potabilización como mitigantes de la sodicidad en suelos agrícolas**. México.
- European Commission (2006), Waste Incineration. Europa.

Environmental Protection Agency (EPA). Land Application of Sew age Sludge. *Standards for the use or disposal of sewage sludge* EPA/b- 93- 002b. 40 CFR Part 503. Washington USA. 59, 1994.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2001). **Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícolas.**

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 38.692 (2007). **Ley de Aguas.** Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 38.692. (2007). **Ley Orgánica del Ambiente promulgada en 2006.** Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.453 (2000). **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, 1999.** Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.021 (1995). **Decreto 883 Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.** Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.554 (2001). **Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (Ley 55).** Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.245 (1998). **Decreto 2635 Norma para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos.** Caracas, Venezuela.

GARCÍA C, Cristian (2014). **Tratamiento de efluentes para la Planta de Potabilización de Agua Los Cuervos en el Municipio de Chinchiná.** Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.

JACKSON M. L. (1970) **Análisis químico de suelos.** 2ª Ed. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España.

- HURTADO, Jackeline (2006). **El proyecto de investigación**. Cuarta edición. Editorial Sypal. Bogotá.
- MARTÍNEZ C, Marco Vinicio (2012). **Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final de los lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable**. Quito, Ecuador.
- METCALF y EDDY (1995). *Ingeniería de aguas residuales "Tratamiento, vertido y reutilización"*. España: McGraw-Hill.
- MUNDARAIN S, Coa M. (2005). **Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce**. Revista UDO Agrícola. 5: 62-67.
- ORTEGA, J., CARVAJAL, A (2014). **Gestión de lodos producto de la potabilización de agua y recuperación del agua utilizada en el lavado de filtros y sedimentadores en la planta de tratamiento de Puengasí de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento**. Quito. Ecuador.
- RAIGOSA, Mario (2012). **Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización de agua de los municipios del Departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio**. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales.
- Ramírez, (2008). **Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias química en agua y suelo**. Instituto Nacional de Ecología. México. Disponible en: www.ine.gob.mx. Consultado el 3 de Abril de 2015.
- Rajput, D., Bhagade, S.S., Raut, S.P., Ralegaonkar, R.V & Mandavgane, S.A. *et al*, (2012). **Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material**, *Construction and Building Materials*, 34, 470-475.

- Rashid, M.T., Barry, D. & Goss M. (2006). **Paper mill biosolids application to agricultural lands: benefits and environmental concerns with special reference to situation in Canada**, *Soil and Environment*, 25, 85-98.
- Real Academia Española. (2001). **Diccionario de la lengua española** (22.a ed.). Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>
- República Bolivariana de Venezuela (2001). **Ley N° 55: Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos**. Gaceta Oficial N° 5.554 del 13 de Noviembre del 2001.
- SANDOVAL, L., Flórez L.M., Motellano L., Morán, M.A., Rubí, R., Sánchez, L., Santana, M.L., Vásquez, S., Martín, A. (1998) **Tratabilidad de los Lodos Producidos en la Potabilización del Agua**. Seminario Regional Bienal sobre Potabilización Filtración. Septiembre de 1998. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México.
- Sams. C.E (1999). **Preharvest factors affecting postharvest Biology and technology**. 1S: 249 - 254.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). **Agua potable, Diversidad biológica y Desarrollo: Guía de prácticas recomendadas**. Montreal, 41 + iii páginas.
- Un Water (2014). **Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo**. Organización para las Naciones Unidas para la educación la ciencia y la cultura.
- Urrestarazu. M; Castillo J; Salas M (2002) **“Técnicas culturales y calidad del pimiento”**. Departamento de producción Vegetal. Universidad de Almería. Horticultura; S.L
- WERTHER, J. & Ogada, J. (1997). **Sewage sludge combustion, Progress in energy and combustion science**. 25, 55-116.
- ZAMBRANO M, Khaterine; Galvis V, Edgar (2012). **Identificación de las alternativas de uso ambiental de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas la llana-campo 23, superintendencia La Cira Infantas, Ecopetrol**.

APÉNDICE A

En esta sección se presentan la recopilación de los datos experimentales necesarios para el desarrollo de la investigación

Datos Referenciales

Tabla A.1 Promedio del caudal mensual para el año 2015 de planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Mes	Caudal (l/s)
Enero	4099,00
Febrero	4041,00
Marzo	4011,84
Abril	4010,75
Mayo	3753,22
Junio	3802,92
Julio	4027,87
Agosto	4108,46
Septiembre	4039,43
Octubre	4103,90
Noviembre	4004,15
Diciembre	4002,42
PROMEDIO	4000,41

Tabla A.2 Promedio del consumo de Sulfato de Aluminio Líquido para el año 2015 en planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Mes	SAL (mg/l)
Enero	64,00
Febrero	65,00
Marzo	63,00
Abril	63,00
Mayo	64,00
Junio	68,00

Julio	69,00
Agosto	64,00
Septiembre	65,00
Octubre	66,00
Noviembre	63,00
Diciembre	66,00
PROMEDIO	65,00

Tabla A.3 Características de diseño del sistema convencional de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga

Etapas de Tratamiento			
SISTEMA CONVENCIONAL			
Rompecarga			
Tipo y N° de Unidades	Dimensiones	Condiciones de Operación	Requerimientos (en caso de estar en malas condiciones)
1	L = 8,23 m A= 7,64 m H= 4,60 m	Operativa.	Rehabilitación.
Venturi			
Tipo y N° de Unidades	Dimensiones	Condiciones de Operación	Requerimientos (en caso de estar en malas condiciones)
N° de unidades: 1 Marca: Universal Venturi. BIF; Modelo: 11VT; Serial: 15522 l.	Presion = 3Lbs/in Talla = 48x38,800Pulg.	Operativa.	
Mezcla Rapida			
Tipo y N° de Unidades	Dimensiones	Condiciones de Operación	Requerimientos (en caso de estar en malas condiciones)
Hidráulica, N° de unidades:Una(01) sección rectangular.	L = 9,160 m A = 3,20 m Profundidad = 3,50 m V de agua = 103 m ³	Operativa.	
Floculacion			
Tipo y N° de Unidades	Dimensiones	Condiciones de Operación	Requerimientos (en caso de estar en malas condiciones)
Mecanica. N° de unidades: cinco (05) unidades rectangulares por cada sedimentador en total quince (15) celdas.	L = 20 m A = 18,20 m Profundidad = 3,50 m Altura de Agua= 3,20 m V de Agua de c/u = 1165 m ³ Periodo de Retencion = 19,4 min.	Operativa: cinco (05) unidades.	Se requiere la reparacion de doce (12) floculadores.
Sedimentacion			
Tipo y N° de Unidades	Dimensiones	Condiciones de Operación	Requerimientos (en caso de estar en malas condiciones)
Gravedad. N° de unidades:tres (03) unidades rectangulares.	L = 65 m A = 20 m Profundidad = 3,50 m Altura de Agua = 3,15 m V de Agua de c/u = 4095 m ³ Periodo de Retencion = 1 H 8 min.	Operativa.	Se requiere reparar los barrelados de los Sedimentadores #1 y #3. Se requiere corregir fisura en Sedimentador # 3.

Tabla A.4 Características fisicoquímicas del agua cruda que ingresa a la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

PARAMETRO	MES DE EVALUACION/AÑO 2013											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Coliformes totales, (NMP/100 mL)	1051	2076	4503	4775	4044	2219	5178,2	2864,2	1085,1	5496,1	1972,2	2865
Coliformes fecales, (NMP/100 mL)	684	1435	3100	939	1432	270	275,2	300,78	478	3692,4	1253,1	1579
B.A.M. (U.F.C. / 100 mL)	1750	41486	18493	4227	3183	2788	7150	2763,2	7227,1	18819,5	12882,2	31,23
Plancton, (org/mL)/ USA	12236	11654	13020	14168	10268	9911	13653	10473	1335	12853	11621	12296
N.Amoniacal, (mg NH ₃ -N/L)	1,655	2,889	4,603	4,634	3,236	3,223	2,974	3,492	2,292	2,159	0,635	1,067
Fosforo, (mg P/L)	0,400	0,630	0,558	0,818	0,584	0,529	0,709	0,913	1,287	0,607	0,571	0,750
Color real (Unid.Pt/Co)	17,5	15,0	20,0	40,0	30,0	30,0	30,0	30,0	70,0	60,0	60,0	45,0
Turbiedad (NTU)	2,90	3,97	4,97	5,9	13,4	5,1	9,6	11,6	12,2	17,8	9,6	9,5
pH	7,25	7,21	7,17	7,09	6,60	6,91	7,2	7,1	7,1	7,4	7,2	6,9
Temperatura (°C)	23,5	25,05	26,4	24,40	25,10	25,95	23,6	25,6	26,0	23,5	23,7	24,3
Cloruros (mg/l)	16,94	24,92	29,39	31,13	22,31	30,88	30,6	29,5	20,3	26,0	21,2	25,7
Sulfatos (mg/l)	32,89	45,34	45,23	37,84	57,02	13,56	41,5	30,3	40,1	35,2	19,5	34,7
Aluminio (mg/l)	0,442	0,006	0,010	0,016	0,013	0,011	0,018	0,019	0,017	0,020	0,011	0,016
Hierro Total (mg/l)	0,24	0,16	0,17	0,06	0,18	-	-	0,04	0,10	0,07	0,38	0,29
Fluoruros (mg/l)	0,217	0,226	0,155	0,000	0,024	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
Nitritos (mg/l)	0,05	0,09	0,07	0,04	0,05	0,18	0,04	0,05	0,04	0,02	0,06	0,06
Nitratos (mg/l)	8,14	18,70	15,84	13,64	17,60	12,98	19,14	21,78	15,84	10,78	16,28	6,82
Calcio (mg/l)	22,00	29,88	29,08	32,00	26,96	22,72	35,28	32,24	27,24	32,28	28,60	34,12
Magnesio (mg/l)	15,21	12,27	14,09	11,43	18,09	9,81	11,34	16,78	18,77	18,57	19,25	21,07
Sulfuros (mg/l)	0,020	0,016	0,022	0,031	0,015	0,014	0,024	0,022	0,022	0,021	0,000	0,000
Silicio (mg/l)	16,65	15,87	17,55	9,64	13,79	10,06	17,06	13,43	19,03	15,70	16,63	20,85
Sodio + Potasio (mg/l)	28,05	33,03	52,03	43,35	50,61	33,71	31,36	15,53	25,29	15,44	12,75	4,23
Dióxido de Carbono (mg/l)	10,86	11,68	14,54	18,11	62,11	22,87	16,64	11,19	27,21	12,41	13,00	54,27
Cobre (mg/l)	0,054	0,135	0,075	0,045	0,095	0,055	0,000	0,065	0,150	0,070	0,095	0,095
Dureza Total (mg/l)	118,40	125,84	131,40	127,61	142,76	97,66	111,47	102,14	105,45	109,66	108,79	121,89
Alcalinidad Total (mg/l)	98,25	93,45	116,35	103,99	113,28	92,63	117,22	139,07	138,78	139,15	104,00	110,79
Fosfato (mg/l)	1,30	1,65	1,53	1,98	1,85	1,06	2,12	2,44	1,94	2,13	1,10	1,15
Conduct. Esp. a 25 °C	359,4	364,0	329,6	453,5	418,3	337,0	427,8	478,2	329,3	384,8	337,2	379,7
Minerales Disueltos (mg/l)	230,00	254,75	303,73	269,37	302,05	213,36	284,37	276,85	289,50	290,37	221,93	251,40
Índice de Langelier	-0,619	-0,500	-0,480	-0,523	-1,065	-0,870	-0,307	-0,403	-0,411	0,005	-0,444	-0,641

APÉNDICE B

En esta sección se presentan detalladamente los diferentes cálculos y ecuaciones que sirvieron de base para la determinación de parámetros fundamentales de la investigación

Cálculos típicos

1. Determinación del volumen de lodo producido en el proceso de potabilización.

$$S = 86,4 * Q (0.44Al + SS + A) \quad \text{Ecu. B.1}$$

Fuente: CONAGUA 2007.

Dónde:

S: Lodos Producidos (kg/día)

Q: Caudal de ingreso a la Planta (m³/seg)

Al: Dosis de aluminio seco (mg/l)

SS: sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/l)

A: Otros aditivos (Polímeros, arcilla Carbón Activado) (mg/l)

Fuente: "Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria". American Water Works Association. Estados Unidos. 2002

Variables	Valor	Unidades	Observaciones
Q	4	m ³ /s	Promedio anual del caudal de planta
Al	65	mg/l	Promedio anual de dosis aplicada de SAL
SS	7,86	mg/l	Promedio anual de Sólidos Suspendidos
A	-	mg/l	Actualmente no se aplica otro aditivo

Sustituyendo los valores de la tabla 1, en la ecuación 1 se tiene que:

$$S = 86,4 * 4 \left(\frac{m^3}{l} \right) * \left[0,44 * 65 \left(\frac{mg}{l} \right) + 7,86 \left(\frac{mg}{l} \right) + 0 \right] = 12600,58 \left(\frac{kg}{d} \right)$$

La producción de lodo bajo las condiciones de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga es de: 12600,58 (kg/d)

2. Determinación del porcentaje de humedad del lodo

La determinación de la humedad del lodo se llevó a cabo mediante la evaporación del agua contenida en una muestra representativa, la cual se describe a continuación:

$$\% \text{ de humedad del lodo} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100 \quad \text{Ecu. B.2}$$

A. Equipos y materiales

- Balanza analítica.
- Espátula.
- Estufa con temperatura de 150C, capaz de mantener una temperatura constante.
- Crisoles de porcelana.
- Pinza para crisoles.
- Guantes.
- Desecador con deshidratante.

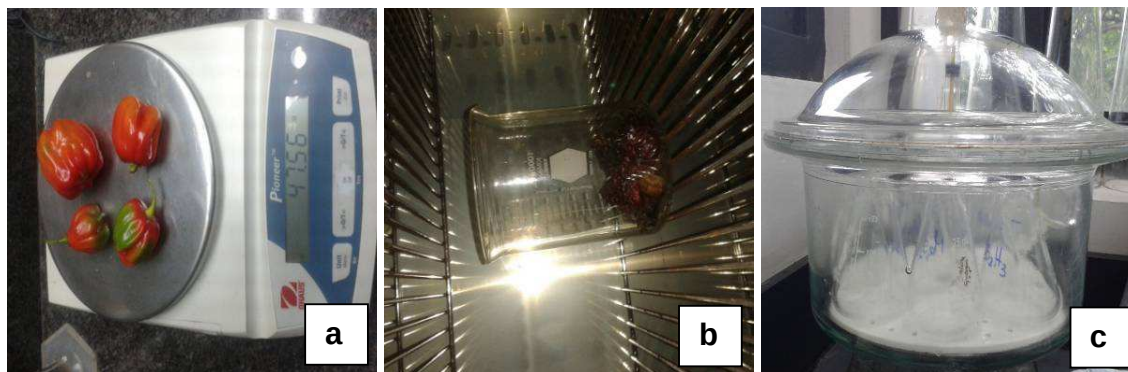


Figura B.1. Equipos y materiales empleados para la determinación de la humedad a. balanza analítica, b. Estufa, c. Desecador.

B. Procedimiento

- Se colocan los crisoles dentro de la estufa a 120C, durante 2 horas.
- Transcurridas las 2 horas se llevan al desecador por lo menos 2 horas o hasta obtener peso constante.
- Se vierte la muestra hasta un 50% del volumen del crisol.

- Se pesa el crisol con la muestra y se lleva a la estufa a 60°C por 2 horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente.
- Se repite este paso las veces que sean necesario hasta obtener peso constante (cuando entre dos pesada consecutivas la diferencia es menor a 0,01%).

3. Procedimiento para digerar muestra previo a la determinación de metales pesados.

1. Tomar 100ml de muestra en capsula de porcelana.
 2. Agregar 2 o 3 gotas de naranja de metilo.
 3. Acidificar con H_2NO_3 hasta viraje.
 4. Agregar 5 ml de ácido nítrico concentrado
 5. Añadir 2 ml de H_2O_2 al 30% (v/v)
 6. Evaporar hasta obtener 15 a 20 ml tapando con vidrio de reloj
 7. Transferir a fiola de 125ml
 8. Agregar 5ml de HNO_2 concentrado
 9. Agregar 10 ml de H_2SO_4 conc. Y perlas de ebullición
 10. Evaporar hasta producir gases blancos de SO_3
 - Si no se torna transparente. Agregar 10ml de HNO_3 conc. Y se repite el paso anterior.
 - Continuar la evaporación hasta que no haya emanación de vapores parduzco.
- Nota:** no se debe dejar secar la muestra.
11. Se enfría y se diluye aproximadamente 50ml con agua destilada.
 12. Se calienta hasta ebullición para disolver sales solubles
 13. Se filtra si es necesario
 14. Se transfiere el filtrado a un balón de 100ml.
 15. Se enjuaga la fiola con 2 porciones de aproximadamente 5ml de agua, añadirlos luego al balón.
 16. Se enfría, se afora y se mezcla bien

$$metal \left(\frac{mg}{l} \right) = conc. del metal en sol. digerida \left(\frac{mg}{l} \right) * \frac{V_{final de sol digerida} (ml)}{Tamaño de muestra (vol. inic) (ml)}$$

Ecu. B.3

ANEXOS



Anexo 1. Evolución del cultivo de ají desde el trasplante, floración y formación del fruto.



Anexo 2. Etapas de crecimiento del cultivo de ají.



Anexo 3. Planta al primer mes de germinación bloque 1 y 2



Anexo 4. Floración de la planta de ají en los bloques 1 y 2



Anexo 5. Evolución del cultivo de ají en el tercer mes de plantación.



Anexo 6. Primera cosecha de una planta de ají.