

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Pruebas de Tratabilidad para el Tratamiento de los Lodos de la Planta
Potabilizadora Convencional

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Maoli Stefany Villafuerte Intriago

Karen Denisse Romero Suarez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Este proyecto de graduación está dedicado a Dios, quien ha sido el motor y luz en cada momento de nuestras vidas. A nuestras familias que han sido la motivación para no dejarnos vencer.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento al M.Sc. Bernardo Mora por ayudarnos a lo largo de este trabajo, brindándonos su ayuda y compartiéndonos sus conocimientos.

A nuestros padres, familiares, y a nuestros amigos, que con su apoyo permitieron que culminemos esta etapa de nuestra vida.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Maoli Stefany Villafuerte Intriago* y *Karen Denisse Romero Suárez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

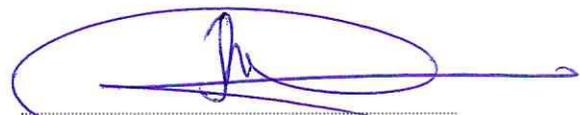

Maoli Villafuerte


Karen Romero

EVALUADORES



Ing. Nadia Flores, M. Sc.
PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Bernardo Mora, M. Sc.
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la Planta Potabilizadora Convencional, el proceso para el tratamiento de agua es coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En los sedimentadores se generan grandes volúmenes de lodos y residuos los mismos que son evacuados directamente en la vertiente que desemboca al río Daule.

La normativa actual del Ecuador en la Ley de Aguas y la Ley de Gestión Ambiental indirectamente plantea que se construyan plantas de tratamientos de lodos, con el fin de minimizar el impacto ambiental, motivo por el cual el presente proyecto plantea un tratamiento para los lodos usando lechos de secado.

Se realizó la caracterización del lodo generado para determinar las condiciones iniciales. Se construyó un lecho piloto para simular el proceso de secado y así obtener datos del porcentaje de humedad y el tiempo de secado. También se realizó pruebas de sedimentación para determinar el tiempo y porcentaje de compactación.

Se obtuvo como resultado que el 29% del lodo se compacta en 39 horas. Mediante cálculos basados en la bibliografía se realizó el dimensionamiento para el tratamiento de estos lodos. Se requiere construir ocho tanques de compactación de 6 m de largo, 5 m de ancho y 8 m de profundidad y ocho lechos de secado de 35 m de largo y 6 m de ancho y 2,41 m de profundidad.

Palabras Clave:

LECHO DE SECADO

LODOS

COMPACTACIÓN

HUMEDAD

DIMENSIONAMIENTO

ABSTRACT

In the Water Treatment Plant Convencional, the process for water treatment is coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection. In the sedimentators large volumes of sludge and waste are generated which are evacuated directly on the slope that flows into the Daule river.

The current regulations of Ecuador in the Ley de Aguas and the Ley de Gestión Ambiental indirectly say that sludge treatment plants are built, in order to minimize environmental impact, which is why this project proposes a treatment for sludge using drying beds.

The initial conditions were determined through the characterization of the produced sludge. A pilot bed was built to simulate the drying process and thus obtain data on the percentage of humidity and the drying time. Sedimentation tests were also performed to determine the time and percentage of compaction.

As a result, 29% of the sludge was compacted in 39 hours. Based on the bibliography, calculations were performed to determine the sizing for the treatment of this sludge. It is required to build eight compaction tanks of 6 m long, 5 m wide and 8 m depth and eight drying beds of 35 m long and 6 m wide and 2,41 m depth.

Keywords:

DRYING BEDS

SLUDGE

COMPACTION

HUMIDITY

DIMENSIONING

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	1
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	12
1. Introducción	12
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Justificación del problema	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Marco teórico.....	15
1.4.1 Proceso de coagulación y floculación	15
1.4.2 Tipo de floculadores.....	16
1.4.3 Métodos de tratamiento de lodos.....	18
1.4.4 Recuperación de coagulante	21
1.4.5 Disposición de lodos	22
CAPÍTULO 2.....	23
2. Metodología	23
2.1 Tipo de investigación.....	23

2.2	Enfoque de investigación	23
2.3	Población y muestra	23
2.3.1	Métodos de muestreo	24
2.4	Identificación de Variables.....	25
2.5	Tratamiento de lodos en un lecho de secado piloto	25
2.5.1	Dimensiones del prototipo.	25
2.5.2	Materia prima, materiales y equipos.	26
2.5.3	Disposición de los materiales en el lecho de secado.....	28
2.5.4	Disposición del lodo en el lecho de secado	29
2.5.5	Determinación de porcentaje de humedad	31
CAPÍTULO 3.....		32
3.	Resultados y análisis	32
3.1	Porcentaje de compactación	32
3.2	Cálculo del porcentaje de humedad	32
3.3	Determinación de curvas de secado	33
3.4	Determinación del contenido de la humedad de equilibrio	34
3.4.1	Condiciones ambientales de temperatura.....	34
3.5	Determinación de la humedad libre	35
3.6	Determinación del tiempo de secado	36
3.7	Determinación del área bajo la curva	39
3.8	Porcentaje de Lixiviado	40
3.9	Balance de materia del proceso de secado de los lodos de la Planta Convencional.....	40
3.9.1	Balance de materia en tanque de compactación	41
3.9.2	Balance de materia en lecho de secado	42
3.10	Propuesta de un proceso de secado de los lodos de la planta potabilizadora Convencional.....	43

3.10.1	Área del Lecho de Secado.....	43
3.10.2	Tanque de compactación.....	45
3.11	Resultados de los análisis de laboratorio	46
CAPÍTULO 4.....		47
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....		49
ANEXOS.....		50

ABREVIATURAS

TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable

SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
ton	Tonelada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
cm	Centímetro
°C	Grados Celsius
H ₂ O	Agua
Al	Aluminio
ST	Sólidos Totales
Hg	Mercurio
Fe	Hierro
Pb	Plomo
l	Litro
%	Porcentaje
min	Minutos
ml	Mililitros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Filtro de lecho de secado. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.....	16
Figura 1.2 Floculadores de cuchillas recíprocas. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.....	17
Figura 1.3 Floculador de sólidos por contacto. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.....	18
Figura 1.4 Esquema de un lecho de secado. Fuente: Masschelein, W. J. (1992). Unit Processes in Drinking Water Treatment. New York: Marcel Dekker, Inc.....	20
Figura 2.1 Salida de lodos de la Planta Potabilizadora Convencional. Fuente: Autores.	24
Figura 2.2 Lecho de secado piloto. Fuente: Autores.	25
Figura 2.3 Prueba de compactación a través del tiempo. Fuente: Autores.	26
Figura 2.4 Sistema de recolección de lixiviado. Fuente: Autores.	27
Figura 2.5 Lavado de materiales. Fuente: Autores.....	27
Figura 2.6 Colocación de la capa de grava en el lecho de secado. Fuente: Autores. ...	28
Figura 2.7 Colocación de la capa de gravilla en el lecho de secado. Fuente: Autores. .	28
Figura 2.8 Colocación de la capa de arena en el lecho de secado. Fuente: Autores. ...	29
Figura 2.9 Colocación de la capa de lodo en el lecho de secado. Fuente: Autores.	29
Figura 2.10 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 0). Fuente: Autores.	30
Figura 2.11 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 1). Fuente: Autores.	30
Figura 2.12 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 9). Fuente: Autores.	30
Figura 2.13 Termobalanza en proceso de secado. Fuente: Autores.	31
Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de secado de los lodos generados en la Planta Convencional. Fuente: Autores	41
Figura 3.2 Balance de materia en el tanque de compactación. Fuente: Autores.....	42
Figura 3.3 Balance de materia en el lecho de secado. Fuente: Autores	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Histórico de turbiedad del rio Daule. Fuente: Laboratorio de Control de Proceso de Planta La Toma	13
Tabla 3.1 Resultados de la determinación del porcentaje de humedad. Fuente: Autores.	33
Tabla 3.2 Contenido de la humedad en el tiempo t (kg totales agua / kg sólido seco). Fuente: Autores.	33
Tabla 3.3 Humedad relativa existentes en el laboratorio de y el contenido de la humedad de equilibrio. Fuente: Autores.	34
Tabla 3.4 Contenido de la humedad libre X. Fuente: Autores.	35
Tabla 3.5 Determinación de la velocidad de secado. Fuente: Autores.	38
Tabla 3.6 Caracterización del lodo proveniente de la planta potabilizadora Convencional. Fuente: Autores	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Tendencia del compactado de lodo a través del tiempo. Fuente: Autores..	32
Gráfico 3.2 Humedad libre en función del tiempo de secado, Fuente: Autores.....	36
Gráfico 3.3 Gráfica del área bajo la curva. Fuente: Autores.....	39

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 3.1 Dimensiones de Lecho de secado. Fuente: Autores.	45
Plano 3.2 Dimensiones del Tanque de compactación. Fuente: Autores.	46

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La planta de tratamiento de agua en la que se realiza el proyecto comprende el proceso de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Como subproducto del proceso de coagulación - floculación se generan grandes volúmenes de lodo o residuos. Estos lodos generados presentan una pobre capacidad de deshidratación, y al momento del manejo y disposición, estos son bombeados y almacenados en presas.

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas en Guayaquil descargan los lodos en los desagües cercanos que finalmente llegan al río Guayas o dispuestos en terrenos sin ningún pretratamiento, lo que conlleva a un impacto negativo en el ambiente el cual se busca minimizar.

En el Ecuador se presentan fuertes lluvias en épocas de invierno las cuales elevan considerablemente la turbiedad de los ríos. En los últimos 10 años, fue en el 2017 cuando se registró el valor más alto de turbiedad como se puede observar en la tabla 1.1; consecuentemente con el incremento de este parámetro se obtiene mayor producción de lodos generados en el proceso de potabilización.

Entre más alta sea la turbiedad del río, se necesitará más coagulante para tratar el agua en un proceso de potabilización, por tanto, mayor será la presencia del coagulante en los lodos que se generen.

El coagulante de uso en la planta potabilizadora Convencional es el Sulfato de Aluminio, el cual se consume en altas cantidades. El aluminio es altamente tóxico tanto en aguas como en suelos y la recuperación del sulfato es una buena alternativa para minimizar el impacto ambiental que éste conlleva.

Tabla 1.1 Histórico de turbiedad del río Daule. Fuente: Laboratorio de Control de Proceso de Planta La Toma

Año	Turbiedad (ntu)
2008/04/01	1231
2009/02/19	1240
2012/04/20	3061
2014/03/27	1400
2015/04/27	750
2016/02/20	1100
2017/04/12	4000
2018/02/21	1626

1.2 Justificación del problema

La práctica usual de las plantas que tratan las aguas por medio de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración es eliminar los lodos acumulados en los sedimentadores y en los filtros, descargándolos directamente a los cursos de agua superficiales, sin considerar que las características físicas y químicas de estos a menudo incumplen las normas legales y afectan el recurso en el cual son vertidos. Actualmente existe una mayor presión medioambiental y legislativa en el Ecuador que indirectamente plantea que se construyan plantas de tratamientos de lodos y así contribuir a la disminución de la degradación de las aguas naturales.

Entre algunas de las Leyes aplicables tenemos:

La Ley de Gestión Ambiental, en el Libro VI TULSMA, Anexo 1, 4.2 Criterios generales para la descarga de efluentes , 4.2.1.21 “*Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de*

agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.”

La Ley de Aguas, en el Título II, Capítulo II, “De la contaminación” Art 22 *“Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.*

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

Se concede acción popular para denunciar los hechos que se relacionan con contaminación de agua. La denuncia se presentará en la Defensoría del Pueblo.”

La Ley de Gestión Ambiental, en el Libro VI Anexo 2, 4.1.1 Prevención de la contaminación del recurso suelo 4.1.1.1 Sobre las actividades generadoras de desechos sólidos no peligrosos *“Toda actividad productiva que genere desechos sólidos no peligrosos, deberá implementar una política de reciclaje o reuso de los desechos. Si el reciclaje o reuso no es viable, los desechos deberán ser dispuestos de manera ambientalmente aceptable.”*

Este tipo de proyectos e investigaciones se ha realizado en muchas partes del mundo, ya que actualmente las empresas no solo buscan un beneficio económico al evitar futuras multas por el incumplimiento de la ley sino que también, vivir una mayor conciencia en cuanto a los daños que sus procesos pueden generar al medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Aplicar un tratamiento a los lodos generados en el proceso de floculación - coagulación de la planta potabilizadora Convencional mediante el uso de un lecho de secado a escala piloto.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las características fisicoquímicas de los lodos generados de acuerdo con los parámetros requeridos por la norma.
2. Diseñar un lecho de secado piloto para los lodos que permita mejorar sus condiciones fisicoquímicas.
3. Realizar ensayos experimentales del tratamiento de lodos para obtener los parámetros de operación que permitan que proceso de deshidratación de los lodos sea eficiente.
4. Analizar los datos experimentales obtenidos con el fin de comprobar que el tipo de tratamiento seleccionado cumple con los requerimientos esperados.
5. Establecer una alternativa para la disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable Convencional.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de coagulación y floculación

(Romero Rojas, 2009) explica que la diferencia entre coagulación y floculación radica en que el primero es un proceso químico que con el uso de un coagulante busca desestabilizar los coloides y el segundo es un proceso físico mediante el cual por una mezcla rápida y luego una lenta ocurre el choque entre partículas que da la formación del floc.

Por tanto, un floc es la aglomeración de coágulos provenientes de las partículas desestabilizadas por el proceso de coagulación. (Lozano rivas & Lozano Bravo, 2015)

Un coagulante es un compuesto de hierro o aluminio capaz de formar un floc. El coagulante estándar usado en los tratamientos de aguas es el sulfato de aluminio cuya fórmula comercial es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ con masa molecular

de 600 g/mol, y se presenta en diversas formas: líquido, polvo, en grano, en terrones y molido. (Romero Rojas, 2009)

1.4.2 Tipo de floculadores

El proceso de coagulación y floculación se dan en los sedimentadores. (Bratby , 2006) Enseña que los sedimentadores se pueden clasificar según el tipo de floculador; se presentan algunos ejemplos a continuación.

1.4.2.1 Floculador de lecho de secado

Estos floculadores tienen la ventaja de no requerir equipamiento mecánico, aunque el floculador con baffles también tiene una configuración parecida; la intensidad de mezclado no es controlable y depende del flujo de agua. Sin embargo, estos floculadores son de bajo costo incluyendo canales con capas de grava. Versiones más sofisticadas incluyen un medio flotante que sirve para la floculación como para la prefiltración. Como desventaja se tiene que los canales horizontales donde se encuentra la grava son susceptibles al ensuciamiento, particularmente con agua de alta turbiedad, aunque pueden ser mitigados con un mantenimiento con agua a alta velocidad a través de la cama a aproximadamente 5 m/min.

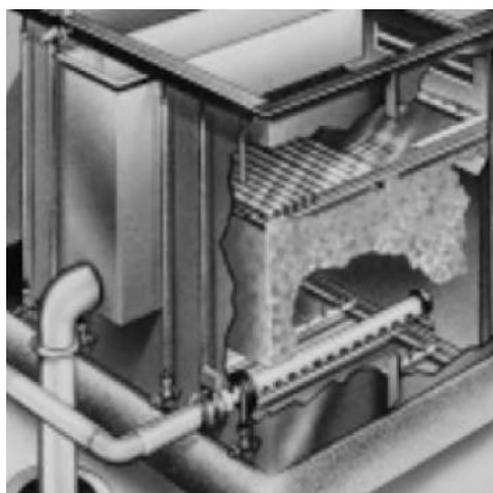


Figura 1.1 Filtro de lecho de secado. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.

1.4.2.2 Cámara con baffles

Las cámaras de baffles para floculación son los tipos de floculadores más fáciles de diseñar, pueden ser instalados con paletas por encima o por debajo, o con paletas en los extremos. La última configuración es a menudo usada ya que es más fácil de construir y es más fácil de drenar y limpiar. Como ventajas se tiene que son virtualmente libres de mantenimiento y el cortocircuito se minimiza. Las velocidades de gradientes son totalmente dependientes de la velocidad de flujo a través del recipiente y por lo tanto, no ofrece un grado de control. También se tiene el problema de deposición/suciedad y material floculado en el recipiente, particularmente a bajos flujos es difícil de evitar.

1.4.2.3 Floculador de cuchillas recíprocas

La ventaja de estos dispositivos es que el efecto del agua rotando es eliminado. Sin embargo, un problema es que los esfuerzos en los engranajes y otros componentes mecánicos pueden ser severos. En la figura 1.2 se observan los dos tipos de floculadores de cuchillas recíprocas.

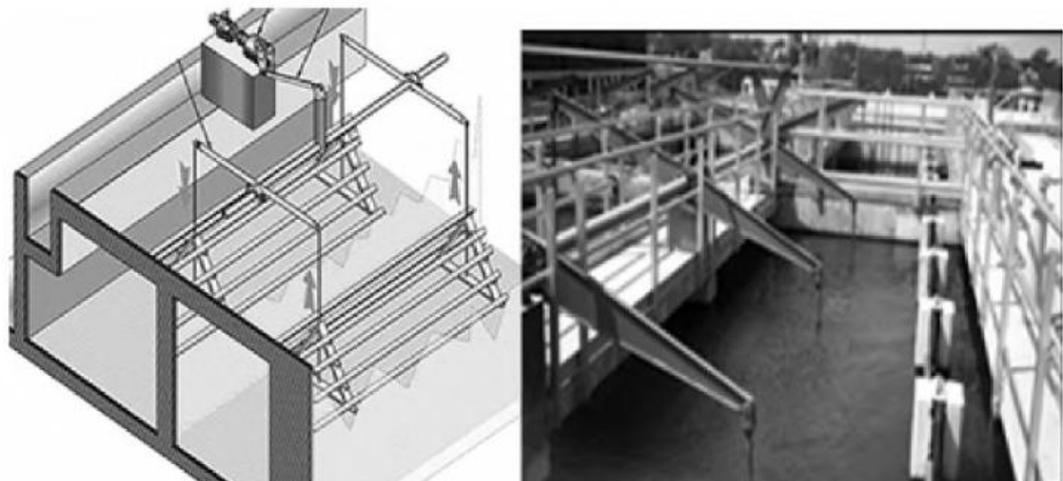


Figura 1.2 Floculadores de cuchillas recíprocas. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.

1.4.2.4 Floculador de sólidos por contacto

Un tipo especial de floculador - sedimentador es el clarificador por contacto de cama de sólidos el cual se muestra en la figura 1.3. Este es muy usado en el tratamiento de aguas potables y en las aplicaciones industriales. Tales dispositivos han sido usados efectivamente como tratamiento terciario para aguas residuales, particularmente en la remoción de fósforo.

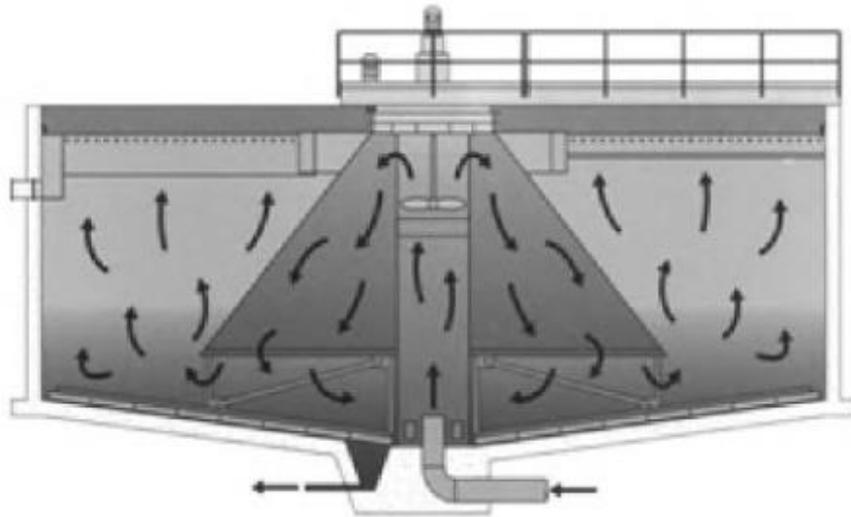


Figura 1.3 Floculador de sólidos por contacto. Fuente: Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.

En general, el principio de operación de estos floculadores es que las partículas de floc formadas dentro con una velocidad mayor que el caudal en la parte superior del floculador, se mantienen en equilibrio en algún punto donde la velocidad de las partículas en la parte superior es igual a la velocidad de asentamiento en el fondo. Por lo tanto, las partículas más grandes formarán una capa de equilibrio donde las partículas más pequeñas serán atrapadas.

1.4.3 Métodos de tratamiento de lodos

Según (Masschelein, 1992), los siguientes procesos pueden ser aplicados en los tratamientos de lodos:

1.4.3.1 Descarga directa

La descarga directa a ríos y cuerpos de agua es contradictoria con las directivas de control ambiental. Al tratar más y más agua de río para el consumo humano, las plantas de tratamiento se han convertido en una potencial fuente de contaminación. La descarga al alcantarillado es alternativa; sin embargo, las plantas de tratamiento pueden generar demasiados desechos que sobrepasan los límites establecidos para la descarga.

1.4.3.2 Reciclado directo

El reciclado directo del lodo a la entrada de la floculación puede ser favorable para el control y optimización de la etapa de floculación-sedimentación. Sin embargo, no se obtiene una reducción significativa de coagulante usando este método. Por lo tanto, no se reduce el volumen de lodo producido.

1.4.3.3 Lagunaje

Este método sigue siendo una forma popular de manejo de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas. Generalmente es construido encerrando el lodo en una superficie de tierra con diques y excavaciones. El lodo es añadido continua e intermitentemente hasta que la laguna se llena. El lagunaje puede ser económico cuando el terreno disponible es barato.

1.4.3.4 Compactación de lodos

La compactación de lodos y el manejo mecánico forman parte de la mayoría de las plantas existentes. Los principios son de naturaleza variable y la compactación mecánica se utiliza generalmente después del espesamiento preliminar, sin embargo, la compactación directa es factible.

La compactación de lodos se puede obtener mediante la técnica de cama de lecho de secado, pero la operación básica incluye la remoción de agua a través de drenaje y secado con aire. Las camas consisten en una capa de

arena de 15 a 20 cm sobre una capa de grava de 30 cm sobre baldosas de secado con tuberías de agua. (Ver figura)

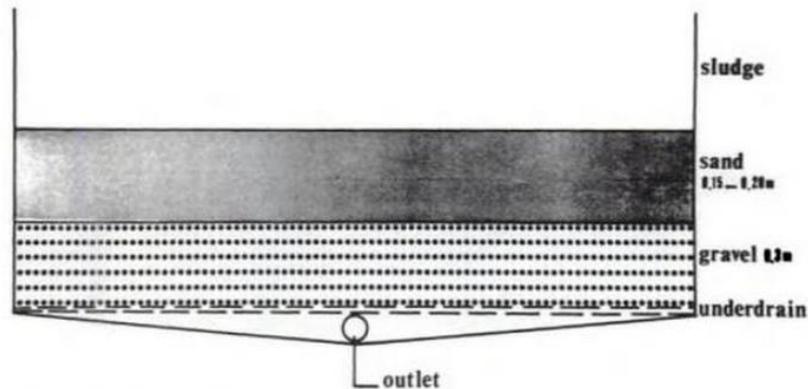


Figura 1.4 Esquema de un lecho de secado. Fuente: Masschelein, W. J. (1992). Unit Processes in Drinking Water Treatment. New York: Marcel Dekker, Inc.

1.4.3.5 Lechos de secado

Los lechos de secado son usados para deshidratación y secado de lodos. Los mecanismos de deshidratación son una combinación de decantando, drenado, y evaporación. El tamaño general de los lechos es una función del tiempo que se desea para la evaporación. Por lo tanto, la cantidad de agua removida por el drenado o decantación reducirán el tamaño total del lecho.

Existen dos tipos de lechos de secado: los que tienen un drenaje de fondo conocidos como lechos de secado de arena, o los que son cabinas vacías sin drenaje de fondo conocidos como lechos de secado solares.

Los lechos de secado con drenaje a menudo incluyen 15 a 25 cm de arena de 0.3 a 1.2 mm, con una capa superior de grava de 30 cm. El drenaje es un tubo de PVC perforado, arcilla o cemento. Después que se seca el lodo es removido manual o mecánicamente. En las camas de secado, para evitar la remoción de las capas de arena con el lodo seco, bloques de concreto o ladrillos perforados son a menudo instalados para facilitar la remoción mecánica o manual del lodo.

1.4.4 Recuperación de coagulante

Acerca de la recuperación de sulfato de aluminio, (Masschelein, 1992) indica, que es posible, aumentando el pH de los lodos de la planta de agua de 10 a 11, pero la eficiencia de la redisolución del aluminio y el hierro es relativamente baja. Por esta razón, la investigación ha tendido a la acidificación y otros medios para recuperar los metales de los hidróxidos precipitados.

Las investigaciones originales han sido dirigidas hacia el acondicionamiento por acidificación. Se ha observado que cuando el pH es reducido de 1.5 a 2.5, el engrosamiento del lodo fue mejorado. Después de la acidificación, las concentraciones de lodo engrosado de 10% o más fueron posibles, con reducciones de volumen de 50 a 80%. Al disolver hidróxidos aproximadamente el 15% de la destrucción de los sólidos fue lograda.

La acidificación también es mejorada por deshidratación de los lodos, este proceso es usado en plantas usando tanques de acondicionamiento, bomba de alimentación de presión, prensa de bandeja y tuberías, todos estos equipos deben ser a prueba de corrosión.

En general la recuperación de coagulante sigue el siguiente procedimiento:

- El engrosamiento del lodo es requerido para facilitar la subsecuente deshidratación, por lo que reduce la cantidad de ácido usado y asegura una suficiente concentración alta de aluminio. Bajas concentraciones de coagulante resultan en bajas eficiencias de recuperación de coagulante durante el tratamiento de lodos.
- El lodo engrosado es acidificado con ácido sulfúrico para disolver los hidróxidos, es requerido ácido en exceso de cantidades estequiométricas para asegurar un pH bajo (aproximadamente 2.0). La acidificación primero libera agua de hidratación y después disuelve los hidróxidos. La reacción de hidróxido de aluminio es la siguiente:



1.4.5 Disposición de lodos

Existen varias formas de disponer el lodo, estas incluyen: lagunaje, aplicación a la tierra, rellenos de tierra, vertido a alcantarillado, o vertido a cuerpos de agua. Esta última opción está en desuso, en gran extensión debido a la legislación ambiental de muchos países.

La mejor opción es adquirir un relleno de tierra propio que sea dedicado a la disposición en tierra. Esta solución requiere que las plantas de tratamiento primero inviertan en engrosamiento y deshidratación del lodo. Generalmente es requerido que la torta de lodo contenga al menos 20% de sólidos secos. Este lodo es a menudo mezclado con tierra en la proporción de 0.25 a 1.0 partes de suelo a 1.0 partes de lodo. La proporción actual depende de la concentración de la torta de lodo y las características del lodo, con concentraciones de lodo mayores a 25%, la mezcla con suelo puede ser evitada.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Proyecto de investigación. Acorde al INEN un trabajo de investigación surge de un problema definido por el investigador y busca validar o no una hipótesis determinada; dentro de esta clasificación se encuentra el subgrupo experimental, en el cual se encuentra el presente trabajo, que tiene como objetivo principal explicar la relación de causa-efecto entre dos o más variables, además de ello implica que el investigador actúe sobre el estado de algunos sujetos de estudio mediante tratamientos que desea evaluar.

2.2 Enfoque de investigación

Los estudios de corte cuantitativo pretenden la explicación de una realidad social vista desde una perspectiva externa y objetiva. (Gómez, 2006) Señala que bajo la perspectiva cuantitativa, la recolección de datos es equivalente a medir, es decir asignar números a objetos y eventos de acuerdo a ciertas reglas.

La presente investigación será trabajada bajo el enfoque cuantitativo, se realizarán pruebas para medir la variación de la humedad del lodo a través del tiempo. Este método analítico se usa para el análisis de los resultados, con los datos obtenidos se valida la eficiencia del piloto de lecho de secado propuesto para el tratamiento de los lodos de la Planta Potabilizadora Convencional.

2.3 Población y muestra

Como se mencionó al plantear la problemática, es de conocimiento público que los lodos generados en las plantas potabilizadoras en Guayaquil son descargados en vertientes que llegan al río Guayas, por lo que se define como la población afectada los sectores aledaños a la Planta Potabilizadora

Convencional, definiendo así como lugar de muestreo, la salida de los lodos al final del proceso de tratamiento de agua.

La descarga de los lodos se efectúa en la planta a través de un canal de concreto que no está expuesto a ninguna afectación de la naturaleza por lo que se definió el muestreo en el punto de salida de los lodos de la Planta Potabilizadora Convencional. La toma de las muestras para los ensayos se realizó en base a las normas NTE INEN 2176:1998 y NTE INEN 2169:98.

2.3.1 Métodos de muestreo

Con el fin de obtener una muestra más representativa se tomaron 3 muestras durante una jornada normal de trabajo, en intervalo de 4 horas, considerando que no ha variado la dosificación de los floculantes y coagulantes.



Figura 2.1 Salida de lodos de la Planta Potabilizadora Convencional. Fuente: Autores.

Luego se recogió un litro de muestra y se llevó al Laboratorio Químico Marcos para el respectivo análisis de caracterización. Los ensayos que se

decidieron realizar sobre las muestras de lodo inicial de la prueba son: ST, Al, Pb, Fe y Hg, y de lodo final: Al. (Ver anexos 1 y 2)

2.4 Identificación de Variables

Variables independientes de la muestra: Caudal, temperatura, clima, características de la fuente captada, eficiencias de cada unidad de la planta de tratamiento, coagulantes y floculantes, ubicación de la PTAP y población.

Variables independientes en el lecho de secado piloto: clima, tiempo.

Variables dependientes en el lecho de secado piloto: % humedad.

2.5 Tratamiento de lodos en un lecho de secado piloto

2.5.1 Dimensiones del prototipo.

Se trabajó en una urna de vidrio con las siguientes dimensiones: 70 cm de largo, 30 cm de ancho y 20 cm de altura.

Para facilitar la salida del líquido filtrado el lecho se construyó con una pendiente de 1%, adicional se le hizo una perforación en el extremo más bajo.



Figura 2.2 Lecho de secado piloto. Fuente: Autores.

2.5.2 Materia prima, materiales y equipos.

- a. **Lodos.** Es la materia prima, el objeto de estudio del presente trabajo.
- b. **Tachos capacidad 20 litros.** Servirán para recolectar la muestra como primer uso. Se convertirán en el paso previo antes de la disposición del lodo sobre el lecho de secado piloto. También se usarán para el sistema de recolección de lixiviados.

Desaguado de lodos. Es un proceso que consiste en remover agua de los lodos para tener un material que pueda ser utilizado o dispuesto en algún sitio. En este proceso se tienen dos productos: una torta con características similares a un material sólido, y un sobrenadante. Se realiza este primer paso para evitar el agotamiento inmediato de los filtros. La muestra se depositará en el tacho para una sedimentación por gravedad.

En esta etapa se tomaron datos del tiempo de sedimentación, para determinar el porcentaje de lodo compactado, se lo realizó con una muestra de lodo en una probeta de 1000 ml.



Figura 2.3 Prueba de compactación a través del tiempo. Fuente: Autores.

Sistema de recolección de lixiviados. Con el fin de analizar el filtrante del lecho de secado se adaptará una manguera hacia un tacho para que caiga por gravedad.



Figura 2.4 Sistema de recolección de lixiviado. Fuente: Autores.

- c. **Grava, gravilla y arena.** Es el material utilizado como filtro, se colocará uno sobre otro primero la grava, luego gravilla y en la parte superior la arena, con alturas de 4 cm, 2 cm y 4 cm respectivamente. Se realizaron lavados previos con agua para extraer suciedad no deseada del material.



Figura 2.5 Lavado de materiales. Fuente: Autores.

2.5.3 Disposición de los materiales en el lecho de secado

Una vez lavado y secado cada material se procedió a colocar las capas de grava, gravilla y arena en el lecho de secado. La primera capa era de grava con una altura de 4 cm.



Figura 2.6 Colocación de la capa de grava en el lecho de secado. Fuente: Autores.

Se procedió a colocar una capa de 2 cm de gravilla sobre la primera capa ya colocada.



Figura 2.7 Colocación de la capa de gravilla en el lecho de secado. Fuente: Autores.

Finalmente se colocó la capa de arena con una altura de 4 cm.



Figura 2.8 Colocación de la capa de arena en el lecho de secado. Fuente: Autores.

2.5.4 Disposición del lodo en el lecho de secado

Antes de colocar el lodo en la cama del lecho se le extrajo el agua sobrenadante del proceso de compactado.



Figura 2.9 Colocación de la capa de lodo en el lecho de secado. Fuente: Autores.

Nuestra muestra de lodo alcanzó una altura de 4 cm equivalente a 8.4 litros de muestra, comprobando así la prueba de la probeta donde el porcentaje de compactación que se obtuvo fue del 29%, y conociendo que teníamos un

volumen inicial de 30 litros de muestra, en teoría el volumen que pasaríamos a la cama de lecho es de 8,7 litros.



Figura 2.10 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 0). Fuente: Autores.



Figura 2.11 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 1). Fuente: Autores.



Figura 2.12 Disposición del lodo en el lecho de secado (día 9). Fuente: Autores.

2.5.5 Determinación de porcentaje de humedad

La importancia de obtener el contenido de humedad del lodo es que nos indicará el comportamiento de este en el lecho de secado. El método tradicional para determinarlo es sometiendo la muestra en un horno o estufa a temperatura constante, donde el porcentaje es la relación entre el peso del agua existente y la cantidad de sólidos en la muestra.

Para nuestros análisis se utilizó el método de termobalanza. El instrumento utilizado es una balanza térmica marca BOECO, que tiene como principio de funcionamiento la masa constante, es decir, el equipo agrega calor constante a una cantidad determinada de muestra, en nuestro caso se hizo la prueba con 5 g de muestra, el cual va eliminando el contenido de agua en el lodo, y registra la masa hasta obtener un valor constante, con dicho valor realiza el cálculo de humedad que se entrega en la pantalla del equipo.



Figura 2.13 Termobalanza en proceso de secado. Fuente: Autores.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Porcentaje de compactación

En el siguiente gráfico se muestra la tendencia de compactación del lodo, donde durante los primeros minutos cae rápidamente y luego de manera lenta hasta detenerse a los 2300 min, es decir poco más de día y medio. El volumen máximo de compactación fue de 290 ml, que correspondería al 29% de la muestra inicial.

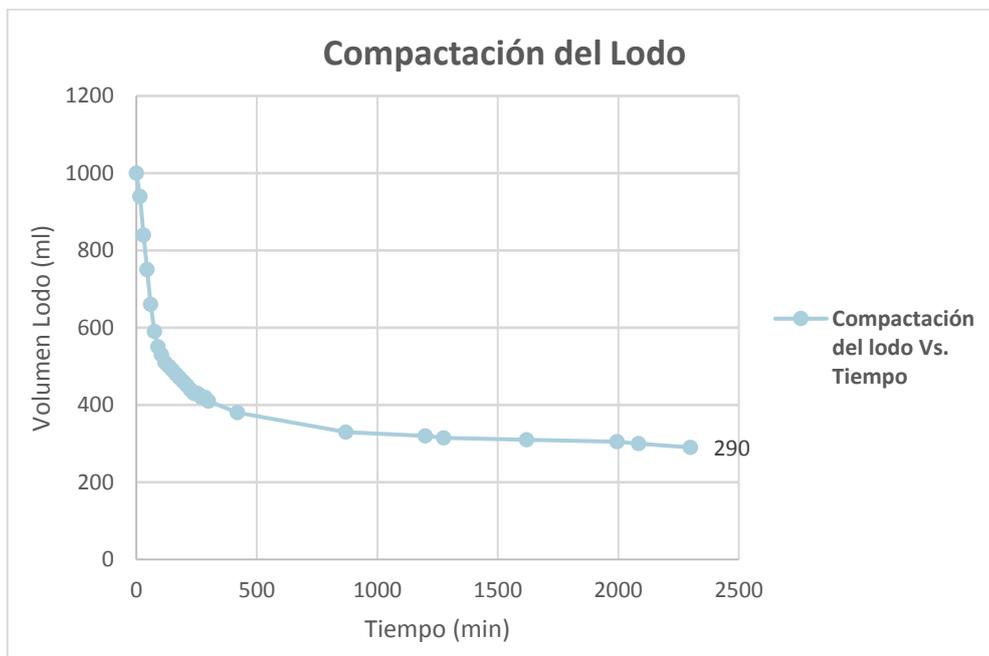


Gráfico 3.1 Tendencia del compactado de lodo a través del tiempo. Fuente: Autores.

3.2 Cálculo del porcentaje de humedad

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

$$H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Tabla 3.1 Resultados de la determinación del porcentaje de humedad. Fuente: Autores.

Pesos	Días de secado				
	0	1	2	3	4
Peso del crisol (g)	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Peso del crisol + lodo húmedo (g)	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41
Peso del crisol + lodo seco (g)	6,4703	6,6452	6,6487	6,6826	6,7085
W ₁ sólido húmedo (g)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
W ₂ sólido seco (g)	4,0603	4,2352	4,2387	4,2726	4,2985
% humedad, base húmeda	93,97	76,48	76,13	72,74	70,15
Pesos	Días de secado				
	5	6	7	8	9
Peso del crisol (g)	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Peso del crisol + lodo húmedo (g)	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41
Peso del crisol + lodo seco (g)	6,7326	6,8617	6,9251	7,2946	7,3141
W ₁ sólido húmedo (g)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
W ₂ sólido seco (g)	4,3226	4,4517	4,5151	4,8846	4,9041
% humedad, base húmeda	67,74	54,83	48,49	11,54	9,59

3.3 Determinación de curvas de secado

$$\text{Humedad en base seca} = X_t = \frac{W_1 - W_2}{W_2} = \frac{\text{Kg totales de agua}}{\text{Kg sólido seco}} \quad (3.2)$$

Tabla 3.2 Contenido de la humedad en el tiempo t (kg totales agua / kg sólido seco). Fuente: Autores.

Pesos	Días de secado				
	0	1	2	3	4
W ₁ sólido húmedo (g)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
W ₂ sólido seco (g)	4,0603	4,2352	4,2387	4,2726	4,2985

Humedad (base seca) X_t (kg totales H_2O /kg sólido seco)	0,2314	0,1806	0,1796	0,1702	0,1632
Pesos	Días de secado				
	5	6	7	8	9
W_1 sólido húmedo (g)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
W_2 sólido seco (g)	4,3226	4,4517	4,5151	4,8846	4,9041
Humedad (base seca) X_t (kg totales H_2O /kg sólido seco)	0,1567	0,12316643	0,10739519	0,02362527	0,01955507

3.4 Determinación del contenido de la humedad de equilibrio

Se determinó la humedad relativa existente en el Laboratorio de Microbiología de Promarisco, y con los datos obtenidos se determinó el contenido de humedad de equilibrio X^* (kg mol agua / kg mol aire seco), usando la tabla psicométrica. (Ver anexo 3)

3.4.1 Condiciones ambientales de temperatura

Tabla 3.3 Humedad relativa existentes en el laboratorio de y el contenido de la humedad de equilibrio. Fuente: Autores.

Parámetros	Días de secado				
	0	1	2	3	4
Temperatura (°C)	25	24	23	25	23
% Humedad relativa	33	48	53	45	54
Humedad de equilibrio X^* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0064	0,0089	0,0092	0,0079	0,0094
Parámetros	Días de secado				
	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	23	25	25	24	24
% Humedad relativa	52	41	39	49	47
Humedad de equilibrio X^* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0091	0,008	0,0077	0,0091	0,0087

3.5 Determinación de la humedad libre

Una vez obtenido el dato de humedad de equilibrio X^* , se realiza el cálculo del contenido de humedad libre X en (Kg agua libre/Kg sólido seco), para cada valor de X_t .

$$X = X_t - X^* \quad (3.3)$$

Tabla 3.4 Contenido de la humedad libre X. Fuente: Autores.

Parámetros	Días de secado				
	0	1	2	3	4
Humedad (base seca) X_t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	0,2314	0,1806	0,1796	0,1702	0,1632
Humedad de equilibrio X^* (Kg mol agua/Kg mol aire seco)	0,0064	0,0089	0,0092	0,0079	0,0094
Humedad libre X	0,2250	0,1717	0,1704	0,1623	0,1538
Parámetros	Días de secado				
	5	6	7	8	9
Humedad (base seca) X_t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	0,1567	0,1232	0,1074	0,0236	0,0196
Humedad de equilibrio X^* (Kg mol agua/Kg mol aire seco)	0,0091	0,0080	0,0077	0,0091	0,0087
Humedad libre X	0,1476	0,1152	0,0997	0,0145	0,0109

Con los resultados de contenido de humedad libre y los días de secado, se realizó la gráfica con estos dos parámetros, obteniéndose lo siguiente:

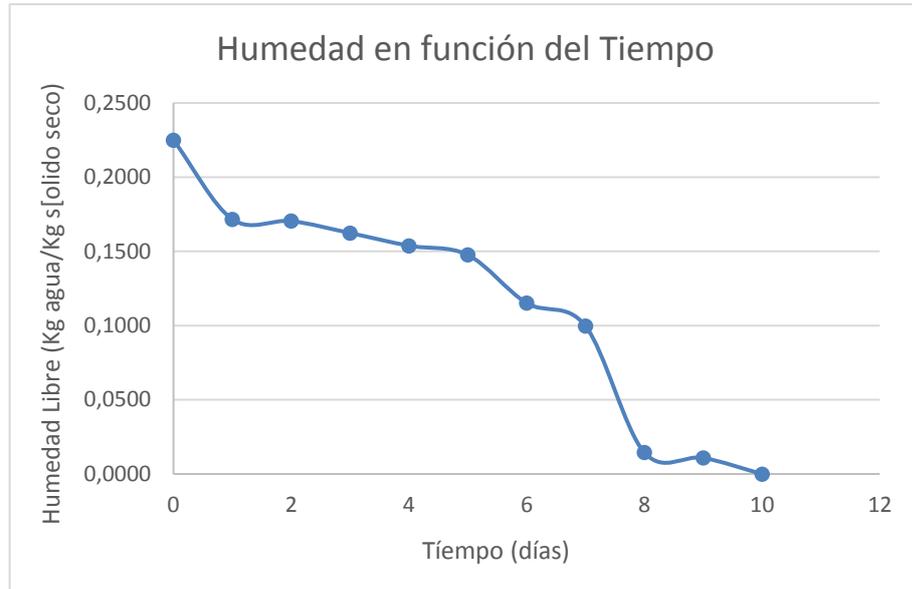


Gráfico 3.2 Humedad libre en función del tiempo de secado, Fuente: Autores

El secado del lodo no se dio en condiciones constantes sino más bien en condiciones variables dependientes del ambiente existente, como puede observarse en la figura anterior ocurre una gran pérdida de humedad en el primer día, desde el segundo día se dan pequeñas disminuciones de humedad, y luego entre el día 7 y 8 otra vez se presenta una gran pérdida de humedad, por lo que se puede confirmar que la velocidad de secado de los lodos no es constante pero si decreciente.

3.6 Determinación del tiempo de secado

Por lo expuesto anteriormente en el apartado 3.5 la velocidad de secado es decreciente, por lo tanto se va a determinar el tiempo de secado con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{Ls}{A} \int_{x_f}^{x_i} \frac{dx}{R} \quad (3.4)$$

El área del lecho de secado piloto como se mencionó en el Capítulo 2 es de 0,21 m². La cantidad de lodo utilizado en el lecho piloto fue de 8.4 litros equivalente a 0,0084 m³.

La densidad determinada para este tipo de lodo es de 0.980 g/cm³ = 980 Kg/m³. Determinado en el laboratorio de Microbiología de Promarisco.

Por lo que la masa del lodo dispuesto fue:

$$\text{Masa de lodo} = \text{volumen de lodo} * \text{densidad de lodo} \quad (3.5)$$

$$\text{Masa de lodo} = 0.0084 \text{ m}^3 * 980 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Masa de lodo} = 8.23 \text{ Kg}$$

Obtenido ya el valor de humedad inicial de los lodos de 93,97% de acuerdo con la Tabla 3.1; la cantidad de lodo seco L_s sería de:

$$L_s = \text{masa de lodo} * (1 - \text{humedad inicial de lodos}) \quad (3.6)$$

$$L_s = 8.23 \text{ Kg} * (1 - 0.9397)$$

$$L_s = 0.496 \text{ Kg}$$

Como la velocidad de secado (R) no es constante, entonces la ecuación anterior se debe resolver gráficamente representando X frente a $1/R$. El valor de la integral será el área limitada por la curva, el eje de la abscisa y las ordenadas extremas x_i y x_f .

Se realizó la gráfica X vs $1/R$, para lo cual se determinó la humedad de los lodos en el lecho de secado piloto en el tiempo que duró las pruebas, utilizando los datos de humedad obtenidos en la Tabla 3.1, para posteriormente establecer R . Como se dispone de datos para intervalos de tiempo, podemos efectuar cálculos analíticamente tomando valores medios de la velocidad correspondientes a cada intervalo de tiempo (1 día). Así en el instante $t=0$ días la humedad es:

$$X_0 = \frac{8.232 - 0.496}{0.496} = 15,58 \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de solido seco}}$$

Después de un día la humedad sería;

$$X_i = \frac{6,7922232 - 0,496}{0,496} = 12.68 \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de solido seco}}$$

Así sucesivamente como se muestra en la tabla siguiente, el valor medio de la humedad en ese intervalo de tiempo es 14.13 Kg de agua/Kg sólido seco. La velocidad media desecado en ese intervalo de tiempo resulta:

$$R_i = \frac{L_s}{A} \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{0,496}{0,21} \frac{(15,58-12,68)}{1} = 6,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

Los valores calculados para los demás días se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Determinación de la velocidad de secado. Fuente: Autores.

masa sólido seco	humedad Base húmeda	tiempo	masa del Lodo Inicial	masa agua	Masa Total	X Humedad	X humedad media	área del lecho piloto	R velocidad de secado	1/r
kg	%	días	Kg	Kg	Kg	kg agua/kg sólido seco	kg agua/kg sólido seco	m ²	kg/ m ² día	m ² día/kg
0,496	93,97	0	8,232	7,7356	8,232	15,5837		0,21		
0,496	76,48	1	8,232	6,2958	6,7922	12,6832	14,1334	0,21	6,8560	0,1458
0,496	76,13	2	8,232	6,2670	6,7634	12,6252	12,6542	0,21	0,1372	7,2886
0,496	72,74	3	8,232	5,9879	6,4843	12,0630	12,3441	0,21	1,3288	0,7525
0,496	70,15	4	8,232	5,7747	6,2711	11,6334	11,8482	0,21	1,0152	0,9849
0,496	67,74	5	8,232	5,5763	6,0727	11,2338	11,4336	0,21	0,9447	1,0585
0,496	54,83	6	8,232	4,5136	5,0099	9,0928	10,1633	0,21	5,0607	0,1976
0,496	48,49	7	8,232	3,9916	4,4880	8,0414	8,5671	0,21	2,4852	0,4023
0,496	11,46	8	8,232	0,9433	1,4397	1,9004	4,9709	0,21	14,5157	0,0688
0,496	9,59	9	8,232	0,7894	1,2858	1,5903	1,7454	0,21	0,7330	1,3641

Se procede a graficar 1/R vs X, para luego determinar el área bajo la curva.

3.7 Determinación del área bajo la curva

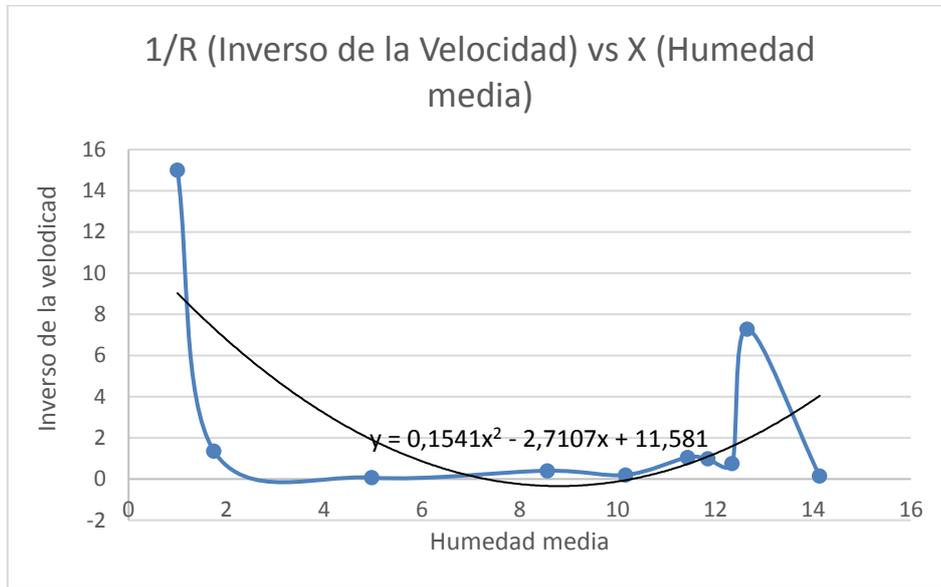


Gráfico 3.3 Gráfica del área bajo la curva. Fuente: Autores

Se pudo apreciar que la curva es irregular; por lo tanto se sacó una tendencia polinómica. Con la ecuación de esta tendencia se determinó el área bajo la curva:

$$y = 0,1541x^2 - 2,7107x + 11,581$$

Entre los límites de $x_f = 14,133$ y $x_i = 1,745$

$$A' = \int_{x_i}^{x_f} \frac{dx}{R} \quad (3.7)$$

$$A' = \int_{1,745}^{14,133} (0,1541x^2 - 2,7107x + 11,581) dx$$

$$A' = \left[\frac{0,158x^3}{3} \right] - \left[\frac{2,748x^2}{2} \right] + 11,748x$$

$$A' = \left\{ \left[\frac{0,1541(14,133)^3}{3} \right] - \left[\frac{2,7107(14,133)^2}{2} \right] + 11,581(14,133) \right\} \\ - \left\{ \left[\frac{0,1541(1,745)^3}{3} \right] - \left[\frac{2,7107(1,745)^2}{2} \right] + 11,581(1,745) \right\}$$

$$A = 21,60$$

Esto quiere decir que el valor de la integral es 21,60, y reemplazándolo en la Ecuación 3.4, tendríamos:

$$t = \frac{0,496}{0,21} (21,60) = 51,02 \text{ días}$$

Entonces, la prueba realizada en el lecho de secado piloto indica que el tiempo necesario para disminuir la humedad de 93,97 a 9,59% es de 51,02 días.

3.8 Porcentaje de Lixiviado

Se recogió el lixiviado durante toda la prueba de secado, obteniendo un volumen final de 7,389 litros, su porcentaje con respecto al volumen de lodo se lo calcula de la siguiente manera.

$$\% \text{ lixiviado} = \frac{\text{volumen de lixiviado}}{\text{volumen de lodo}} \times 100$$

$$\% \text{ lixiviado} = \frac{7,389 \text{ l}}{8,4 \text{ l}} \times 100$$

$$\% \text{ lixiviado} = 87,96$$

3.9 Balance de materia del proceso de secado de los lodos de la Planta Convencional

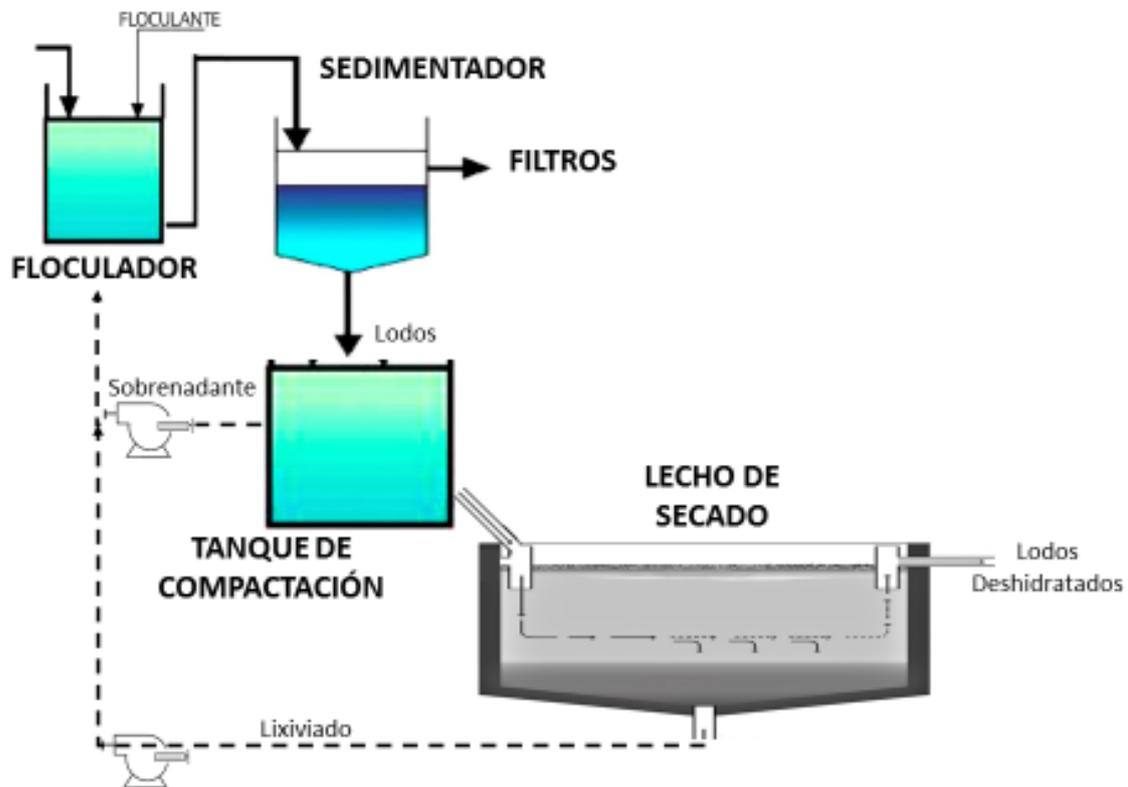


Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de secado de los lodos generados en la Planta Convencional. Fuente: Autores

La base de cálculo es igual a la masa de lodo húmedo proveniente del sedimentador ya que se conoce que el volumen aproximado de lodo húmedo producido mensualmente es de 5850 m^3

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = 980 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Definiendo así la masa de lodo igual a 5733000 Kg , o lo que es lo mismo 5733 toneladas.

3.9.1 Balance de materia en tanque de compactación

$$\text{Lodos} = \text{Sobrenadante} + \text{Lodo compactado}$$

En el apartado 3.1 se determinó que el porcentaje de compactación del lodo es de 29%.

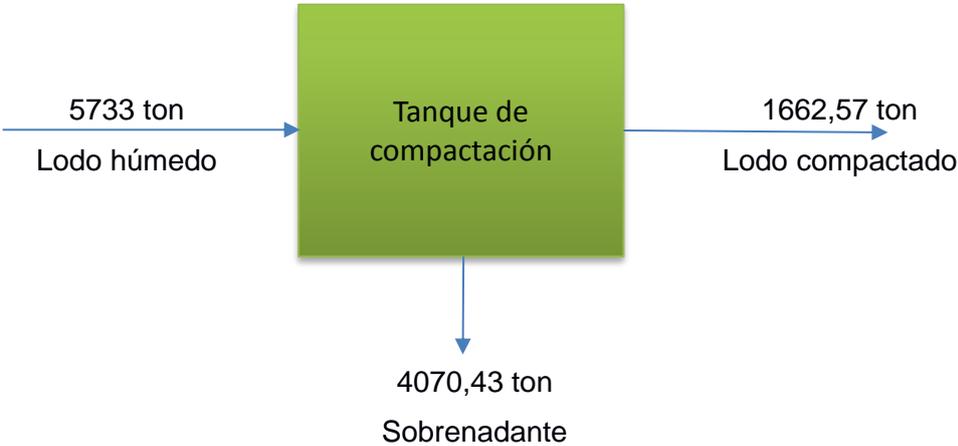
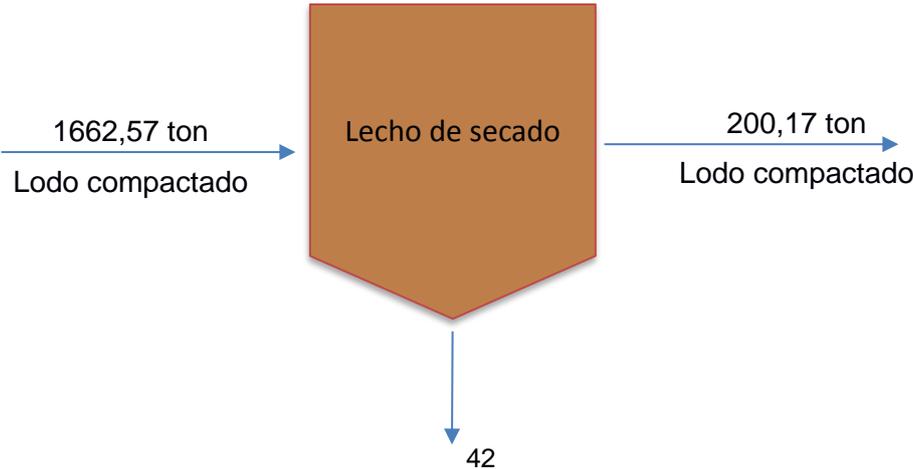


Figura 3.2 Balance de materia en el tanque de compactación. Fuente: Autores

3.9.2 Balance de materia en lecho de secado

$$\text{Lodo compactado} = \text{Lixiviado} + \text{Lodo deshidratado}$$

En el apartado 3.8 se determinó que el porcentaje del lixiviado es de 87.96%.



1462,40 ton

Lixiviado

Figura 3.3 Balance de materia en el lecho de secado. Fuente: Autores

3.10 Propuesta de un proceso de secado de los lodos de la planta potabilizadora Convencional

3.10.1 Área del Lecho de Secado

Para calcular el área requerida de los lechos de secado para los lodos generados en los sedimentadores de la Planta de Tratamiento Convencional tenemos la siguiente ecuación:

$$A_{\text{total}} = \frac{\text{Volumen total de los sedimentadores} \times \% \text{ de compactación}}{\text{Altura del lodo en el lecho}}$$

Volumen de lodo generado en un sedimentador

$$= 1,5 \text{ m altura lodo} \times 75 \text{ m largo} \times 13 \text{ m ancho} = 1462,5 \text{ m}^3$$

Conocemos que la planta cuenta con cuatro sedimentadores; por lo tanto, el volumen total de lodo en los sedimentadores es 5850 m^3

Según (ZHINDÓN ARÉVALO , 2011) para el dimensionamiento de un lecho de secado la altura del lodo no debe exceder los 8 pies (2,4384 m) de altura.

$$A_{\text{total}} = \frac{5850 \times 0.29}{2,4384}$$

$$A_{\text{total}} = 695,74 \text{ m}^2$$

Proponiendo un lecho con 35 m largo y 6 m ancho, considerando nuestra relación del lecho de secado piloto; para conocer el número de lechos requeridos usamos la siguiente ecuación.

$$N = \frac{A_{\text{total}}}{\text{ancho} \times \text{altura}} = \frac{695,74}{210} = 3,31 \approx 4 \text{ lechos}$$

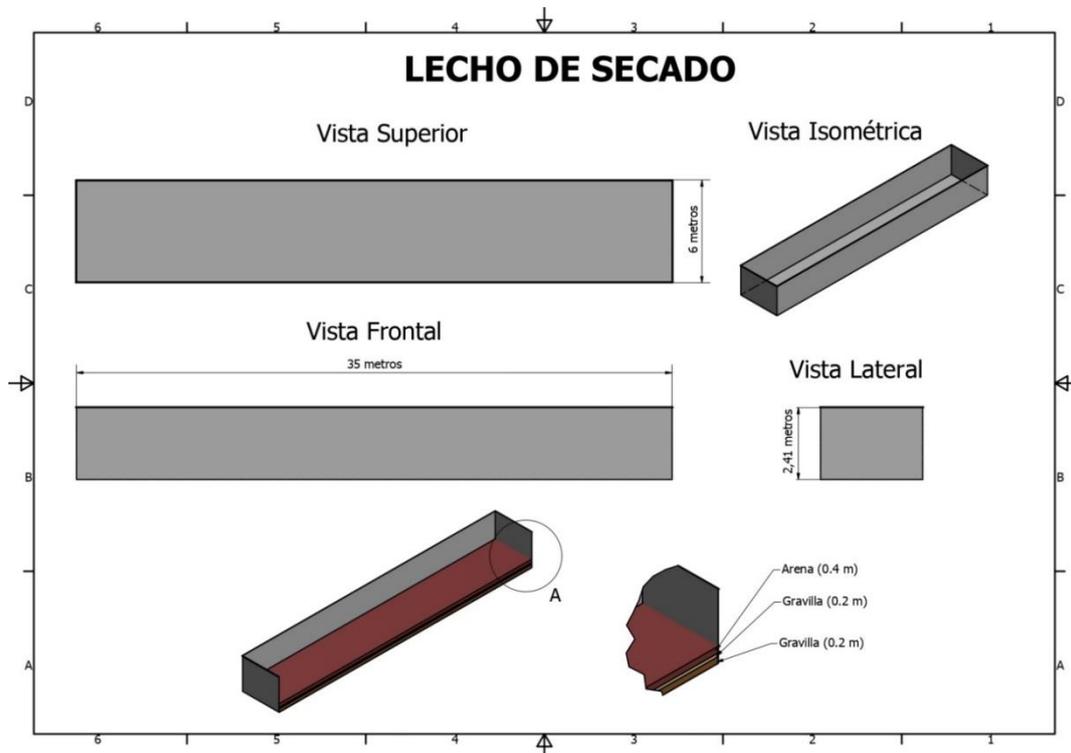
Tomando en consideración que la descarga de los lodos provenientes del lavado de los sedimentadores se realiza mensualmente y que el tiempo de secado calculado es de 51 días, se propone construir cuatro lechos más de tal manera que estos puedan usarse simultáneamente.

Conociendo el número de lechos y el volumen total de lodo compactado, se calculó la altura de lodo para cada lecho.

$$\text{altura} = \frac{(\text{volumen de lodo}) \div (\#\text{lechos})}{\text{area de lecho}} = \frac{212,06 \text{ m}^3}{210 \text{ m}^2} = 1,01 \text{ m}$$

Los lechos tendrían una profundidad de 2,01 m. De los cuales 1,01 m son para el lodo, 0,4 m son para la arena, 0,4 m son para la grava, 0,2 m son para la gravilla; sin embargo, según (ZHINDÓN ARÉVALO , 2011) se usa 20% de la altura para determinar un borde libre, el cual sería 0,4m. Por lo tanto, la profundidad del lecho sería de 2,41 m.

A continuación, se muestra el diseño del plano del lecho de secado, el cual también se encuentra en el Anexo 4.



Plano 3.1 Dimensiones de Lecho de secado. Fuente: Autores.

3.10.2 Tanque de compactación

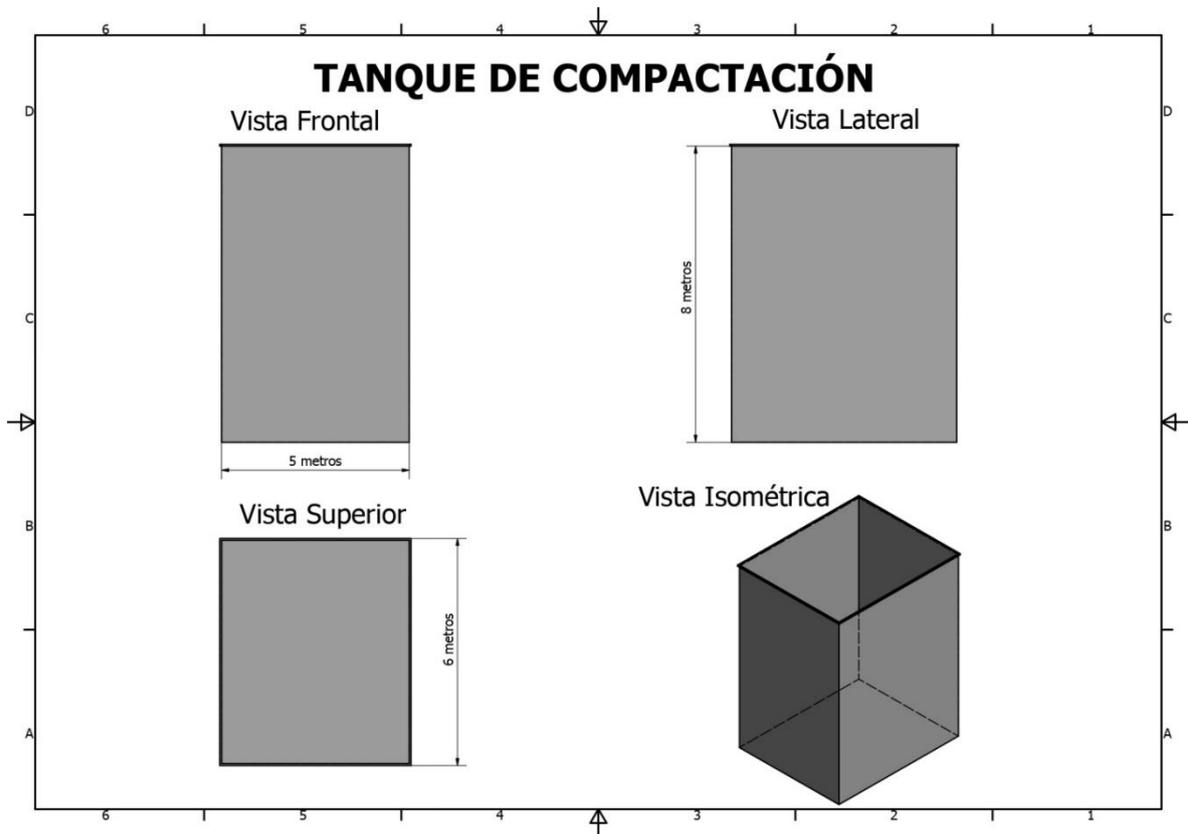
Para determinar el volumen del tanque de compactación se considera las programaciones de los lavados de los sedimentadores, los cuales se realizan de manera mensual en días diferentes.

Habiendo calculado el volumen de lodo generado en un sedimentador, se toma en cuenta de acuerdo a la bibliografía revisada un sobredimensionamiento del tanque al 30%.

$$\text{Volumen Tanque Compactación} = 1462,5 \times 1,30 = 1901,25 \text{ m}^3$$

Considerando que son ocho lechos de secado que se necesitan para la planta, se propone la elaboración de ocho tanques de compactación; cuyas dimensiones serán de 6 m de largo, 5 de ancho y 8 m de profundidad.

A continuación, se muestra el diseño del plano del tanque de compactación, el cual también se encuentra en el Anexo 5.



Plano 3.2 Dimensiones del Tanque de compactación. Fuente: Autores.

3.11 Resultados de los análisis de laboratorio

Tabla 3.6 Caracterización del lodo proveniente de la planta potabilizadora Convencional. Fuente: Autores

Parámetros	Resultados	Unidades
Solidos totales	57200	%
Aluminio	3062,388	mg/kg
Mercurio	<0,075	mg/kg
Hierro	2139,35	mg/kg
Plomo	<0,075	mg/kg

El Aluminio presente en el lodo deshidratado es de 2315,18 mg/kg.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En las plantas de tratamiento de agua se generan lodos de diferente naturaleza que deberían ser tratados antes de ser dispuestos en el recurso agua o suelo con el fin de minimizar el impacto ambiental. Un método económico y de fácil manejo para su tratamiento es con el uso de lechos de secado, que tiene como principio la deshidratación del lodo para así obtener un lodo deshidratado con parámetros físicos y químicos que cumplan con la normativa vigente, y/o que puedan tener otro uso como la agricultura.

Con las pruebas realizadas se obtuvo que el porcentaje de humedad inicial fue de 93,97% y un porcentaje de humedad final de 9.59% es decir dándose una pérdida de humedad de 84.38% y eso se debió a que se extrajo la mayor cantidad de agua en el tacho de compactación.

Con la implementación de un lecho de secado para tratar los lodos generados por la Planta Potabilizadora Convencional que actualmente se descargan en la vertiente más cercana, se minimiza el impacto en el recurso agua y la erosión del suelo; protegiendo así los hábitats existentes ya que el aluminio se reduce de 3062,388 mg/kg a 2315,18 mg/kg; por lo tanto, no se puede disponer en cultivos de productos para al consumo humano.

Los lodos de la planta deben ser sometidos a un tratamiento posterior con el fin de reducir los parámetros a niveles permisibles para que puedan ser dispuestos en un relleno sanitario específico para los lodos de la planta, ya que su transporte no es complejo, debido a que gracias al proceso de deshidratación los lodos alcanzan una consistencia semisólida.

La propuesta para el tratamiento de los lodos generados en los 4 sedimentadores de la Planta Potabilizadora Convencional son 8 tanques de compactación de 6 m de largo, 5 m de ancho y 8 m de profundidad, en donde se recibirá 1462,5 m³ de lodo compactado que se dispondrán en 8 lechos de secado de 35 m de largo y 6 m de ancho. Se propone la fabricación de 8 lechos porque el tiempo de secado fue de 52 días y la planta realiza lavados de los sedimentadores 1 vez al mes.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar este proyecto también en otra época del año, porque se trabajó con lodos generados con una turbiedad baja, en invierno la turbiedad aumenta y con ello las características fisicoquímicas del lodo.

Se obtuvieron dos subproductos con el desarrollo del proyecto, el lixiviado del lecho de secado, y el sobrenadante producto de la compactación del lodo. En ambos casos si los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos no excedan los límites permisibles se recomienda darles disposición final en el recurso agua, o recircularlo a la planta, específicamente a los floculadores.

Se recomienda el estudio de la factibilidad de la circulación de estos subproductos a la planta.

Se recomienda la construcción de una cubierta para el lecho de secado que impida el ingreso de aguas lluvia que aumente la humedad y a su vez el desgaste de los filtros. (ZHINDÓN ARÉVALO , 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- ALDANA TIQUE, A., & PÉREZ ROJAS, R. (2017). *Repositorio UNIVERSIDAD DE LA SALLE*. Obtenido de PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS EN UNA PTAP CONVENCIONAL. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE EL ESPINAL-TOLIMA:
http://repositorio.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22405/41112712_2017.pdf?se
- AROSTEGUÍ SÁNCHEZ, W. (2018). *Repositorio de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE LA PLANTA DE AGUA POTABLE REGIONAL YANAHURCO CANTÓN MOCHA PROVINCIA TUNGURAHUA:
<http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/8633>
- Bratby , J. (2006). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing.
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. Córdoba, Argentina.
- Lozano rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). *Potabilizacion del Agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá.
- Masschelein, W. (1992). *Unit Processes in Drinking Water Treatment*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Normalización, I. E. (1998). *NTE INEN 2176:1998*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN: <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Normalización, S. E. (1998). *NTE INEN 2169:98*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización : <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ZHINDÓN ARÉVALO , C. (2011). *TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE MAHUARCAY MEDIANTE EL USO DE UN LECHO DE SECADO* . Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2618>

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADO DE ANÁLISIS DE ALUMINIO DE LA MUESTRA DE LODO DESHIDRATADA



Laboratorio Ambiental Acreditado ISO 17025

INFORME DE ENSAYOS
N° 77727-1



7772707292019000000 Icajape

Guayaquil, 7 DE AGOSTO DEL 2019

VILLAFUERTE INTRIAGO MADUI STEFANY
Representante Legal: VILLAFUERTE INTRIAGO MADUI STEFANY
Dirección: Guayaquil, Tel. 0980570580
Atención: Ing. Mabel Villafuerte

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 2019/07/29 / 11:00 / Guayaquil
 Fecha/Hora Recepción Muestras: 2019/07/29 / 11:13
 Punto e Identificación de la Muestra: Lodo de la planta de tratamiento
 Matriz de la muestra: Lodos
 Muestreo Por/Muestreador/Tipo de Muestreo: CUENTE / CUENTE / Simple
 Duración de Muestras:
 Coordenadas Geográficas: ---
 Norma Técnica de muestreo: No Aplica
 Muestreo Actividad Acreditado: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: ORO, DBO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, S1 y SBT.

FISICOQUIMICOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U R-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Sólidos Totales (1)	57200,000	%	---	2540 G	2019/08/02 ER

METALES

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U R-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Aluminio (1)	2062,388	mg/Kg	---	3120 B	2019/08/02 ER
Mercurio (1)	<0,075	mg/Kg	---	KP-0E5	2019/08/02 ER
Hierro (1)	2139,35	mg/Kg	---	3120 B	2019/08/02 ER
Plomo (1)	<0,075	mg/Kg	---	KP-0E5	2019/08/02 ER

SMR (Sólidos):
 --- No Aplica
 (1) Método de Límite Detección
 N.S. No Detectado

UNIDAD: U R-2 Inicialmente
 S.P.A. (Environmental Protection Agency)
 S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible
 P.E.C. Procedimiento específico de Ensayo

NOMENCLATURA:
 (1) Parámetro no acreditado en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAC.
 (2) Parámetro acreditado NO ACREDITADO, competencia no basta. En: 5 Anexos de Calidad de GDM.
 (3) Parámetro acreditado con resultado más FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
 (4) Parámetro acreditado ACREDITADO, ver alcance en www.acreditacion.gov.ec



Q.F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de Calidad

MEMORANTE:
 Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA la reproducción total o parcial sin autorización escrita de GDM.

Parque California 2 Local D-41 Km. 11,5 vía a Daule
 042-203390(2) / 042-103825(35) / 0998-286653
 www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

Página 1 de 2

ANEXO 1



VILLAFUERTE INTRIAGO MAOLI STEFANY
Representante Legal: VILLAFUERTE INTRIAGO MAOLI STEFANY
Dirección: Guayaquil, Tel. 0980570580
Atención: Ing. Maoli Villafuerte

Guayaquil, 7 DE AGOSTO DEL 2019

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:	2019/07/29 / 11:00 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2019/07/29 / 11:13
Punto e identificación de la Muestra:	lodo de la planta de tratamiento
Matriz de la muestra:	lodos
Muestreo Por/Muestreador/Tipo de Muestreo:	CUENTE / CLIENTE / Simple
Duración de Muestreo:	---
Coordenadas Geográficas:	---
Norma Técnica de muestreo:	No Aplica
Muestreo Actividad Acreditada:	Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Acidez y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Q.F. FERNANDO-MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:
Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas. PROHIBIDA la reproducción total o parcial sin autorización escrita de GOM.

Parque California 2 Local D-41 Km. 11,5 vía a Daule
042-103390(2) / 042-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

ANEXO 2

RESULTADO DE ANÁLISIS DE ALUMINIO DE LA MUESTRA DE LODO DESHIDRATADO



Informe de ensayo									
Guayaquil OL N°36774/1									
Datos del cliente									
Cliente:	Romero Suarez Karen Denise								
Direccion:	Duran, Abel Gilbert 3 Mz A 20 Vlla 5								
Solicitado por:	Ing. Karen Romero Suarez								
Muestreo realizado por:	Analista Karen Romero				Tipo de muestreo: N/A				
Fecha de muestreo:	19/08/2019	Hora de muestreo:	07:00	Lugar de muestreo:	Planta de Tratamiento Convencional				
Fecha de recepcion:	19/08/2019	Fecha de analisis:	19/08/2019	Reporte final:	29/08/2019				
<small>NOTA: Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificaci3n de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobaci3n escrita del laboratorio. Preguntas o comentarios comuniquese al: 040-399192. Ext: 107-110 o 120. La informaci3n contenida en este certificado est3 sujeta a validaci3n por las partes interesadas.</small>									
Datos de la Muestra									
Tipo:	Lodo	Cantidad:	80g	Envase:	cerado, de plastico,				
Identificaci3n de la muestra:	M1 - Muestra # 1; Descripci3n: Lodo Seco								
Resultados									
Parametro	Metodo	AQLA	SAE	Unidad	Resultados	LOQ	LOD	(*)	(†)
*Aluminio	EPA 3055			mg/kg	2315.18	1000	-	-	

Las opciones/ interpretaciones que se indican a continuaci3n, est3n FUERA del alcance de acreditaci3n del SAE y AQLA.
 Nota:
 LOQ: L3mite de cuantificaci3n, LOD: L3mite de detecci3n, ND: No detectable (l3mite de detecci3n
 (H) (Incertidumbre) U EXPANDIDA, basada en un nivel de confianza de K = 2 (95%)
 (†) Parametro fuera del alcance de Acreditaci3n
 (*) Por fuera de rango de validaci3n del metodo
 (†) Parametro Subcontratado

Digitally signed by MARTHA VANESSA NAVARRETE LOYOLA
Date: 2019.08.26 10:26:10 COT

Dra. Martha Navarrete
 Gerente de Laboratorio

ANEXO 2



INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. que en adelante podrá denominarse para todos los efectos de este contrato, simplemente LA COMPAÑIA o INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A., ejecuta el servicio de análisis para la persona natural o jurídica o entidad, que ha solicitado los servicios al anverso de este documento (la cual en lo sucesivo se denominará "EL CLIENTE"). Ninguna otra persona o entidad está autorizada para impartir instrucciones a INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A., particularmente en el ámbito del procedimiento de inspección a la emisión del certificado, a menos que esté debidamente autorizado por EL CLIENTE y aceptado por LA COMPAÑIA. Sin embargo, INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. se considerará irrevocablemente autorizada para entregar el certificado a un tercero siempre que así sea autorizado por EL CLIENTE o requerido por una autoridad gubernamental o judicial competente.

LA COMPAÑIA prestará los servicios de acuerdo con las instrucciones específicas confirmadas por el CLIENTE y en los términos del Formulario de Solicitud que consta en el anverso, así como con otras costumbres, usos o prácticas comerciales pertinentes y con los métodos que LA COMPAÑIA considere apropiados en términos técnicos, operacionales y/o financieros.

Los documentos entre EL CLIENTE y terceros, o documentos de estos, tales como copias de contratos de venta, cartas de crédito, conocimientos de embarque, etc. (si fueren recibidos por la COMPAÑIA) serán considerados únicamente con fines informativos, sin que en ningún caso extiendan o restrinjan las obligaciones aceptadas por LA COMPAÑIA.

Las muestras de productos comestibles serán retenidas por LA COMPAÑIA por un periodo máximo de 30 (treinta) días o un plazo más corto según lo permita la clase del producto de cuya muestra se trate. Tal muestra será, por decisión únicamente de LA COMPAÑIA, devuelta al CLIENTE o desechada por LA COMPAÑIA. En cualquiera de los casos, a expensas del CLIENTE, quien pagará un cargo por bodegaje por cualesquier productos conservados por LA COMPAÑIA más allá de 30 (treinta) días.

LA COMPAÑIA, al ejecutar sus servicios no asume, se subroga o toma para sí el relevar al CLIENTE de cualquier tarea o responsabilidad que le corresponda hacia un tercero o de un tercero con el CLIENTE.

Sujeto a las instrucciones del CLIENTE y aceptadas por LA COMPAÑIA, ésta emitirá reportes y certificados de inspección que reflejan declaraciones de opinión hechas con el debido cuidado dentro de la limitación de las instrucciones recibidas, pero LA COMPAÑIA no tiene obligación para referir o reportar acerca de cualquier hecho o circunstancia fuera de las instrucciones específicas recibidas.

Los reportes o certificados emitidos por INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. se refieren únicamente al lote o lotes de los cuales fueron tomadas las muestras, ya que las mismas son representativas del mismo lote o lotes; y tales reportes y certificados solo se limitan al momento, fecha y lugar donde se realiza el análisis y dentro de los límites de las instrucciones y asuntos del CLIENTE señalados con el numeral 2 que antecede.

EL CLIENTE se obliga a:

Entregar a LA COMPAÑIA en forma oportuna y suficiente, la información que permita que los servicios solicitados sean debidamente ejecutados.

Proporcionar a los representantes de LA COMPAÑIA, y autoridades gubernamentales, todo el acceso necesario para permitir que los servicios sean eficientemente realizados y proporcionará todo el equipo especial y personal necesario para la prestación de tales servicios.

LA COMPAÑIA asume la responsabilidad de debido cuidado y habilidad en la ejecución de sus servicios y acepta responsabilidad únicamente cuando no actúe con esos cuidados y habilidad necesarios y se pruebe negligencia de LA COMPAÑIA.

A menos que se convenga por escrito en contrario, la responsabilidad de LA COMPAÑIA respecto a cualquier reclamo por pérdidas, daños o gastos de cualquier naturaleza y que de cualquier forma surjan por violación de contrato y/o cualquier omisión en ejercer el debido cuidado y habilidad por parte de LA COMPAÑIA, no excederá en ningún caso una suma total igual a 10 (diez) veces el monto del honorario o comisión pactados respecto al servicio específico solicitado en la correspondiente orden aceptada por LA COMPAÑIA que de lugar a tales reclamos o US\$20.000,00 (Veinte mil dólares de los Estados Unidos de América) cualquiera que sea menor, bien entendido que LA COMPAÑIA no tendrá responsabilidad respecto de cualquier reclamo por pérdidas directas o indirectas incluyendo lucro cesante y/o pérdida de negocios futuros y/o pérdida de producción y/o cancelaciones de contratos pactados por EL CLIENTE.

A menos que se convenga por escrito en contrario, EL CLIENTE garantiza que mantendrá indemne e indemnizará a INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. y a sus ejecutivos, empleados, etc., contra cualquier reclamo de un tercero por pérdida, daño o costo de cualquier naturaleza y relacionado a la ejecución, promesa de ejecución o no ejecución de cualesquier servicios hasta el límite de que la suma acumulada de tales reclamos relativos a uno cualquiera de los servicios exceda el límite mencionado en el numeral 10.

En casos o gastos no previstos, consecuencia de los productos o servicios contratados, INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. tiene derecho a cobrar esos costos adicionales.

EL CLIENTE pagará el 50% (Cincuenta por ciento) de las facturas al momento en que LA COMPAÑIA recibe la muestra; tendrá 20 días de plazo, que incluyen feriados y días inhábiles, para pagar el saldo. En caso de atraso en el pago de la respectiva factura, se cobrará un 15% (quince por ciento) de interés anual adicional al interés legal por concepto de mora.

EL CLIENTE no podrá retener o demorar el pago, a causa de cualquier disputa o reclamo contra INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A.

En caso de cualquier arreglo o suspensión de pagos hecho por EL CLIENTE con acreedores, quiebra o insolvencia, o cesación de negocios del CLIENTE, LA COMPAÑIA estará facultada para suspender toda prestación de los servicios, sin responsabilidad de su parte.

Si no se puede realizar o completar el servicio por caso fortuito o fuerza mayor, EL CLIENTE pagará los gastos efectuados en el servicio que no se haya podido o realizar o completar, o una suma en proporción al servicio realizado, cualquiera que sea mayor.

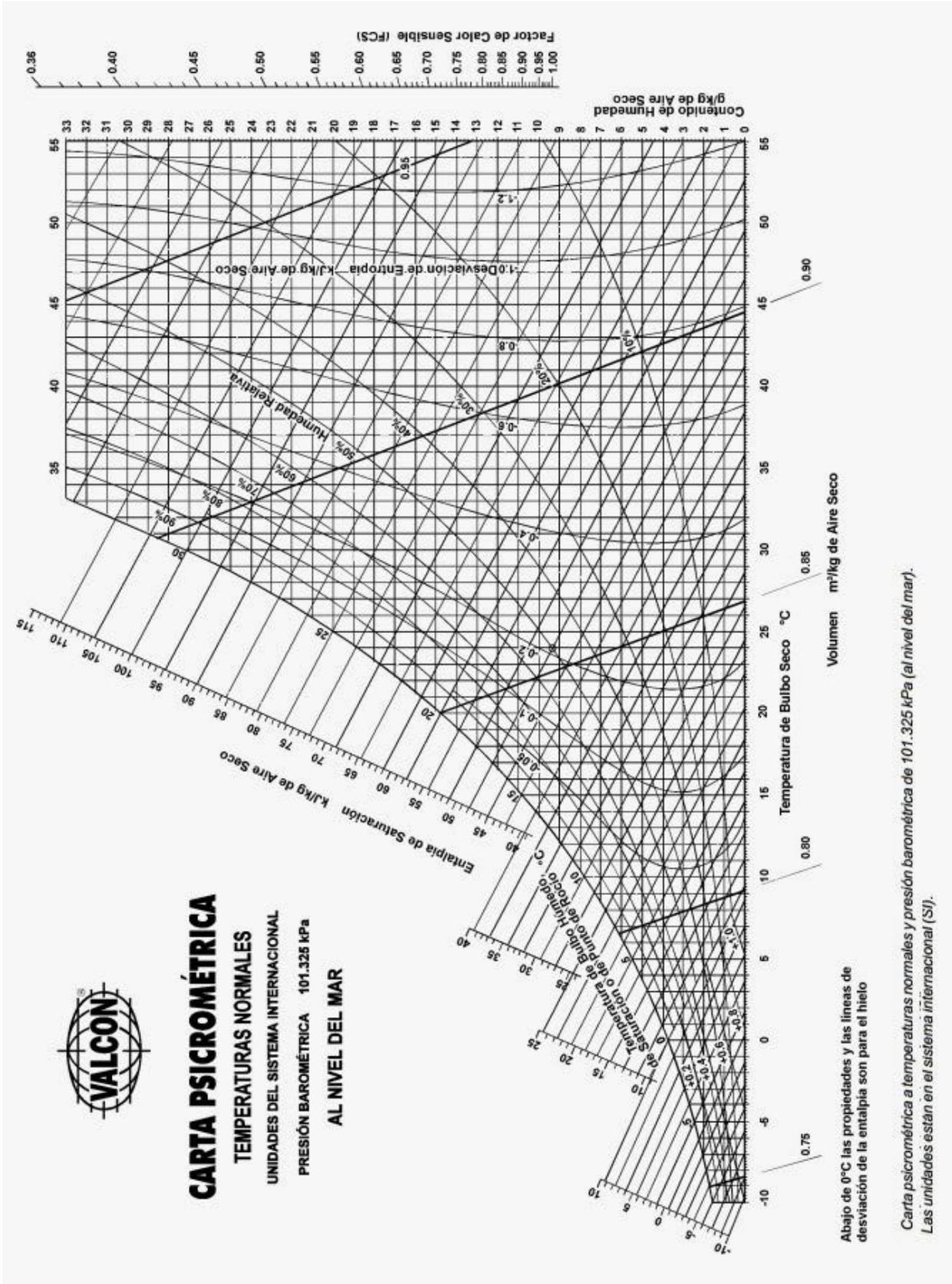
En el evento de un reclamo, EL CLIENTE deberá notificar a INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A., dentro de los 30 (treinta) días de haber recibido los resultados del servicio, y en cualquier caso INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. estará libre de toda responsabilidad por pérdidas, daños o gastos, a menos que se inicie proceso legal dentro de los 6 (seis) meses de la ejecución del servicio, o en el evento de que se alegue no ejecución del servicio dentro de los 6 (seis) meses de la fecha en que el servicio debió ser completado.

LA COMPAÑIA no es garante ni asegurador del CLIENTE y no acepta ninguna responsabilidad en esa calidad. EL CLIENTE que requiera una garantía contra pérdidas o daños deberá obtener seguro apropiado por su cuenta y riesgo.

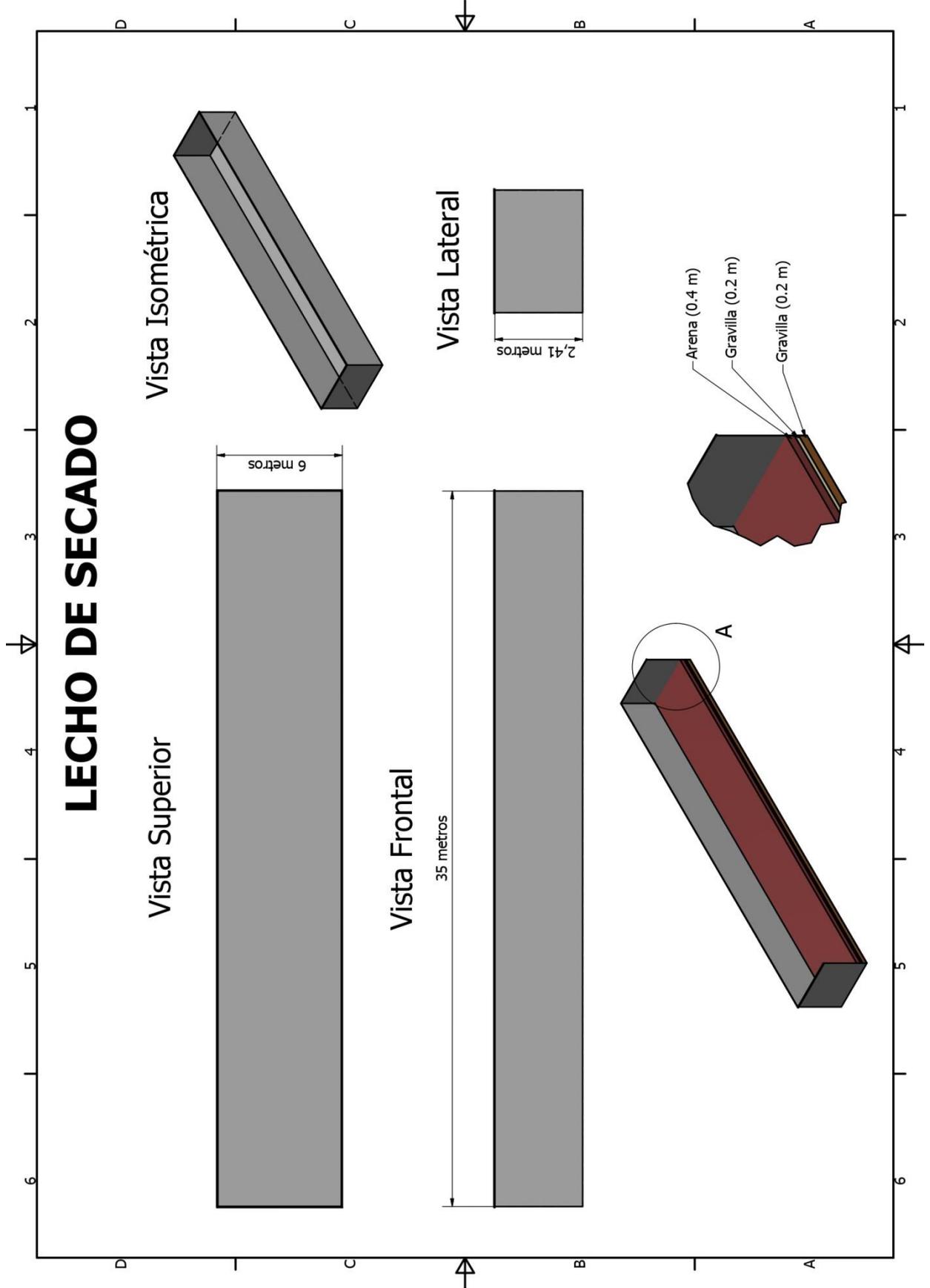
Ninguna enmienda o exención de cualquiera de estas Condiciones Generales tendrá efecto a menos que sea hecha por escrito y con la firma del representante de la COMPAÑIA.

En caso de que el presente Acuerdo involucre el convenio con el Instituto Nacional de Pesca o cualquier otro Acuerdo que LA COMPAÑIA haya llegado de manera independiente con el cliente, será este último el que prevalezca sobre las presentes CONDICIONES GENERALES.

ANEXO 3 CARTA PSICROMÉTRICA



ANEXO 4



ANEXO 5

