



RESUMEN

La Empresa Pública de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues, dispone de tres Plantas Potabilizadoras de Agua, siendo la de mayor capacidad de producción la Planta Potabilizadora de Mahuarcay con un promedio de 100 l/s.

Los lodos que se producen en el proceso de tratamiento de floculación, sedimentación y filtración son vertidos directamente a la quebrada de Mahuarcay, razón por la cual el presente estudio trata la factibilidad de implementar un lecho de secado de tal manera que la descarga cumpla con las normas dispuestas en el Libro VI Anexo 1, Artículo 4.2.3.7. del TULAS.

La investigación inició con la caracterización del cuerpo receptor, lodos generados en el proceso de sedimentación y filtración mediante análisis de laboratorio. Con la ayuda de un lecho piloto se pudo desarrollar el proceso de secado de los lodos, determinando el porcentaje de humedad, la velocidad y el tiempo de secado.

El dimensionamiento del lecho de secado, basado en la bibliografía, se realizó mediante procesos de cálculo; determinando que se requiere de 24 lechos de secado con dimensiones de 8 m de ancho por 19 m la largo y 1,06 m de profundidad.

PALABRAS CLAVES:

LECHO DE SECADO

PLANTA POTABILIZADORA

PROCESOS DE POTABILIZACION

TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION AMBIENTAL

LODOS

SEDIMENTACIÓN

CHARACTERIZACION DE LOS LODOS

DIMENSIONES DE LOS LECHOS DE SECADO

EFLUENTE

LEXIVIADO



INDICE

NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	7
GLOSARIO.....	9
CAPITULO 1.	13
INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
CAPITULO 2.	15
GENERALIDADES Y ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	15
2.1 DATOS GENERALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUAYCAY.....	15
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	14
2.3 UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	23
2.4 DIAGRAMA DEL PROCESO DE POTABILIZACION EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	23
2.5 ANTECEDENTES SOBRE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	25
2.6 EFECTOS AMBIENTALES DE LA DESCARGA DE LODOS EN LA QUEBRADA MAHUARCAY.....	28
2.7 ASPECTOS LEGALES DE LA DESCARGA DE LODOS.....	29



CAPITULO 3.	30
CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	30
3.1 PRODUCCIÓN DE LODOS.....	30
3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL CUERPO RECEPTOR.....	31
3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LOS LODOS.....	32
3.4 APLICACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.....	35
CAPITULO 4.	38
TRATAMIENTO DE LOS LODOS MEDIANTE LECHOS DE SECADO.	38
4.1 CARACTERIZACIÓN Y USO DE LOS LECHOS DE SECADO.....	38
4.2 TRATAMIENTO DE LOS LODOS EN UN LECHO DE SECADO PILOTO.....	38
4.3 PROCESO DE SECADO DE LOS LODOS.....	43
CAPITULO 5.	54
DIMENSIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE CÁLCULO DEL LECHO DE SECADO DE LOS LODOS.....	55
5.1 CONCEPTUALIZACIÓN.....	55
5.2 ESPECIFICACIONES.....	56
5.3 CÁLCULOS.....	58



5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE ESPESADOR.....	62
5.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL LECHO DE SECADO.....	64
CAPITULO 6.	66
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	66
6.1 RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL.....	66
6.2 ANÁLISIS DE LOS LODOS.....	67
6.3 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL LECHO DE SECADO...	70
6.4 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS DESHIDRATADOS.....	71
CAPITULO 7.	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
7.1 CONCLUSIONES.....	74
7.2 RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	79



UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES

MONOGRAFÍA PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN AMBIENTAL PARA
INDUSTRIAS DE PRODUCCIÓN Y
SERVICIOS

**TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA
POTABILIZADORA DE MAHUARCAY MEDIANTE EL USO DE UN
LECHO DE SECADO**

AUTOR:

CÉSAR ZHINDÓN ARÉVALO

DIRECTORA:

Ing. DIANA MOSCOSO VANEGAS

Cuenca – Ecuador

2011



DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por regalarme salud, inteligencia y la vida para culminar con mi meta. A mis queridos Padres César y Rosa quienes me brindan su amor en cada uno de mis ideales. A mi esposa Mónica por su comprensión y cariño manifestado, a mis hijas Génesis y Monserrath por su ternura. A mis Hermanos por la confianza depositada. También. A mis Tías: Rosa, Florencia y Luisa por su afecto entregado durante mi vida.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, en la persona de la Dra. Nancy García Directora de la Maestría por brindarme la oportunidad de estudiar. A la Ing. Diana Moscoso, Directora de la Tesis, por la ayuda incondicional prestada en el desarrollo de este trabajo. A EMAPAL EP en la persona del Ing. en Cornelio Cajas, Gerente de la Empresa por la facilidad ofrecida. A mis comparemos de trabajo en especial al Ing. Fernando García Ávila por su apoyo incondicional.



NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

cm: Centímetro.

cm³: Centímetro cúbico.

CESEMIN: Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos de la Universidad de Cuenca.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

e: Espesor.

EMAPAL EP: Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues.

ETAPA EP: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento de Cuenca.

º: Grados.

ºC: Grados centígrados.

g: Gramo.

HR: Humedad relativa.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INIAP: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

Kg: Kilogramos masa.

Km: Kilómetro.

l: Litro.

m: Metro.

m³: Metro cúbico.

mg: Miligramo.

ug: Microgramo.



ml: Mililitro.

mm: Milímetro.

msnm: Metro sobre el nivel del mar.

NKT: Nitrógeno Kjeldahl Total.

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

NMP: Número más probable de coliformes.

PTM: Planta de Tratamiento de Mahuarcay.

PVS: Policloruro de vinilo.

”: Pulgadas.

Q: Caudal.

s: Segundo.

TOC: Carbono orgánico total.

TULAS: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.



GLOSARIO

AFLUENTE: Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: Agua apta para el consumo humano.

CALIDAD DE AGUA: Características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua que la hacen aptas para el consumo humano, sin implicancias para la salud, incluyendo apariencia, gusto y olor.

CARTA PSICROMÉTRICA: Es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire.

CARRERA DE FILTRO: Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continúa en dicho intervalo. Generalmente se expresa en horas.

COAGULACIÓN: Proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en una suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador.

COLIFORMES: Microorganismos indicadores de contaminación fecal.

EFLUENTE: Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida.

DESINFECCIÓN: La desinfección del agua destinada al abastecimiento público es el proceso mediante el cual se destruyen los organismos (patógenos) presentes en ella, que son capaces de producir enfermedades al ser humano.



FILTRACIÓN: Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores.

FLOCULACIÓN: Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación.

FLOCULADOR: Estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que decanten con rapidez y que sean resistentes a los esfuerzos cortantes que se generan en el lecho filtrante.

FLÓCULOS: Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.

HIGRÓMETRO: Es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire, del suelo, de las plantas, dando una indicación cualitativa de la humedad ambiental.

HUMEDAD DE EQUILIBRIO: El grado de presión de vapor que ejerce la humedad contenida en un sólido húmedo o en una solución líquida depende de la naturaleza de la humedad, la naturaleza del sólido y la temperatura.

HUMEDAD RELATIVA: Cantidad de vapor de agua presente en el aire, expresado como porcentaje de la cantidad máxima de vapor que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura.

LECHOS DE SECADO: Llamados también eras, camas o canchas de secado son el método de deshidratación de lodo más empleado. Los lechos de secado se suelen utilizar, normalmente, para la deshidratación de lodos digeridos. Una vez seco, el lodo se retira y se evacúa a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos.

LIXIVIADO: Es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es más comúnmente hallado o asociado a rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro.

LODOS: Uno de los aspectos más críticos en la operación de las plantas de tratamiento, es el manejo de los lodos que se producen durante los procesos de sedimentación y filtración. Estos provienen de la coagulación con sulfato de aluminio, de compuestos férricos, o de la remoción del color de turbiedad del agua.



MANTENIMIENTO: Mantenimiento es el conjunto de acciones internas que se ejecutan en las instalaciones o equipos de una planta de tratamiento, para prevenir daños o para su reparación cuando en estos ya se hubieran producido algún tipo de daño a fin de conseguir el buen funcionamiento del sistema.

MUESTRA INSTANTÁNEA: Es la muestra tomada al azar (con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua).

NITROGENO TOTAL KJENDAHL: Es un indicador utilizado en ingeniería ambiental. Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio NH_4^+ . También se utiliza para determinar proteínas en alimentos.

OBJETIVO: Propósito o fin que se pretende alcanzar con la realización de una operación, actividad, procedimiento o función.

OPERACIÓN: El conjunto de acciones externas que se ejecutan en las instalaciones o equipos de una planta de tratamiento para conseguir el buen funcionamiento del sistema. Se dice que son acciones externas porque no alteran la naturaleza ni las partes constitutivas de las instalaciones o equipos.

PARÁMETRO: Es una medida constante e invariable de un elemento o compuesto, que sirve de referencia para llevar a cabo un análisis.

pH: El término pH es usado para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución e indica la actividad del ión hidrógeno más que su concentración. Este parámetro es de gran importancia en los diferentes procesos de tratamiento del agua, por ejemplo en la coagulación química, en la desinfección, en el ablandamiento y en el control de la corrosión.

POTABILIZACIÓN: Es el proceso mediante el cual se transforma el agua cruda en Agua Potable.

PROCEDIMIENTO: Sucesión cronológica de operaciones concatenadas entre sí que constituyen una unidad dentro de un ámbito determinado de aplicación.

SEDIMENTACIÓN: Proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites.



SÓLIDOS TOTALES: Es la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.

TASA DECLINANTE DE FILTRACIÓN: Condición de operación de un filtro en el que la velocidad de filtración decrece a medida que se colmata el filtro.

TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano.

TURBIEDAD: Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua.



CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN

En la Planta de Tratamiento de “Mahuarcay” (PTM), que abastece a la ciudad de Azogues, se realiza la potabilización del agua, para lo cual es necesario remover los sólidos suspendidos, sólidos disueltos y partículas coloidales que hacen que el agua no sea confiable y segura para los usos a los que se destina.

Las plantas potabilizadoras producen agua de muy buena calidad a partir de agua cruda disponible de cualquier fuente, utilizando tratamientos convencionales como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Los sólidos que se remueven del agua cruda constituyen los residuos de la Planta Potabilizadora de agua.

Hoy en día la gran mayoría de las plantas potabilizadoras a nivel mundial envían estos residuos de tratamiento al cuerpo de agua o alcantarillado más cercano provocando un incremento del nivel de contaminación en las desembocaduras finales y por ende posibles alteraciones en el medio ambiente.

Por lo que el tratamiento y/o disposición final de estos residuos merece atención, cuando se habla de proyectos de diseño y construcción de nuevas plantas potabilizadoras, también se debería plantear el diseño y construcción de un sistema de tratamiento de los lodos producto de la potabilización del agua.

Este proyecto de tesis está encaminado a realizar un estudio que permita determinar si los lechos de secado de arena permiten obtener un efluente que cumpla con las normativas ambientales y por tanto que sean aptas para ser devueltas a un cuerpo de agua dulce.

Actualmente en el Ecuador no se ha emitido normativas o reglamentos que estipulen que todo sistema de tratamiento de agua potable tenga que obligatoriamente realizar un tratamiento y/o disposición final de sus residuos. El presente estudio toma como referencia la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua o Receptor: Agua Dulce del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente: Libro VI Anexo 1, Artículo 4.2.3. Normas de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua o Receptor: Agua Dulce; específicamente el artículo 4.2.3.7.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar si la implementación de un lecho de secado para los lodos generados en la Planta Potabilizadora de Mahuarcay, contribuirá significativamente a la descontaminación de la quebrada Mahuarcay de la microcuenca del río Tabacay.



1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer las características que presentan los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Mahuarcay, y estudiar el cumplimiento de la normativa.
- Realizar ensayos experimentales del tratamiento de lodos a escala de laboratorio para obtener los parámetros de operación del proceso que maximice la eficiencia de deshidratación de estos.
- Implementar un lecho de secado piloto para los lodos, que permita mejorar las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del agua de la quebrada Mahuarcay como del río Tabacay.
- Analizar los datos experimentales obtenidos con el fin de comprobar que el tipo de tratamiento seleccionado cumple con los requerimientos esperados.



CAPITULO 2.

GENERALIDADES Y ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

2.1 DATOS GENERALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUAYCAY

2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

2.1.1.1 **Nombre de la Planta:** Planta de Tratamiento de Mahuar cay (PTM).



Fig. 2.1. *Planta de Tratamiento de Agua Potable “Mahuar cay”*

2.1.1.2 **Ubicación de la Planta:** Se encuentra al noreste de la ciudad de Azogues, a 2810 msnm y a unos 5 Km del centro de la ciudad (sector poblado). Está situado en la parroquia Bayas en el sector denominado como Legabuga en la comunidad de Mahuar cay (zona rural) y de ahí su nombre.

2.1.1.3 **Tipo de Planta:** Planta de tratamiento físico químico de filtración rápida con procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

2.1.2. HISTORIA DE LA PLANTA

2.1.2.1. **Inicio de operación:** La planta opera desde el 14 de febrero del 2005.

2.1.2.2. **Eventos desde el inicio de operaciones:** Ampliación de la capacidad de los floculadores.



2.1.2.3. Remediaciones en el sitio: Cambio de los lechos filtrantes, debido a una mala estratificación de la grava que hizo que la arena se vaya al falso fondo.

2.1.3. HIDROLOGÍA

Los cursos de agua son pocos y de poco caudal. Los arroyos que surcan las tierras de esta zona, en su mayoría no son más que los cauces naturales de las aguas de las lluvias y los que tienen nacimientos propios, y algunos se secan en verano a excepción de la quebrada denominado Mahuarcay que tiene un caudal regular.

Todos ellos terminan por verter sus aguas en el río Tabacay, que luego van al río Burgay y posteriormente al gran colector del Austro que es el río Paute.

El agua cruda que llega a la planta de tratamiento es captada y conducida desde aproximadamente 5 Km al norte de la planta mediante canal abierto y 1,5 Km por canal cerrado.



Fig. 2.2. Quebrada de "Mahuarcay"

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

Para la flexibilidad de operación con gastos variables la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (PTM) consta de dos módulos acoplados, según memorias de diseño para tratar un caudal nominal de 50 l/s cada módulo [1]. El canal de ingreso, dosificación y mezcla rápida es común para los dos módulos.

A continuación se da una descripción de las unidades que integran el sistema de potabilización en la PTM.



2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE AFORO

Para la medición del caudal se emplea un caudalímetro electrónico, pero hay que mencionar que éste caudalímetro se encuentra instalado en una de las dos tuberías que ingresa el agua a la planta y que esta tubería abastece un caudal de hasta aproximadamente 110 l/s, pero cuando opera la planta con caudales superiores a los 110 l/s es necesario abastecerse con la segunda tubería la misma que no dispone de caudalímetro *Figura 2.3.1*, razón por la cual la medición de caudal en estos casos se realiza en el vertedero rectangular *Figura 2.3.2*; el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal, esta altura se la mide en una regla que está debidamente calibrada *Figura 2.3.3*; se relaciona esta altura por una ecuación que es dependiente del tipo de vertedero, que para este caso es de tipo rectangular.



Fig. 2.3.1. *Caudalímetro electrónico rectangular*

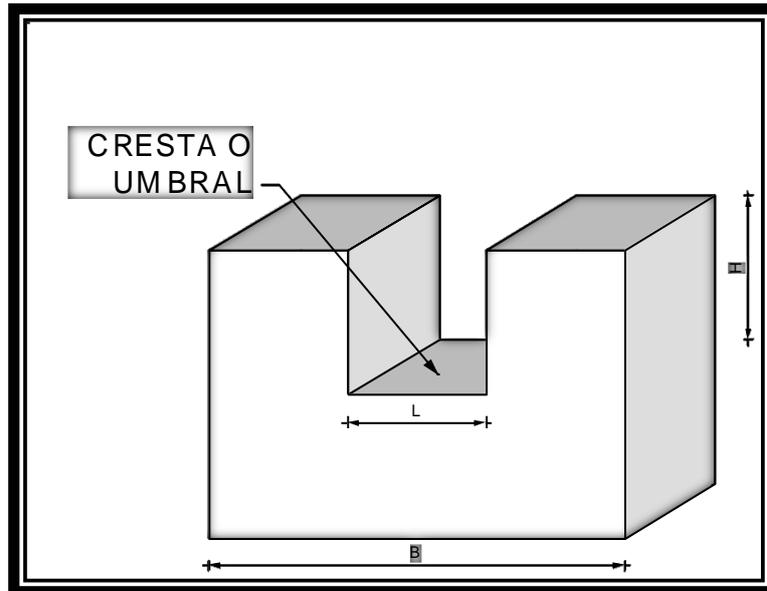


Fig. 2.3.2. *Vertedero rectangular*



Fig. 2.3.3. *Regla ubicada en el vertedero*

El flujo se calcula con la fórmula de Francis:



Formula de Francis:

$$Q = 1,84 \cdot (L - 0,2H) \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = descarga en (m³/s).

L = longitud de cresta en metros (m).

H = altura o diferencia vertical entre la cota de la coronación del vertedero y la cota de la superficie del agua, en metros (m).

B = ancho del vertedero.

Este vertedero tiene una contracción la cual produce con el caudal un chorro angosto y más acelerado que el flujo del canal.

El vertedero permite controlar y registrar la cantidad de agua que ingresa a la PTM, mediante el valor de la altura **H** en el punto de medición determinado en la entrada del vertedero rectangular, la misma que es transformada en caudal mediante una tabla existente en la PTM, dicha tabla está calculada por la fórmula anterior.

2.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA

Esta unidad cuenta con una caja de entrada de flujo ascendente, cuyo propósito es atenuar la turbulencia de la masa de agua para alcanzar apropiadamente el vertedero rectangular ubicado en la coronación de la caja, en donde se mide el caudal a tratar.



El agua luego de pasar por el vertedero corre por unas gradas, generándose el resalto hidráulico en la base de la misma *Figura 2.4.1*, punto en el que se aplica el coagulante. En esta unidad se realiza la mezcla completa del coagulante con el agua cruda.

El gradiente producido en el resalto al pie del vertedero, se aprovecha para producir en un tiempo corto la dispersión de la solución del coagulante (2%), el coagulante empleado en la PTM y es el sulfato de aluminio, el cual se aplica en forma uniforme mediante una tubería perforada llamada *flauta* *Figura 2.4.2*, alimentada por un dosificador de nivel constante y orificio variable, cuya posición se puede variar para optimizar la mezcla.

Se verifica que el sulfato de aluminio ingrese en forma uniforme, para asegurar esto se realiza una limpieza periódica de los orificios de la flauta, para que los distribuidores trabajen adecuadamente.



Fig. 2.4.1. *Resalto hidráulico dosificadora*



Fig. 2.4.2. *Flauta*

Dentro de esta unidad de tratamiento denominada mezcla rápida se desarrolla la coagulación. La coagulación es el resultado de dos fenómenos:

El *primero*, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

El *segundo*, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua [3].

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos.



2.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE FLOCULACIÓN

Una vez dispersado el coagulante, se induce una agitación lenta en el agua, que permita la aglomeración de las partículas desestabilizadas y de lugar al crecimiento del flóculo.

Ese crecimiento es el proceso de floculación que se produce en los floculadores por el contacto entre partículas. El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas. Una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados. De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos [4].

En la PTM luego de la mezcla rápida el agua es conducida por un canal que se divide en dos mediante una pared central. Estos canales conducen y reparten el agua para los dos módulos de la planta, cada módulo tiene un floculador de tabiques de flujo horizontal.

El agua que circula por el canal izquierdo ingresa en el *floculador 1* y su caudal se regula con una compuerta localizada en la entrada.

El agua del *floculador 2* llega por el canal derecho y se regula por una compuerta ubicada en la entrada *Figura 2.5.1*.

El floculador está dividido en tres zonas *Figura 2.5.2* con gradiente decreciente de 60, 30 y 20 s^{-1} y un tiempo de retención de 25 minutos, con tiempos parciales de 5, 10 y 10 minutos respectivamente.

Tabla 1. DATOS TÉCNICOS DE LOS FLOCULADORES

ZONA	TIEMPO PARCIAL MINUTOS	GRADIENTE MEDIO G, s^{-1}
1. Inicial	5	60
2. Media	10	30
3. Final	10	20
TOTAL	25	



Fig. 2.5.1. Compuerta que regula el ingreso del agua a los floculadores.



Fig. 2.5.2.

2.2.4. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Cada módulo de la PTM tiene dos unidades de sedimentadores de placas paralelas, de flujo ascendente, es decir la Planta cuenta con ocho secciones de sedimentación. Los sedimentadores se los ha proyectado de flujo laminar, compuestas de placas paralelas (2,4 x 1,20 m $e=0,008$ m); separación de 6 cm, inclinación 60°. Se dispone de dos “corridas” de placas para cada unidad. La zona de sedimentación cubre un espacio de 2,4 x 5,0 m.

Según memorias técnicas para el diseño de la planta se escogió una carga superficial baja de $120 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-día}$, que representa condiciones adecuadas para los flóculos de bajo peso y velocidad de sedimentación [5].

Cada sección de sedimentación cuenta con cinco tubos perforados que recolectan el agua sedimentada, con separación de 0,83 m, entre ejes, cada tubo tiene 17 orificios de 1” con separación de 13 cm entre ejes; tiene 55 placas, a excepción de la última sección que solamente tiene 48 placas.

Para el almacenamiento temporal de lodos se ha diseñado una tolva continua, con inclinación de paredes de 60°. La extracción de los lodos se realiza por descarga controlada mediante válvulas de acción manual, estos lodos circulan a la cámara de evacuación para luego fluir hacia los desagües generales.



Fig. 2.6. Sedimentador de placas paralelas de flujo ascendente

2.2.5. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

La PTM tiene dos baterías de filtros con cuatro unidades de filtración cada una, del tipo denominados filtros hidráulicos de lecho dual antracita-arena, operación a taza declinante, lavado (mutuo) con flujo procedente de las otras unidades, es decir la planta cuenta en total con ocho filtros.

El área filtrante se ha dividido en dos secciones por medio de la estructura que evacúa el agua de lavado por la parte superior y permite la recolección de agua filtrada y la entrada del agua de lavado por la parte inferior mediante dos difusores con orificios colocados debajo del fondo falso. Esta disposición permite una recolección uniforme del agua filtrada y el ingreso también uniforme del agua de lavado. El fondo falso está conformado con viguetas prefabricadas en forma de “V invertida”.

La concepción en dos baterías de filtros, cada uno compuesto de cuatro unidades, garantiza el lavado de un filtro, siempre que el caudal de la planta sea igual o superior al 50% del caudal nominal.



Fig. 2.7. Batería de filtros



2.2.6 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE CONTACTO

La cámara de contacto tiene como función asegurar un tiempo de contacto fijo entre el agua y el desinfectante, de tal modo de asegurar la remoción de bacterias, virus y parásitos presentes en el agua.

La desinfección en la planta se realiza mediante la aplicación de gas cloro, envasado en cilindros a presión de una tonelada, esta operación se realiza mediante dosificadores al vacío y una alimentación del desinfectante en solución, la inyección se realiza en una zona de elevado gradiente de velocidad para que se produzca una dispersión instantánea y uniforme en toda la masa, inmediatamente antes de la cámara de contacto.

Luego de la dispersión de la solución desinfectante el agua tratada ingresa a la cámara de contacto, formada por tabiques de flujo horizontal con un tiempo de contacto de 10 minutos, con condiciones que garantiza una eficiencia óptima del desinfectante.



Fig. 2.8. Punto de inyección de cloro en la cámara de contacto

2.3. UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

En el *Anexo 1* se muestra un esquema de la ubicación de las unidades de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay.

2.4. DIAGRAMA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

En la *Figura 2.9* se esquematiza en un diagrama de bloques el proceso de potabilización que se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay.

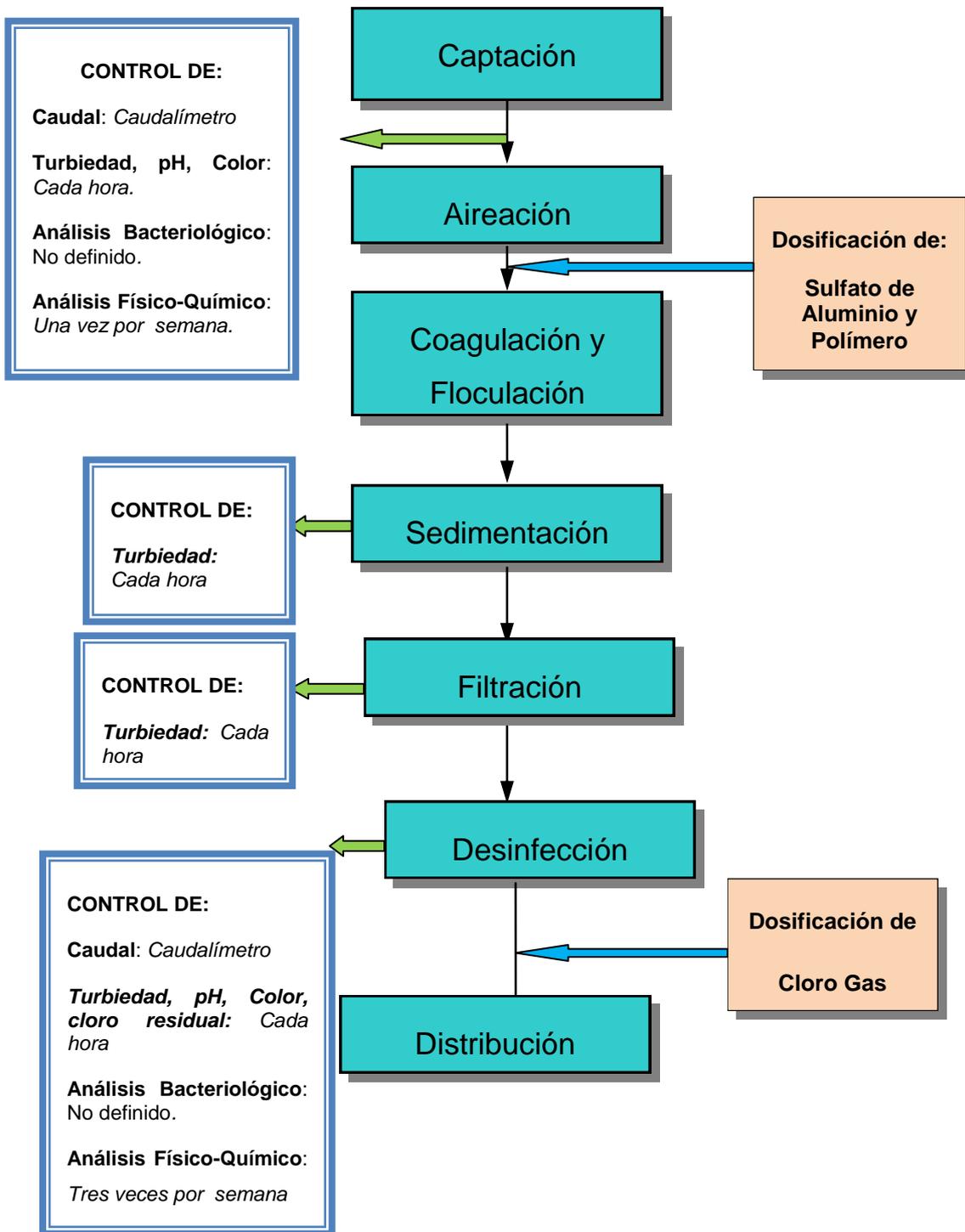


Fig. 2.9. Diagrama de bloques del proceso de potabilización en la PTM.



2.5. ANTECEDENTES SOBRE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

Los lodos en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay es función de la composición del agua cruda y de la calidad del producto, estos lodos son vertidos a la quebrada sin tratamiento previo.

2.5.1. IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE GENERADORA DE LODOS

Se pueden distinguir las siguientes fuentes de generación de los lodos:

2.5.1.1. Sedimentación: Los lodos que se producen básicamente en la sedimentación son los residuos de la coagulación química, los mismos que están compuestos por los precipitados de aluminio provenientes del uso del sulfato de aluminio, al igual que 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. Generalmente, los lodos de los sedimentadores de agua coagulada son estables, no se descomponen rápido ni causan problemas de septicidad.

Los lodos son descargados de los sedimentadores cuando se realiza el lavado de estas unidades. En la PTM se tiene 8 sedimentadores los cuales se descargan una vez por semana, como cada sedimentador tiene un volumen de 46 m^3 , entonces se descarga semanalmente 368 m^3 de lodos.



Fig. 2.10. *Sedimentador en operación*

A continuación se da a conocer el proceso de lavado de los sedimentadores en donde se descargan dichos lodos generados en estas unidades:



ESQUEMA DEL LAVADO DE LOS SEDIMENTADORES, IDENTIFICANDO LA ETAPA DE DESFOGUE DE LOS LODOS

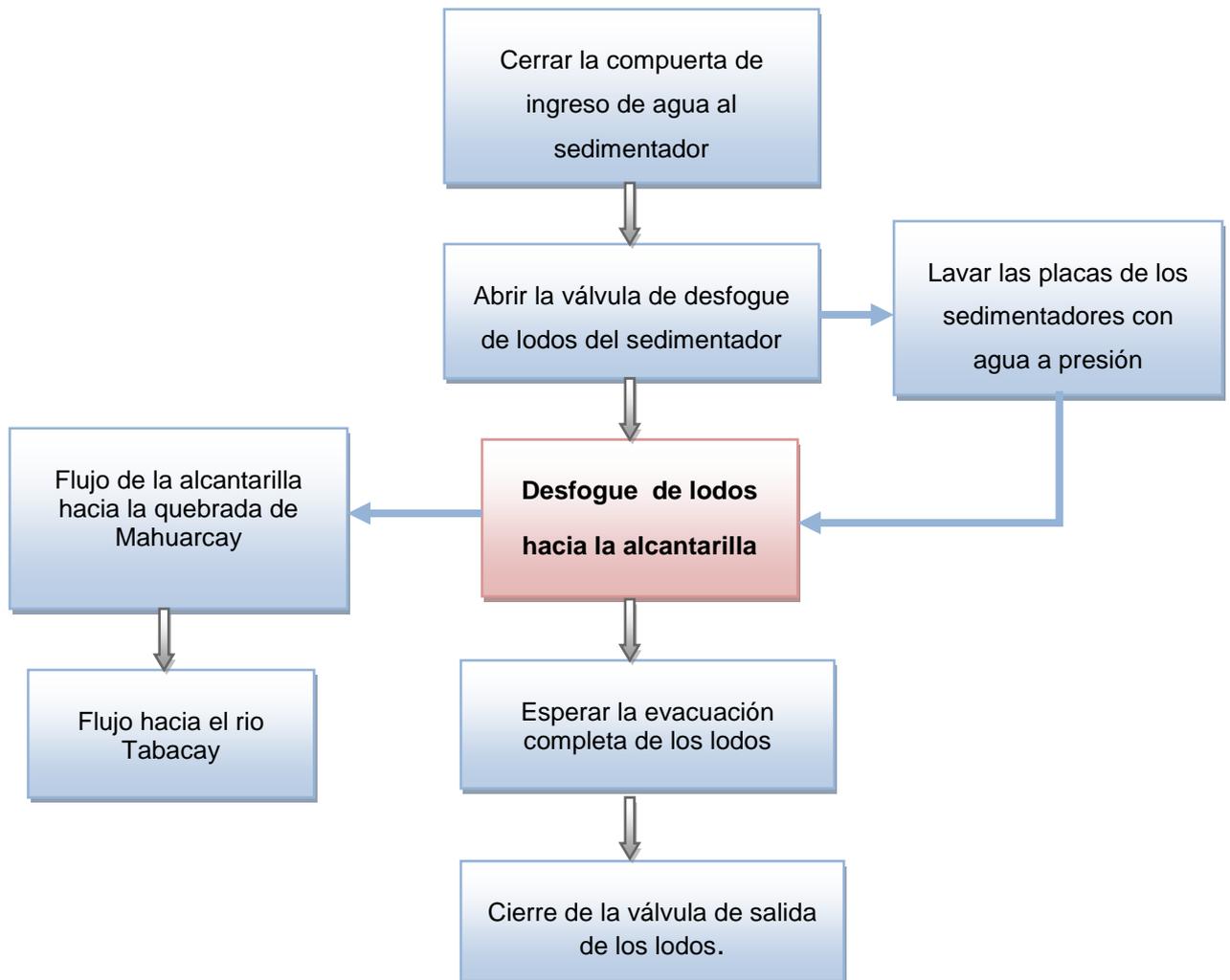


Fig. 2.11. Descarga del sedimentador

2.5.1.2. Filtración: Los lodos que se producen en la operación de los lavados de los filtros tienen una baja concentración de sólidos, la cantidad

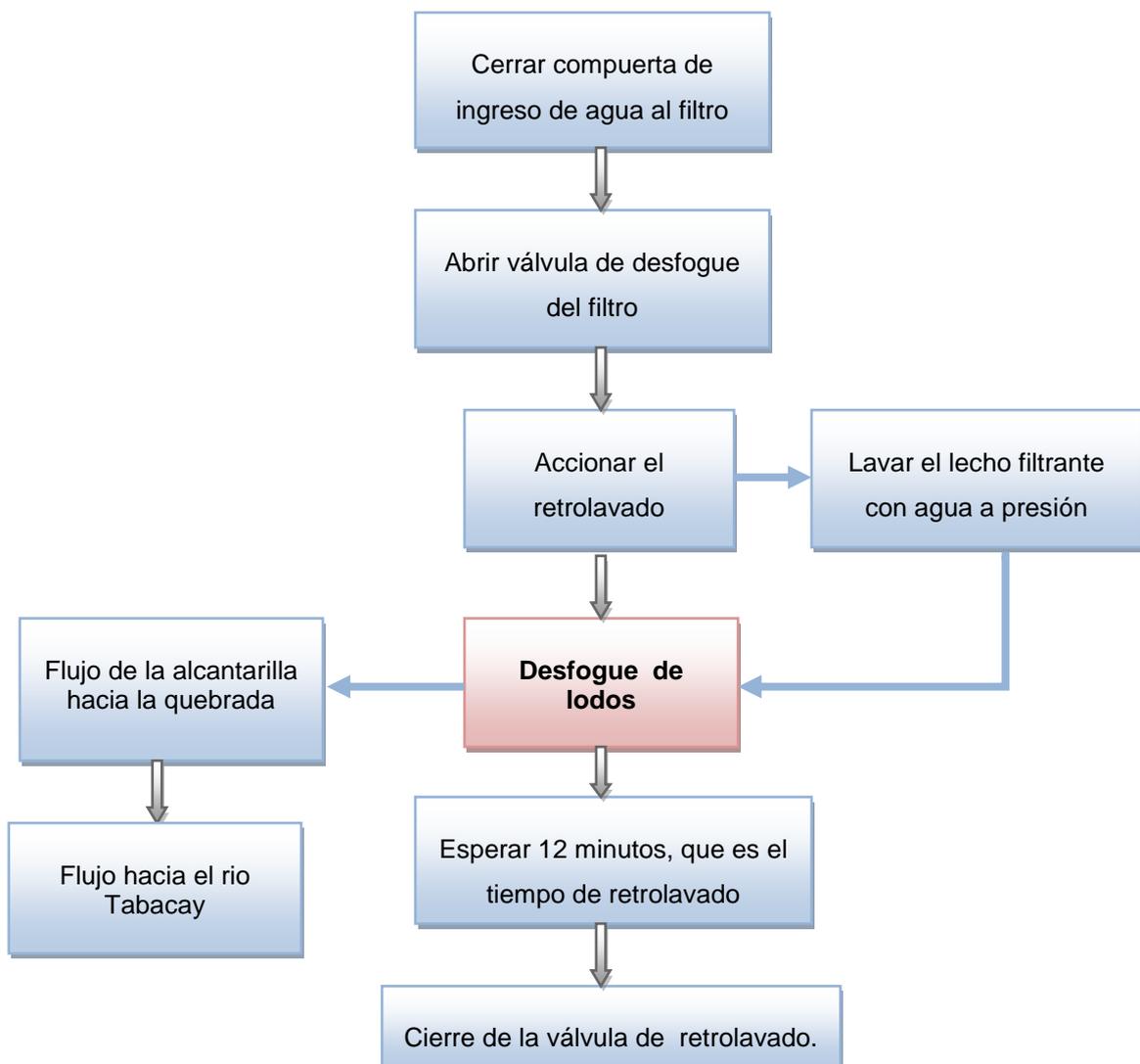


puede ser del orden del 2 al 6% del agua filtrada y los sólidos son retenidos en el filtro durante la carrera de filtración.

Para el lavado de los filtros se usa un retro lavado en donde se descarga el 1% de los lodos que no han sido retenidos en los sedimentadores, como se puede ver el contenido de los lodos se da casi en su totalidad en los sedimentadores.

A continuación se da a conocer el proceso de lavado de los filtros en donde se evacua el agua de lavado con contenido de lodos:

ESQUEMA DEL LAVADO DEL FILTRO, IDENTIFICANDO LA ETAPA DE DESFOGUE DE LOS LODOS





2.6. EFECTOS AMBIENTALES DE LA DESCARGA DE LODOS EN LA QUEBRADA MAHUARCAY

La descarga de los lodos de la Planta de Tratamiento de Mahuarca sobre la quebrada de Mahuarca *Figura 2.11* conduce a la formación de depósitos, o bancos de lodos, en las zonas de baja velocidad de flujo.

Los lodos reducen la cantidad estética de la fuente receptora al aumentar la turbiedad del agua. El incremento de turbiedad puede disminuir la actividad fotosintética, mientras que el aumento de sólidos suspendidos y de turbiedad hace perder el valor recreacional del agua.

Los lodos provenientes del sulfato de aluminio pueden tener efectos tóxicos, por exceso de aluminio, sobre algunos organismos acuáticos. A continuación se indica los efectos ambientales en el aire, suelo y agua:

a. Aire: La producción de lodos en el proceso de tratamiento del agua podría traer impactos negativos permanentes en la flora y fauna de la quebrada de Mahuarca, durante el tiempo de operación de la PTM. Estos impactos se generan por una parte hacia el aire por efecto de las emisiones de olor causadas por la concentración de los lodos que se forman en las diferentes etapas del tratamiento, en las cuales el lodo se fermenta emitiendo olores. El impacto será directo sobre los operadores de la planta e indirecto hacia las zonas aledañas dependiendo de las condiciones climáticas que podrían dispersar el olor en mayor o menor grado.

b. Suelo: Es el medio que menos se ha visto afectado, ya que una vez que los lodos han sido vertidos en las aguas de la quebrada de Mahuarca, estos son transportados por el agua de la misma, ya que ésta tiene una pendiente considerable.

c. Agua: El tema que nos encontramos desarrollando, afecta particularmente al agua, es por eso que a continuación nos enfocamos en el impacto sobre este recurso, producido por la descarga del lodo a los cursos de agua.

Los metales no solo son importantes por el uso que hacemos de ellos, sino que también son parte integral de nuestra naturaleza y de otros organismos vivos. Sin embargo, así como hay elementos metálicos que son componentes esenciales para los organismos vivos, las deficiencias o abundancias de ellos pueden ser muy perjudiciales para la vida. En el medio natural los excesos pueden generarse, como en nuestro caso por las descargas de los lodos en los ríos, aunque en pequeña proporción, pero contienen metales pesados.

Por lo que el medio acuático resulta ser el más afectado por el vertimiento de estos lodos.

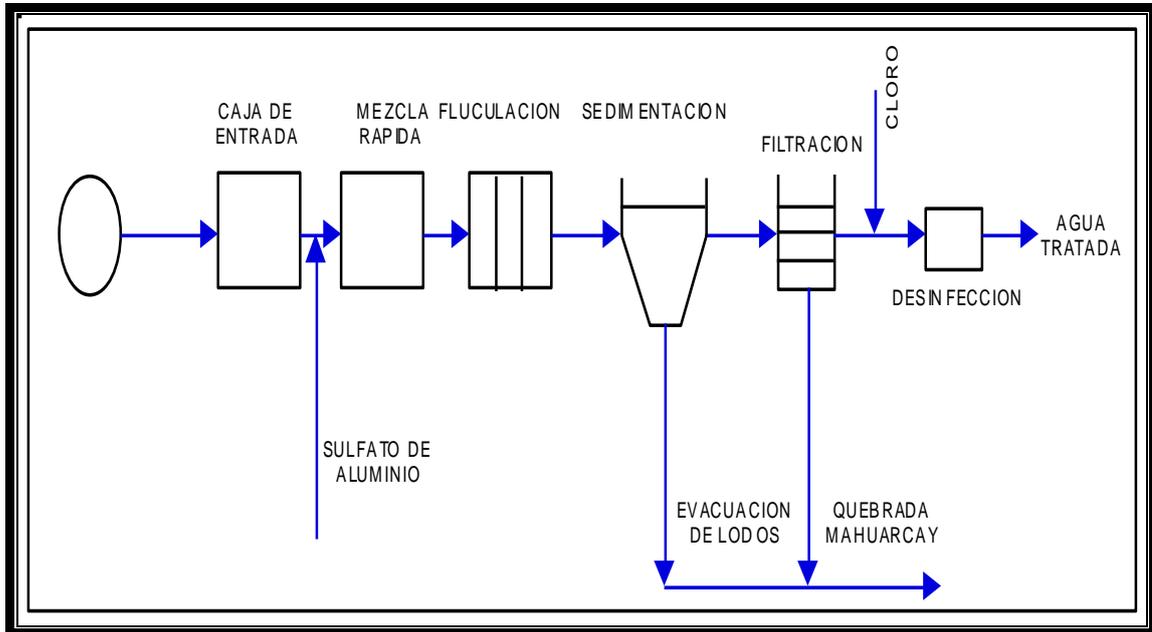


Fig. 2.12. Esquema de la Planta de Tratamiento de Mahuarcay

2.7. ASPECTOS LEGALES DE LA DESCARGA DE LODOS

La normativa jurídica del Estado Ecuatoriano en materia ambiental es extensa y en permanente proceso de evolución conceptual, desde la máxima norma jurídica del Estado, esto es la Constitución Política del Estado, en los últimos años se han emitido e incorporado a la Legislación Nacional una serie de nuevas disposiciones como la Ley de Gestión Ambiental, la Ley Reformatoria al Código Penal (que incluyó el gráfico de los delitos ambientales), y un proceso de actualización general de las normas que reglamentan a varias normas jurídicas y actualizan los procesos jurídico-ambientales a cargo de la Autoridad Ambiental Nacional que se encuentra en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS). Decreto Ejecutivo 3516, publicado en el Registro Oficial N° E 2, de 31 de marzo de 2003. Libro VI, Anexo 1.



CAPITULO 3.

CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

3.1. 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 [6].

3.1.1. RELACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS / CANTIDAD DE LODOS

Los sólidos suspendidos presentes en el agua cruda producen un peso equivalente de sólidos en el lodo, ya que al reaccionar son estos los que precipitan en forma de flóculos producto de la reacción con el coagulante. Se puede suponer que otros aditivos, tales como los polímeros o el carbón activado en polvo, producen lodo en la misma cantidad añadida. La cantidad de lodo producido en una planta de coagulación con sulfato de aluminio para la remoción de turbiedad puede ser expresada como:

Ecuación 1:

$$S = 86,4 Q (0,44 \text{ Al} + \text{SS} + A)$$

Donde:

S = Lodo producido, Kg/día, base seca

Q = Gasto de agua cruda, m³/s

Al = Dosis de sulfato de aluminio como Al₂O₃, mg/l

SS = Sólidos suspendidos del agua cruda, mg/l



A = Productos químicos adicionales agregados tales como *polímero*, mg/l
86,4 = Factor de conversión [7].

3.1.2. RELACIÓN TURBIEDAD / SÓLIDOS SUSPENDIDOS

La relación entre turbiedad y sólidos suspendidos se debe determinar para cada agua cruda en particular. Esta relación puede variar estacionalmente en la misma fuente de abastecimiento.

No hay una correlación entre la concentración de sólidos en suspensión y la turbidez del agua cruda, sin embargo Cornwell y otros recomiendan la siguiente relación [8].

Ecuación 2:

$$SS \text{ (mg/l)} = b * TU$$

Donde:

SS= Sólidos suspendidos

TU= Turbidez

b= 0,7 a 2,2

Los valores de **b** para aguas crudas de baja turbidez y elevado carbono orgánico total (TOC) tratado pueden llegar hasta 20 pero al menos que la turbidez y el TOC varíen al mismo tiempo, no existe una correlación entre sólidos en suspensión y turbidez.

3.1.3. RELACIÓN TURBIEDAD / CANTIDAD DE LODOS

La relación entre la turbiedad y la cantidad de lodos que se determina para el agua cruda en particular puede variar estacionalmente dependiendo de las diferentes épocas del año. Pero generalmente la cantidad de lodos producidos incrementa con el aumento de la turbidez.

3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL CUERPO RECEPTOR

La quebrada de Mahuarcay, nace en la zona nororiental del Cantón Azogues y se produce la alteración en su cauce normal a unos 10 Km desde su nacimiento, debido al vertido de los lodos sin tratar producidos en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay de la ciudad Azogues. Se pretende determinar si ese vertimiento contamina las aguas de la quebrada y por ende afecta a la flora y fauna de la cuenca hídrica. Los análisis del agua del cuerpo receptor, fueron realizados en el Laboratorio de la Subgerencia de Gestión Ambiental ETAPA EP Anexo 2.



Se realizó la toma de una muestra instantánea de agua en la quebrada de Mahuar cay, unos 200 m antes del vertido de los lodos al cauce de la quebrada, para lo cual se siguió la metodología recomendada por la norma técnica NTE INEN 2 176:98 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo Anexo 3.

Tabla 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LA MUESTRA DEL CUERPO RECEPTOR "QUEBRADA DE MAHUARCAY"

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
DBO ₅	mg/l	0,6
DQO	mg/l	6
Fósforo Total	mg/l	0,25
NKT	mg/l	0,42
pH		7,13
Sólidos Suspendidos	mg/l	10
Sólidos Totales	mg/l	166
Sulfatos	mg/l	<1
Turbiedad	NTU	5,83
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	1,7E+02
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100 ml	2,2E+01
Aluminio	µg/l	433
Arsénico	µg/l	< 0,1
Cromo	µg/l	70,3
Hierro	µg/l	42980
Manganeso	µg/l	1178
Mercurio	µg/l	< 0,05
Plomo	µg/l	< 100
Zinc	µg/l	185,6

**La DBO es menor a la esperada

3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICO DE LOS LODOS

Las características de los lodos en plantas de tratamiento varían en función de la calidad del agua, tipo de proceso, cantidad y clase de coagulante utilizado y de los compuestos adicionales para el tratamiento. Estos factores son los que condicionan la clase de lodo y los problemas de orden ambiental que estos generan.

3.3.1. LODOS DE SEDIMENTACIÓN

En la PTM la descarga de los lodos de los sedimentadores se lo realiza para el lavado de los mismos con una frecuencia semanal. El volumen de agua gastada para el lavado de estas unidades es mucho mayor que el volumen de agua empleado en el lavado de los filtros.



De acuerdo a las medidas de las unidades se tiene que estas albergan alrededor de 370 m³ de agua en proceso de tratamiento, es decir, agua que ya ha pasado por el proceso de coagulación y por consiguiente contiene una gran cantidad de sulfato de aluminio. Debido a que los lodos depositados en el fondo de los sedimentadores son muy espesos se hace necesario un lavado con mangueras a presión lo cual lleva a un gasto más de agua que es insignificante con relación a la cantidad de agua descargada.

En la *Tabla 3* se muestran los resultados de los ensayos físico-químicos y bacteriológicos de los lodos de los sedimentadores producidos en la PTM *Anexo 4*. Según la tabla el valor de DQO es mucho más altos que el DBO, esto se debe especialmente a la cantidad de materia inorgánica presente en los lodos, tales como limos, arcillas y sulfato de aluminio; indicando una baja proporción de materia orgánica biodegradable, además de los altos valores de sólidos totales y suspendidos que se registran.

Tabla 3. RESULTADOS DE LA MUESTRA DEL LODO DEL SEDIMENTADOR

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
DBO ₅	mg/l	**
DQO	mg/l	5359
Fósforo Total	mg/l	15,51
NKT	mg/l	105,42
Ph		6,34
Sólidos Suspendidos	mg/l	42900
Sólidos Totales	mg/l	43510
Sulfatos	mg/l	9.07
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	7,0E+05
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100 ml	2,4E+05
Aluminio	µg/l	1580000
Arsénico	µg/l	< 0,1
Cromo	µg/l	980,6
Hierro	µg/l	824200
Manganeso	µg/l	23870
Mercurio	µg/l	< 0,05
Plomo	µg/l	362,6
Zinc	µg/l	1292

**La DBO es menor a la esperada

En esta tabla encontramos valores de metales pesados como cromo, manganeso, plomo y zinc; ya que estos metales son removidos del agua y se concentran en los lodos, casos tales como el hierro y en otros casos, como el aluminio, se debe al hecho de la alta concentración de este metal en el coagulante y a cantidades que llegan en el agua cruda.



En este tipo de lodo se puede encontrar desde metales hasta bacterias de todas las clases, que se han aglomerado allí. Es por esto que adicionalmente se realizaron pruebas bacteriológicas con el fin de determinar Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes.

3.3.2. LODOS DE LAVADO DE FILTROS

En los filtros, los lodos son removidos en el lavado de los medios filtrantes cada 42 a 50 horas, de acuerdo a la turbiedad del agua cruda, esto hace que la concentración de ciertos parámetros sea inferior a los de los lodos de la sedimentación. El lavado de cada filtro requiere de aproximadamente 2,2 m³/minuto de agua filtrada, en 12 minutos, tiempo en el cual el filtro queda listo para seguir trabajando.

En la *Tabla 4* se exponen los resultados de los ensayos físico-químicos y bacteriológicos efectuados a los lodos producidos en los filtros en la PTM Anexo 4.

Tabla 4. RESULTADOS DE LA MUESTRA DEL LODO DEL FILTRO

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
DBO ₅	mg/l	**
DQO	mg/l	73
Fósforo Total	mg/l	0,33
NKT	mg/l	3,22
pH		6,86
Sólidos Suspendidos	mg/l	350
Sólidos Totales	mg/l	462
Sulfatos	mg/l	18.57
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	3,3E+04
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100 ml	5,4E+03
Aluminio	µg/l	43400
Arsénico	µg/l	< 0,1
Cromo	µg/l	< 50
Hierro	µg/l	10280
Manganeso	µg/l	927
Mercurio	µg/l	< 0,05
Plomo	µg/l	< 100
Zinc	µg/l	39,4

**La DBO es menor a la esperada

Se puede apreciar como casi todos los parámetros determinados a excepción del pH los resultados son muy inferiores a los obtenidos en la muestra del lodo del sedimentador.



3.4. APLICACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

3.4.1. RESULTADOS

3.4.1.1. Relación turbiedad / sólidos suspendidos: Los valores de turbiedad del agua cruda que se obtienen en la PTM son altos y bajos, de acuerdo a las diferentes época del año, cabe anotar que los valores máximos no son necesariamente permanentes o estables, es decir, valores altos que varían entre (1000-5000 NTU), pueden durar solo unas horas, incluso solo unos minutos.

Pasado este tiempo la turbiedad desciende lentamente hasta alcanzar valores más estables entre (100-500 NTU), en los cuales la remoción de los sólidos es más viable.

Los valores más altos de turbiedad se pueden presentar no solo en épocas de invierno, como es habitual, sino también por eventos aislados, como por ejemplo lluvias intempestivas aguas arriba, lo cual sucede en los veranos más fuertes, tiempo donde predominan las turbiedades más bajas. Así como también por los derrumbes en el sistema de conducción por canal abierto.

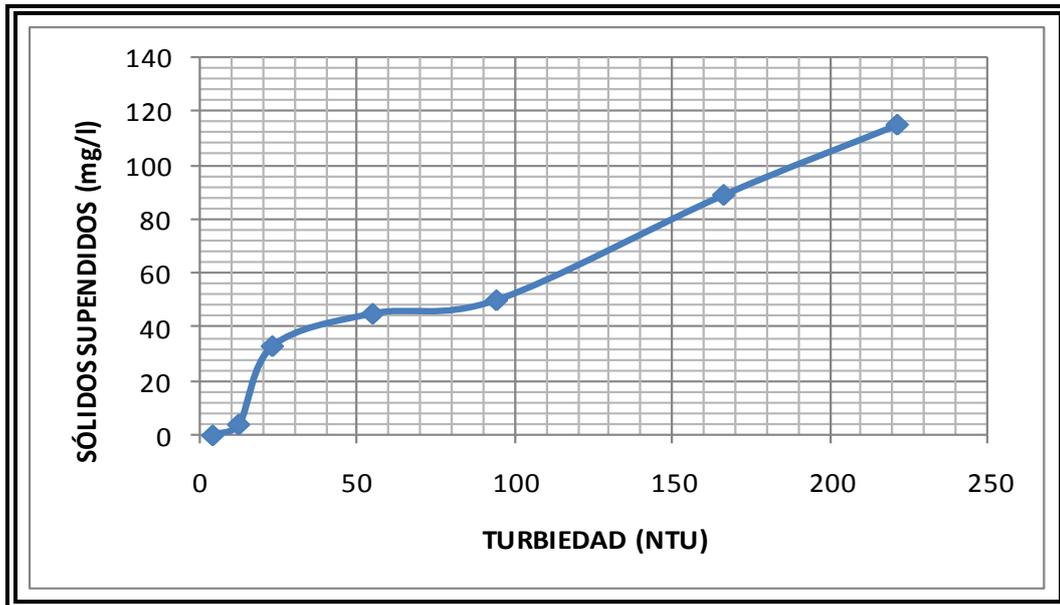
En la *Tabla 5* se pueden apreciar los diferentes valores de turbiedad, sólidos suspendidos y sólidos totales del agua cruda *Anexo 5*. Esta relación entre turbiedad y sólidos da una idea del comportamiento ascendente que se presenta generalmente, a mayor turbiedad, mayor cantidad de sólidos.

Tabla5. RESULTADOS DE TURBIEDAD, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y SÓLIDOS TOTALES PRESENTES EN EL AGUA CRUDA DE LA PTM.

TURBIEDAD (NTU)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg / l)	SÓLIDOS TOTALES (mg / l)
23	33	149
12,3	4	131
4,09	0	131
54,8	45	187
221	115	253
166	89	222
94	50	159

A partir de los datos de: turbiedad y sólidos suspendidos en el agua cruda, se obtuvo la *Figura 3.1*.

Fig. 3.1. RELACIÓN TURBIEDAD / SÓLIDOS SUPENDIDOS



En la figura se aprecia el comportamiento ascendente de los sólidos suspendidos en función de la turbiedad.

3.4.1.2. Relación sólidos suspendidos / cantidad de lodos: Partiendo de la *Ecuación 1*, se pueden calcular la cantidad de lodos generados en la PTM. Tomando un valor de turbiedad se calcula la producción de lodo, así:

Refiriéndonos a la *Tabla 5*, para una turbiedad de 12,3 NTU y 4 mg/l de sólidos suspendidos, con un caudal de entrada de 100 l/s ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$), la gráfica de dosificación de sulfato de aluminio para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay muestra un valor de 15mg/l de sulfato de aluminio. *Anexo 6*.

Con los valores de los sólidos suspendidos, el *Anexo 5* y la *Ecuación 1* tenemos:

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Al = 15 \text{ mg/l}$$

$$SS = 4 \text{ mg/l}$$

$$A = 0,07 \text{ mg/l}$$

Con estos datos obtenemos que la carga mínima aproximada de producción de lodos es de **92,19 Kg/día**, en base seca, en caso que la turbiedad fuera una constante durante las 24 horas. Estos datos se resumen la siguiente tabla:



Tabla 6. TURBIEDAD, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, CAUDAL DEL AGUA DE ENTRADA, DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO, DOSIS DE POLÍMERO Y CANTIDAD DE LODOS SEDIMENTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

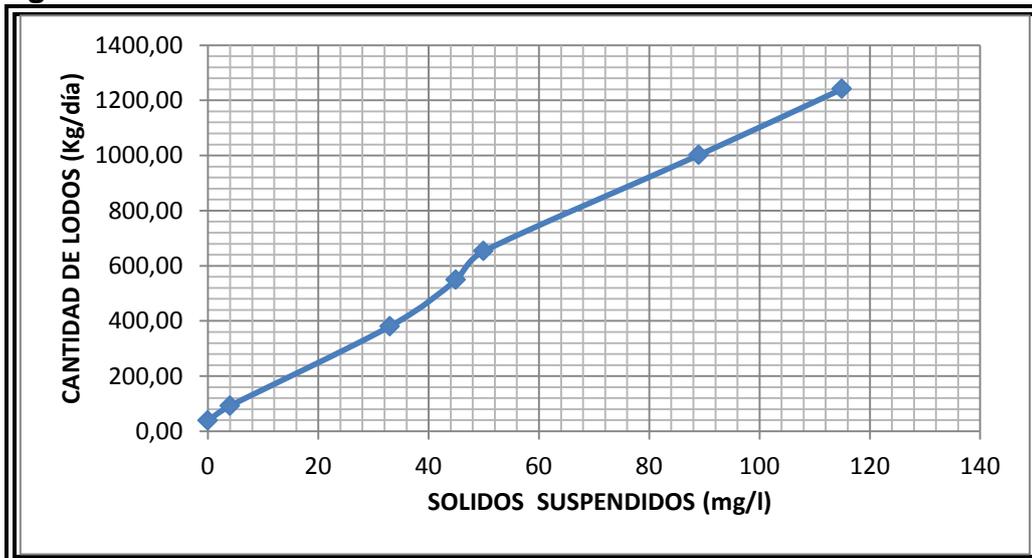
TURBIEDA D NTU	SÓLIDOS SUSPENDIDOS mg/l	Q m ³ /s	Al mg/l	A mg/l	S Kg/día
23	33	0,1	25	0,07	380,76
12,3	4	0,1	20	0,07	92,19
4,09	0	0,1	15	0,07	38,62
54,8	45	0,1	42	0,07	549,07
221	115	0,1	65	0,07	1241,31
166	89	0,1	61	0,07	1001,46
94	50	0,1	58	0,07	653,10

Q = Gasto de agua cruda **Al** = Dosis de sulfato de aluminio como Al_2O_3
A = Productos químicos adicionales agregados tales como *polímero*
S = Lodo producido, base seca **SS** = Sólidos suspendidos del agua cruda.

La carga máxima entonces sería de aproximadamente 1241 Kg/día, si este valor de turbiedad fuese constante durante la 24 horas. Pero como se mencionó anteriormente estos valores de turbiedad altos no son representativos.

Con los datos de: sólidos suspendidos en el agua cruda y cantidad de lodos, se obtuvo la *Figura 3.2*.

Fig. 3.2. RELACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS / CANTIDAD DE LODOS



En esta figura se aprecia el comportamiento ascendente de la cantidad de lodos en función de los sólidos suspendidos.



3.4.1.3. Relación turbiedad / cantidad de lodos: En la *Tabla 7* se expone los valores de la turbiedad del agua cruda frente a la cantidad de lodos sedimentados que se generan en la PTM.

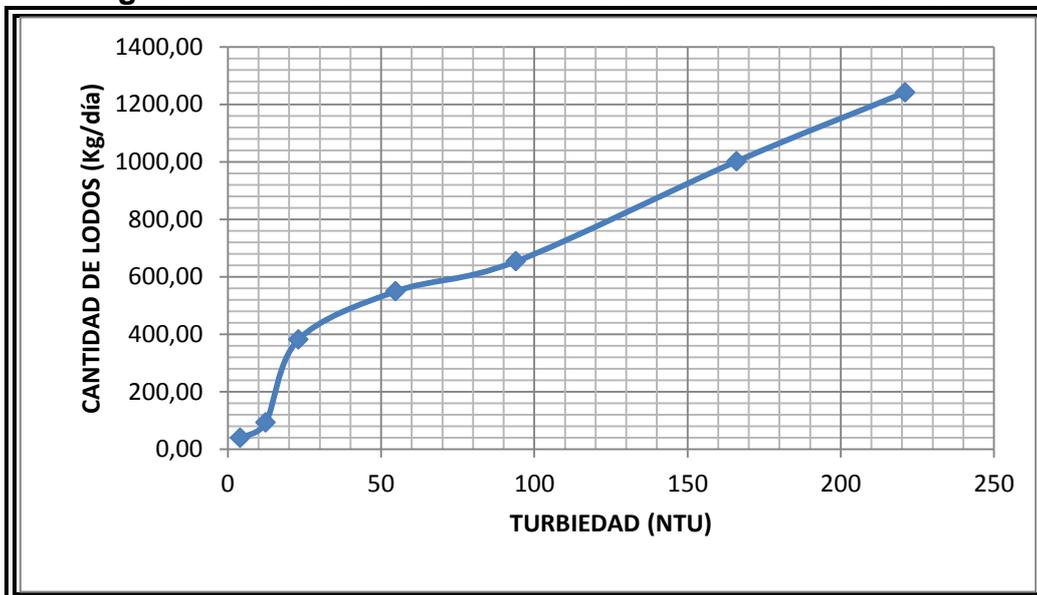
Tabla7. TURBIEDAD Y LA CANTIDAD DE LODOS SEDIMENTADOS EN LA PTM.

TURBIEDAD NTU	S Kg/día
23	380,76
12,3	92,19
4,09	38,62
54,8	549,07
221	1241,31
166	1001,46

S = Lodo producido, base seca

A partir de los datos de turbiedad del agua cruda y la cantidad de lodos, se obtuvo la *Figura 3.3*.

Fig. 3.3. RELACIÓN TURBIEDAD / CANTIDAD DE LODOS



En la figura se aprecia el comportamiento ascendente de la cantidad de lodos en función de la turbiedad.



CAPITULO 4.

TRATAMIENTO DE LOS LODOS MEDIANTE LECHOS DE SECADO

4.1. CARACTERIZACIÓN Y USO DE LOS LECHOS DE SECADO

Los lechos de secado son camas de arena donde se depositan los lodos húmedos extraídos de los sedimentadores de una planta de tratamiento de agua potable. Los lechos de secado operan bajo el principio simple de extender el lodo y dejarlo secar.

Una gran cantidad de agua se remueve por drenado o decantación y el resto de agua debe evaporarse antes que se alcance la humedad de equilibrio.

Los lechos de secado se pueden agrupar en cuatro tipos:

1. Lechos rectangulares convencionales, con una capa de arena sobre grava, y con tuberías de drenaje subterráneas para recoger el agua. Se construyen con o sin instalaciones para la remoción mecánica del lodo seco, y con o sin cubierta.
2. Lechos de secado pavimentados, con una faja central de arena para drenado y con o sin cubierta.
3. Lechos con malla de alambre, los cuales tienen un fondo de malla de alambre e instalaciones para inundarlos con una capa poco profunda de agua, seguida de la introducción del lodo líquido sobre la capa de agua.
4. Lechos rectangulares de vacío, con instalaciones para la aplicación de vacío a fin de acelerar el drenado por gravedad.

4.2. TRATAMIENTO DE LODOS EN UN LECHO DE SECADO PILOTO

4.2.1. DIMENSIONES DEL LECHO PILOTO

El lecho de secado piloto utilizado en el presente trabajo tiene las siguientes dimensiones:

Ancho: 40 cm

Longitud: 60 cm

Altura: 40 cm

Área: $0,24 m^2$



Volumen: $0,144 \text{ m}^3$



Fig. 4.1. Lecho de secado piloto utilizado en el presente trabajo

Cabe mencionar que el lecho de secado está provisto de una perforación en un extremo con el fin de evacuar el líquido producido por el desaguado. Dicho lecho fue construido con una pendiente aproximada del 1% para permitir que el líquido de desaguado fluyese con mayor facilidad.

4.2.2. MATERIA PRIMA Y MATERIALES

a. **Lodos:** En este proyecto se utilizaron como materia prima los lodos provenientes de los sedimentadores.



Fig. 4.2. Lodo proveniente de los sedimentadores.

b. **Grava, gravilla y arena:** Para la construcción de las camas del lecho de secado piloto se utilizó los siguientes materiales de acuerdo con la siguiente tabla:



Tabla 8. MATERIAL UTILIZADO EN EL LECHO DE SECADO PILOTO

MATERIAL	ALTURA (cm)	DIMENSION DEL TAMIZ (mm)	
		RETIENE	PASA
Grava	6	25,40	50,00
	6	12,70	25,40
Gravilla	3	6,40	12,70
	3	3,20	6,40
Arena	6	1,70	3,20

Para disminuir la suciedad tanto de la grava, gravilla y arena se realizaron tres lavados sucesivos a cada material para evitar suciedad indeseable en el filtrado, con agua corriente.



Fig. 4.3. Tamizado, lavado y secado de la grava



Fig. 4.4. Tamizado, lavado y secado de la gravilla



Fig. 4.5. Tamizado, lavado y secado de la arena

c. Colocación de tubo de drenaje: En la base del lecho de secado se colocó un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulg. de diámetro, en el cual se realizaron 20 perforaciones a lo largo del mismo de $\frac{3}{16}$ pulg. con el objetivo de facilitar el flujo del filtrado.



y

Fig. 4.6. Tubo de drenaje utilizado en la base del lecho de secado

d. Cuadrícula para muestreo: Para llevar un mejor control del muestreo de lodo se procedió a realizar una cuadrícula sobre la capa de lodo. Las dimensiones de dicha cuadrícula fueron de 5 cm x 5 cm.



Fig. 4.7. Cuadrícula utilizada para el sistema de muestreo



e. Sistema de desaguado: Para obtener una recolección adecuada del filtrado producto del desaguado, se colocó una pequeña manguera de plástico de $\frac{1}{2}$ pulgada al extremo del lecho de secado. Se procedió a tomar una muestra instantánea del lixiviado para enviarlo al laboratorio para el análisis físico-químico y microbiológico.



Fig. 4.8. Sistema de desaguado del lecho de secado

4.2.3. DISPOSICIÓN DEL MATERIAL EN EL LECHO DE SECADO

Después de concluir el lavado del material, se procedió a la colocación de las capas de grava, gravilla y arena en el lecho de secado. La primera capa correspondiente a la grava, la misma que tuvo una altura de 12 cm.



Fig. 4.9. Colocación de la capas de grava en el lecho de secado

Posteriormente se colocó la capa de gravilla a una altura de 6 cm sobre la capa de grava situada anteriormente.



Fig. 4.10. Capas de grava y gravilla en el lecho de secado

Luego se procedió a colocar la capa de arena a una altura de 6 cm, sobre la capa de gravilla.



Fig. 4.11. Capas de grava, gravilla y arena en el lecho de secado

4.2.4. DISPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA EN EL LECHO DE SECADO

Después de la colocación de las capas de grava, gravilla y arena; se procedió a ubicar la muestra de lodo procedente de los sedimentadores, se puso 12,5 cm de alto equivalente a 30 l de lodo.

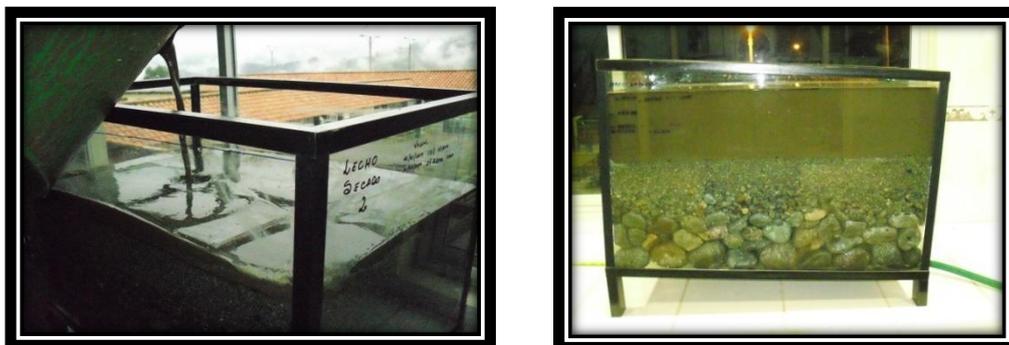


Fig. 4.12. Colocación de la capa de lodo en el lecho de secado



4.3. PROCESO DE SECADO DE LOS LODOS

4.3.1. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

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

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

a. Equipos y Materiales:

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 g
- Espátula
- Estufa con temperatura (150°C) con sensibilidad (1,5°C) capaz de mantener una temperatura constante
- Crisoles de porcelana
- Pinza para crisoles
- Guantes
- Desecador con deshidratante.

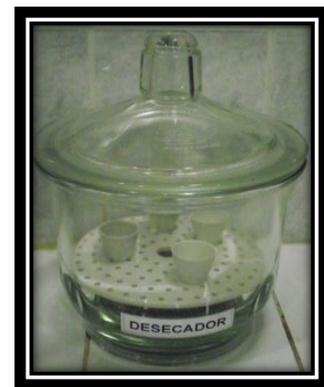


Fig. 4.13. Equipos y *materiales utilizados en la determinación del porcentaje de humedad*

b. Procedimiento

- Se colocan los crisoles dentro de la estufa a (120°C) durante dos horas.



- Transcurrido ese tiempo, inmediatamente se pasan al desecador durante dos horas como mínimo 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 introduce a la estufa a (60°C) durante 2 horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente.
- Se repita esta operación las veces que sea necesario hasta obtener un peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0,01%).
- Para obtener los resultados se realizan los siguientes cálculos:

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que para obtener W_1 y W_2 se debe restar el peso del crisol.

Ecuación 3:

$$H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100$$

Donde:

H = Humedad, %

W_1 = Peso de la muestra húmeda en **g**

W_2 = Peso de la muestra seca en **g**.

Se determinó el porcentaje de humedad del lodo durante 14 días de secado. Se tomó únicamente este tiempo para los ensayos, ya que en la Planta de Tratamiento de Mahuarca se lavan los sedimentadores cada semana y se pensaría que se podría mantener los lodos en el lecho de secado por unas dos semanas; ya que así mismo no se dispone de mucho espacio físico para la construcción de varios lechos de secado que pudieran asegurar una deshidratación mejor dejando por más tiempo.

Los resultados de los valores experimentales se muestran en la *Tabla 9*.

Tabla 9. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD



PESOS	DIAS DE SECADO				
	0	1	2	3	4
PESO DEL CRISOL (g)	14,162	20,085	14,162	20,085	14,162
PESO DEL CRISOL + LODO HÚMEDO (g)	25,797	33,438	25,657	31,684	25,635
PESO DEL CRISOL + LODO SECO (g)	14,678	21,227	15,399	21,449	15,692
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	11,635	13,353	11,495	11,599	11,473
W1 SÓLIDO SECO (g)	0,516	1,142	1,237	1,364	1,530
% HUMEDAD, BASE HÚMEDA	95,565	91,448	89,239	88,240	86,664

PESOS	DIAS DE SECADO				
	5	6	7	8	9
PESO DEL CRISOL (g)	20,086	14,162	20,086	14,162	20,088
PESO DEL CRISOL + LODO HÚMEDO (g)	32,467	24,968	32,407	24,191	32,33
PESO DEL CRISOL + LODO SECO (g)	21,758	15,663	21,822	15,627	21,898
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	12,381	10,806	12,321	10,029	12,242
W1 SÓLIDO SECO (g)	1,672	1,501	1,736	1,465	1,810
% HUMEDAD, BASE HÚMEDA	86,495	86,110	85,910	85,392	85,215

PESOS	DIAS DE SECADO				
	10	11	12	13	14
PESO DEL CRISOL (g)	14,162	20,086	14,162	20,088	14,162
PESO DEL CRISOL + LODO HÚMEDO (g)	26,791	30,403	26,514	32,071	25,677
PESO DEL CRISOL + LODO SECO (g)	16,12	21,72	16,212	22,145	16,147
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	12,629	10,317	12,352	11,983	11,515
W1 SÓLIDO SECO (g)	1,958	1,634	2,050	2,057	1,985

4.3.2. DETERMINACIÓN DE CURVAS DE SECADO

Las curvas de velocidad de secado se obtuvieron de forma experimental. Los datos de dicho experimento se expresan como peso total **W** del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos en el periodo de secado [9].

Primero se determina la humedad a un tiempo t, con la siguiente ecuación:

Ecuación 4:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} = \frac{\text{Kg totales de agua}}{\text{Kg sólido seco}}$$

Donde:

X t = Humedad en el tiempo t, Kg totales agua / Kg sólido seco

W = Peso del sólido húmedo, Kg totales de agua



W_s = Peso del sólido seco, Kg sólido seco.

Los resultados de los valores experimentales se muestran en la *Tabla 10*.

Tabla 10. CONTENIDO DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO t , (Kg TOTALES AGUA / Kg SÓLIDO SECO)

PESOS	DIAS DE SECADO				
	0	1	2	3	4
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	11,635	13,353	11,495	11,599	11,473
W1 SÓLIDO SECO (g)	0,516	1,142	1,237	1,364	1,530
HUMEDAD (BASE SECA) X_t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	21,548	10,693	8,293	7,504	6,499
PESOS	DIAS DE SECADO				
	5	6	7	8	9
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	12,381	10,806	12,321	10,029	12,242
W1 SÓLIDO SECO (g)	1,672	1,501	1,736	1,465	1,810
HUMEDAD (BASE SECA) X_t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	6,405	6,199	6,097	5,846	5,764
PESOS	DIAS DE SECADO				
	10	11	12	13	14
W1 SÓLIDO HÚMEDO (g)	12,629	10,317	12,352	11,983	11,515
W1 SÓLIDO SECO (g)	1,958	1,634	2,050	2,057	1,985
HUMEDAD (BASE SECA) X_t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	5,450	5,314	5,025	4,825	4,801

A continuación se determinó la humedad relativa existente en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Mahuarca, para lo cual se empleo un higrómetro *Figura 4.14*; para posteriormente con estos datos determinar el contenido de humedad de equilibrio, X^* , Kg agua/Kg sólido seco con ayuda de la **Carta Psicrométrica Anexo 7**.



Fig. 4.14. Higrómetro utilizado para determinar la Humedad Relativa

Los resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla:



Tabla 11. CONDICIONES AMBIENTALES DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY Y EL CONTENIDO DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (Kg mol Agua / Kg mol Aire seco)

PESOS	DIAS DE SECADO				
	0	1	2	3	4
TEMPERATURA (°C)	18	14	15	16	15
TEMPERATURA (°F)	64,4	57,2	59,0	60,8	59,0
% HUMEDAD RELATIVA	49,0	54,0	59,0	70,0	66,0
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (lb mol agua/lb mol aire seco)	0,014	0,009	0,010	0,012	0,011
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0064	0,0041	0,0045	0,0054	0,0050
PESOS	DIAS DE SECADO				
	5	6	7	8	9
TEMPERATURA (°C)	17	16	15	15	13
TEMPERATURA (°F)	62,6	60,8	59,0	59,0	55,4
% HUMEDAD RELATIVA	68	66	67	74	80
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (lb mol agua/lb mol aire seco)	0,011	0,012	0,011	0,013	0,014
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0050	0,0052	0,0050	0,0059	0,0061
PESOS	DIAS DE SECADO				
	10	11	12	13	14
TEMPERATURA (°C)	12	14	15	16	16
TEMPERATURA (°F)	53,6	57,2	59,0	60,8	60,8
% HUMEDAD RELATIVA	81	69	64	66	70
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (lb mol agua/lb mol aire seco)	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X^* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0054	0,0050	0,0050	0,0050	0,0054

Con 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 .

Ecuación 5:

$$X = X_t - X^*$$

Donde:

X = Humedad Libre

X_t = Humedad en el tiempo t, Kg totales agua/Kg sólido seco

X^* = Humedad de Equilibrio (Kg mol agua/Kg mol aire seco)

Los resultados se muestran a continuación en la *Tabla 12*.



Tabla 12. CONTENIDO DE LA HUMEDAD LIBRE X

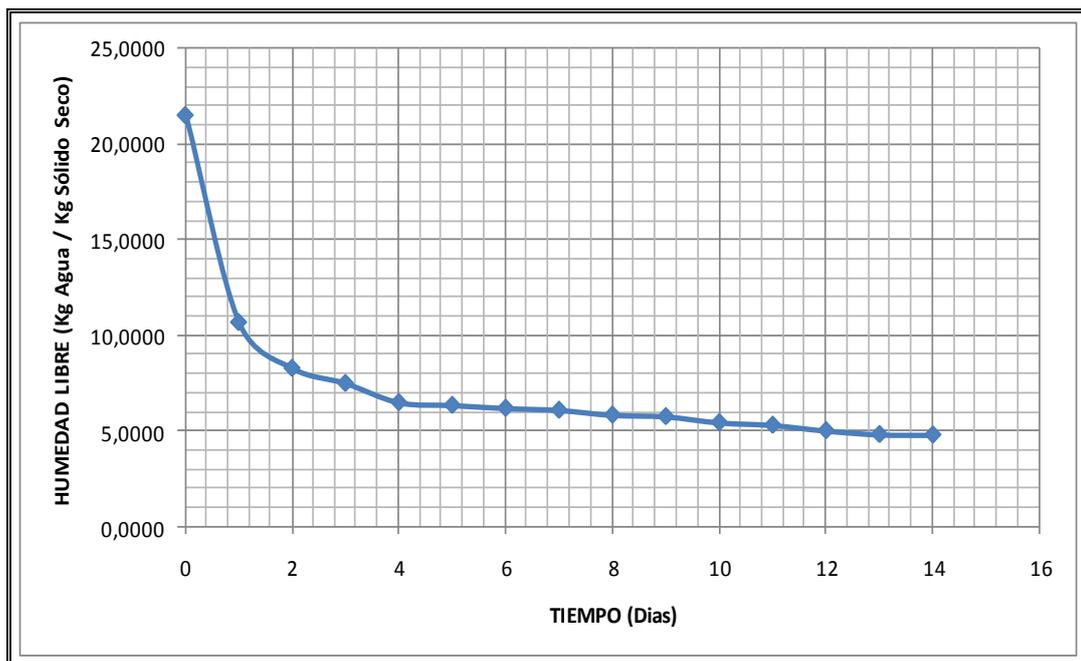
PESOS	DIAS DE SECADO				
	0	1	2	3	4
HUMEDAD (BASE SECA) X _t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	21,548	10,693	8,293	7,504	6,499
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0064	0,0041	0,0045	0,0054	0,0050
HUMEDAD LIBRE X	21,5421	10,6886	8,2881	7,4982	6,4937

PESOS	DIAS DE SECADO				
	5	6	7	8	9
HUMEDAD (BASE SECA) X _t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	6,405	6,199	6,097	5,846	5,764
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0050	0,0052	0,0050	0,0059	0,0064
HUMEDAD LIBRE X	6,3999	6,1940	6,0924	5,8398	5,7572

PESOS	DIAS DE SECADO				
	10	11	12	13	14
HUMEDAD (BASE SECA) X _t (Kg totales H ₂ O/Kg sólido seco)	5,450	5,314	5,025	4,825	4,801
HUMEDAD DE EQUILIBRIO X* (kg mol agua/kg mol aire seco)	0,0054	0,0050	0,0050	0,0050	0,0054
HUMEDAD LIBRE X	5,4445	5,3090	5,0204	4,8205	4,7956

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

Fig. 4.15. HUMEDAD LIBRE EN FUNCION DEL TIEMPO DE SECADO





El lodo no fue secado en condiciones constantes sino más bien en condiciones variables dependientes del ambiente existente en la PTM, como puede observarse en la figura anterior la mayor pérdida de humedad se da en el primer día, desde el segundo día se dan pequeñas disminuciones de humedad por lo que podríamos confirmar que la velocidad de secado de los lodos no es constante sino más bien decreciente

4.3.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO

Por lo expuesto anteriormente en el *Apartado 4.3.2.* la velocidad de secado es decreciente por lo que se tendría que determinar el tiempo de secado con la siguiente ecuación [10].

ECUACION 6:

$$t = \frac{L_s}{A} \int_{x_f}^{x_i} \frac{dx}{R}$$

Donde:

- L_s** = Masa del sólido seco
- A** = Área de secado
- X_i** = Humedad inicial sobre base seca
- X_f** = Humedad final sobre base seca
- R** = Velocidad de secado.

El área del lecho de secado piloto como se mencionó en el *Apartado 4.2.1.* es de 0,24 m². La cantidad de lodo utilizado en el lecho piloto fue de 30 l equivalente a 0,03 m³.

La densidad determinada para este tipo de lodo es de **1,020 g/cm³ = 1020 Kg/m³**. Determinado en el laboratorio del INIAP Anexo 8.

Por lo que la masa del lodo dispuesto fue:

$$\begin{aligned} \text{Masa de lodo} &= \text{Volumen} * \text{Densidad} \\ \text{Masa de lodo} &= 0,03\text{m}^3 * 1020 \text{Kg/m}^3 \\ \text{Masa de lodo} &= \mathbf{30,6 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

Teniendo presente que la humedad inicial de los lodos es de 95,565 de acuerdo con la *Tabla 9*; la cantidad de lodo seco sería de:

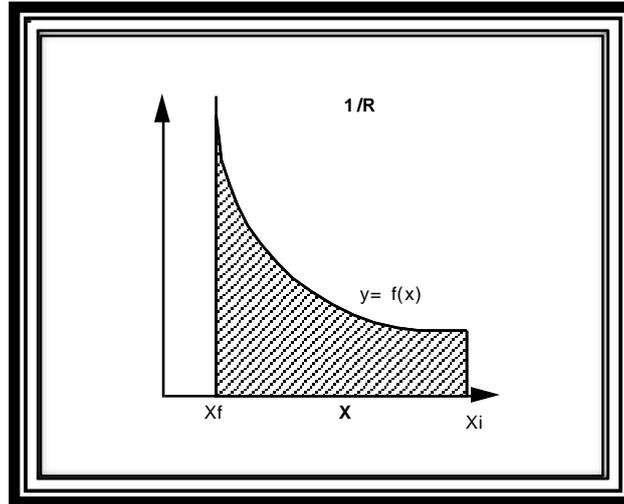
$$\begin{aligned} \text{Masa de lodo seco} &= 30,6 \text{ Kg} * (1-0,95565) \\ \text{Masa de lodo seco} &= \mathbf{1,36 \text{ Kg}} \\ L_s &= \mathbf{1,36 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

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 .

Fig. 4.16. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ÁREA BAJO LA CURVA



Se realiza la grafica X vs $1/R$, para lo cual determinamos 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 9*, 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:

$$X_0 = \frac{30,6 - 1,36}{1,36} = 21,50 \text{ Kg de agua / Kg de sólido seco}$$

Después de un día la humedad sería;

$$X_1 = \frac{29,35 - 1,36}{1,36} = 20,57 \text{ Kg de agua / Kg de sólido seco}$$

Así sucesivamente como se muestra en la tabla siguiente, y el valor medio de la humedad en ese intervalo de tiempo es 21,04 Kg de agua/Kg sólido seco. La velocidad media desecado en ese intervalo de tiempo resulta:

$$R_1 = \frac{L_s \Delta X}{A \Delta t} = \frac{1,36 (21,50 - 20,58)}{0,24 \cdot 1} = 5,25 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

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

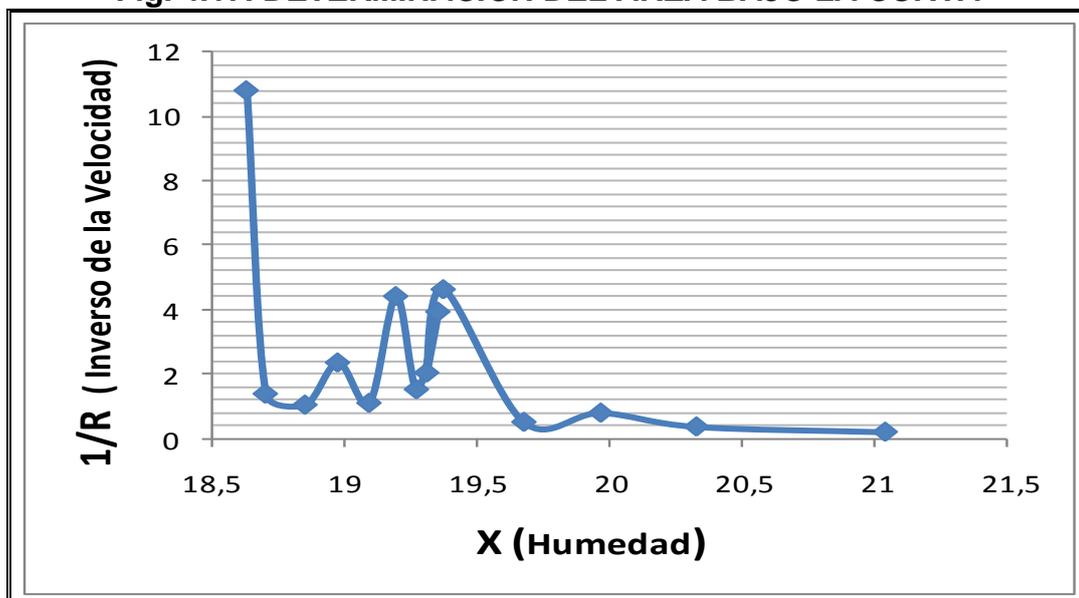
Tabla 13. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SECADO



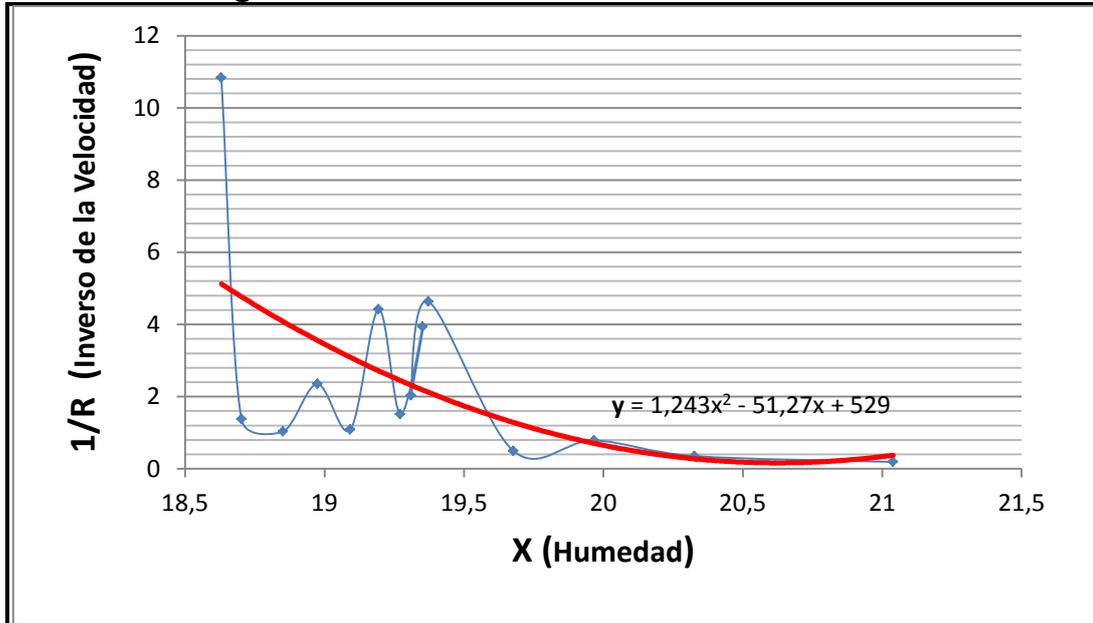
MASA SÓLIDO SECO	HUMEDAD BASE HUMEDA	TIEMPO	MASA DEL LODO INICIAL	MASA AGUA	MASA TOTAL	X HUMEDAD	X HUMEDAD MEDIA	AREA DEL LECHO PILOTO	R VELOCIDAD DE SECADO	1/R
Kg	%	Días	Kg	Kg	Kg	Kg agua/Kg sólido seco	Kg agua/Kg sólido seco	m ²	Kg/ m ² día	m ² día/Kg
1,36	95,565	0	30,6	29,243	30,603	21,502		0,24		
1,36	91,448	1	30,6	27,983	29,343	20,576	21,039	0,24	5,250	0,190
1,36	89,239	2	30,6	27,307	28,667	20,079	20,327	0,24	2,816	0,355
1,36	88,240	3	30,6	27,002	28,362	19,854	19,966	0,24	1,273	0,786
1,36	86,664	4	30,6	26,519	27,879	19,499	19,677	0,24	2,009	0,498
1,36	86,495	5	30,6	26,467	27,827	19,461	19,480	0,24	0,216	4,632
1,36	86,110	6	30,6	26,350	27,710	19,375	19,418	0,24	0,491	2,035
1,36	85,910	7	30,6	26,289	27,649	19,330	19,352	0,24	0,254	3,935
1,36	85,392	8	30,6	26,130	27,490	19,213	19,272	0,24	0,660	1,514
1,36	85,215	9	30,6	26,076	27,436	19,173	19,193	0,24	0,226	4,418
1,36	84,496	10	30,6	25,856	27,216	19,012	19,092	0,24	0,917	1,091
1,36	84,162	11	30,6	25,754	27,114	18,936	18,974	0,24	0,426	2,349
1,36	83,403	12	30,6	25,521	26,881	18,766	18,851	0,24	0,967	1,034
1,36	82,834	13	30,6	25,347	26,707	18,638	18,702	0,24	0,726	1,377

Ahora procederemos a graficar $1/R$ vs X , obteniendo la siguiente curva al graficar el inverso de la velocidad contra la humedad, para luego determinar el área bajo dicha curva.

Fig. 4.17. DETERMINACIÓN DEL AREA BAJO LA CURVA



Como se puede apreciar la curva es irregular razón por la cual vamos a sacar una tendencia polinómica.

**Fig. 4.18. TENDENCIA DE LA CURVO 1/R vs X**

Entonces ahora se va a determinar el área bajo la curva $y = 1,243x^2 - 51,27x + 529$

Entre los límites de $x_f = 21,04$ y $x_i = 18,63$

$$A' = \int_{x_i}^{x_f} \frac{dx}{R}$$

$$A' = \int_{18,63}^{21,04} (1,243x^2 - 51,27x - 529) dx$$

$$A' = \left[\frac{1,243x^3}{3} \right] - \left[\frac{51,27x^2}{2} \right] - 529x$$

$$A' = \left\{ \left[\frac{1,243(18,63)^3}{3} \right] - \left[\frac{51,27(18,63)^2}{2} \right] - 529(18,63) \right\} -$$

$$\left\{ \left[\frac{1,243(21,04)^3}{3} \right] - \left[\frac{51,27(21,04)^2}{2} \right] - 529(21,04) \right\} -$$

$$A' = 4,07$$

Esto quiere decir que el valor de la integral es 4,07 que si remplazamos en la Ecuación 6, tendríamos:

$$t = \frac{1,36}{0,24} (4,07) = 23,10 \text{ días}$$



Lo que indica que según la prueba realizada en el lecho de secado piloto el tiempo necesario para disminuir la humedad de 95,5 a 82,7% es de 23 días, la pérdida de humedad a partir del día séptimo no es significativa de acuerdo con la *Tabla 9*.



CAPITULO 5.

DIMENSIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE CÁLCULO DEL LECHO DE SECADO DE LOS LODOS

5.1. CONCEPTUALIZACIÓN

Los lechos de secado son estanques con un fondo de arena sobre grava graduada, en los que se introducen los lodos para su secado. Dicho secado se produce por drenaje en el filtro y deshidratación por evaporación.

Se utilizan diversas variaciones en los lechos secadores de arena, Rolan ya en 1890 propuso las siguientes categorías de clasificación [11]:

- a. **Lechos de secadores de arena:** Son lechos rectangulares convencionales con paredes laterales y una capa de arena o grava con tubería de drenaje por debajo. Se constituyen con o sin provisiones para remoción de residuos secos y con o sin techo o cubierta tipo invernadero.
- b. **Lechos pavimentos rectangulares:** Estos tienen una banda central o tira de arena de drenaje, con o sin tubos calefactores, colocados en la sección pavimentada y con o sin cubierta para evitar la incursión de lluvia. Los lechos de fondo de pavimento se denominan lechos de secado solar.

El diseño y construcción de lechos de secado de arena es muy específico del lugar, debiendo considerarse todas las condiciones de topografía, suelo disponible y restricciones de operación. La topografía juega un papel clave en cómo se constituyen los lechos en un lugar, y qué restricciones operativas (como la distancia de bombeo de los residuos) deben ser consideradas también cuando se sitúa la localización de los lechos. Los materiales usados en la construcción son normalmente hormigón o bloques de hormigón.

Los sistemas de drenaje subterráneos para lechos de secado de arena se utilizan para recoger el agua que ha filtrado a través de la arena y grava y transmitirla a un punto de vertido. Los drenajes subterráneos se construyen normalmente de arcilla cocida esmaltada o vitrificada o bien de tuberías de plástico. Existen muchas disposiciones, pero la más común son unos colectores de drenaje laterales que transportan el flujo hacia un tubo colector.

Varios lechos secadores de arena se utilizan en un lugar dado, lo que ofrece algunas ventajas desde un punto de vista de las operaciones. Las principal de todas ellas es la capacidad de rotar el uso de los lechos, de forma que



cuando un lecho secador este cargado y los residuos empiecen a secarse, otro lecho esté limpio y listo para una nueva aplicación de residuos.

5.2. ESPECIFICACIONES

Los lechos suelen ser rectangulares. La profundidad del estanque permitirá la introducción del lecho de arena y la lámina de lodo que se vaya a desecar. La superficie de los lechos de secado se divide en módulos por las razones siguientes:

- a. **Operatividad:** Hay que tener en cuenta que el lodo se va produciendo continuamente y que su eliminación se hace de una forma periódica, por tanto al tener que llenar el lecho hasta una altura determinada, es necesario que con una cantidad no muy grande de lodos de (10 a 30 m³) se llene un módulo.
- b. **Drenaje:** Al existir un sistema de drenaje independiente para cada módulo el recorrido de una gota de agua desde el punto más lejano al tubo principal no debe de exceder de 3 m.
 - *Imhoff* recomienda que el rectángulo oscile entre 4 m y 6 m de ancho, siendo la longitud indefinida.
 - *Degremont* fija como límites 8 m de ancho y 20 m de longitud.
 - *Paz Maroto y Paz Casañé* fijan el ancho entre 4 m y 5 m.
 - *Fair, Geyer y Ckun* recomiendan no sobrepasar los 6 m de ancho ni los 30 m de longitud [12].

Todos estos autores suponen estas limitaciones para pequeñas plantas y con un solo punto de alimentación. Hay que tener en cuenta que las dimensiones se ven restringidas por la necesidad de un llenado rápido, para que se pueda formar una capa de lodos considerable en reposo para que funcione el mecanismo de flotación.

Para definir el largo y el ancho del lecho de secado no se tiene un criterio fijo, teniéndose más en cuenta la disposición del terreno para fijarlos, sin embargo de acuerdo al Capítulo 9 del libro "Purificación del Agua", del Ingeniero Jairo Romero, de la Escuela Colombiana de Ingeniería, se recomienda construir mínimo dos lechos de secado.

A continuación se muestra un esquema con el procedimiento de diseño del lecho se secado.



PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL LECHO DE SECADO

DETERMINACION DE FORMULAS

$$T = \frac{30 HS_o}{aE - bR} \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} \right) + t_d$$

ESPECIFICACIONES

T = Tiempo de secado requerido, **días**

H = Tirante de agua aplicado, **pulg.**

S_o = Concentración de sólidos, %

a = Factor adimensional

E = Evaporación en el lecho de secado, **pulg/mes**

b = Fracción de lluvia absorbida, adimensional

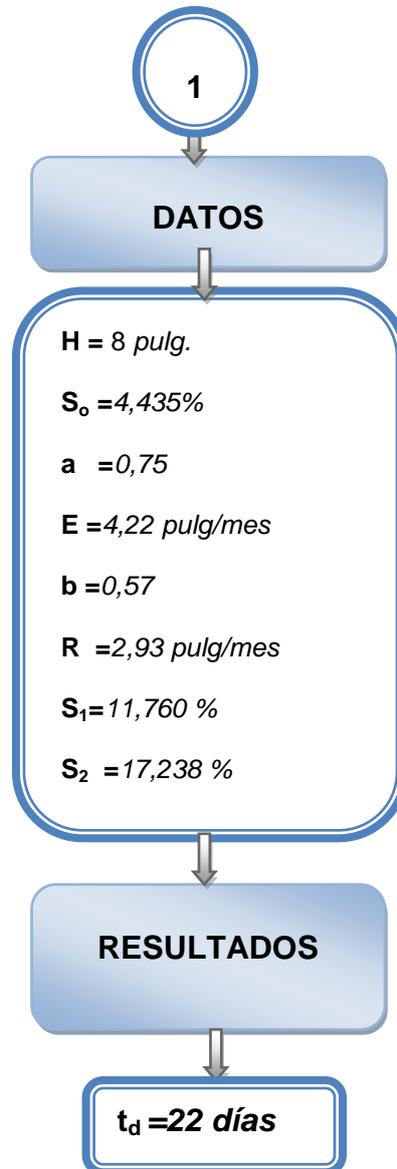
R = Precipitación media mensual, **pulg/mes**

S₁ = Contenido de Sólidos %, después de t_d días

S₂ = Contenido final de sólidos %

t_d = Tiempo en el que el drenaje es significativo, **días**

1



5.3. CÁLCULOS

5.3.1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO

Para determinar el tiempo de secado del lodo en el lecho de secado se aplica la siguiente ecuación [13]:

ECUACION 7:

$$T = \frac{30 H S_0}{aE - bR} \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} \right) + t_d$$



Donde:

T = Tiempo de secado requerido

H = Tirante de agua aplicado, **pulg**

S_o = Concentración de sólidos, %

a = Factor adimensional

E = Evaporación en el lecho de secado, **pulg/mes**

b = Fracción de lluvia absorbida, adimensional

R = Precipitación en el mes más lluvioso, **pulg/mes**

S₁ = Contenido de Sólidos después de **t_d** **días**

S₂ = Contenido final de sólidos %

t_d = Tiempo en el que el drenaje es significativo, **días**.

a. Determinación de H: De acuerdo con las recomendaciones encontradas en la bibliografía el valor del tirante de agua aplicada será **[14]**:

H= 8 pulg.

b. Determinación de S_o: A partir de los datos de la *Tabla 9*, para el día cero se tiene:

$$S_o = 100 - 95,565 = 4,435\%$$

c. Determinación de t_d: Si consideramos el tiempo en el cual el drenaje es significativo en el lecho de secado piloto se llega a un tiempo de tres días, ya que luego de este tiempo la pérdida de humedad es inferior en comparación a los dos primeros días de secado.

d. Determinación de S₁: Al considerar **t_d=3**, el contenido de sólidos después de estos tres días sería de acuerdo con la *Tabla 9*, se tiene:

$$S_1 = 100 - 88,240 = 11,760\%$$

e. Determinación de S₂: El contenido final de sólidos sería:

$$S_2 = 100 - 82,762 = 17,238\%$$

f. Determinación de E: Se determinó que la evaporación media mensual en la región es de 107,18 mm **[15]**.



g. Determinación de R: Se estableció que la precipitación media mensual en la región es de 74,42 mm [16].

Finalmente:

$$T = \frac{30 * 8 \text{ pulg} * 4,435}{0,75 * 4,22 \text{ pulg/mes} - 0,57 * 2,93 \text{ pulg/mes}} \left(\frac{1}{11,760} - \frac{1}{17,238} \right) + 3 \text{ días}$$

$$T = 22,24 \text{ días}$$

5.3.2. CÁLCULO DEL ÁREA SUPEFICIAL REQUERIDA

El volumen de lodo a secar será el recogido en un tanque espesador desde el día en que se descarga dos sedimentadores, dejándolo espesar por un lapso de 24 horas, al día siguiente y antes de descargar los otros dos sedimentadores, el lodo espesado será evacuado hasta el lecho de secado.

Se tomará en cuenta que cada día se lavan dos sedimentadores evacuando un volumen de 92 m³, lo cual se va a disponer en un tanque espesador con el fin de concentrar un poco los lodos. Para determinar cuál es la cantidad de lodo que se concentraría en 24 horas se hizo pruebas de decantación para lo cual se tomó una muestra homogénea del desfogue de los sedimentadores y se colocó en un tanque de 200 litros; se dejó sedimentar por un día luego del cual se sacó el desaguado y se colocó en el lecho de secado piloto *Figura 5.1*.



Fig. 5.1. Prueba para determinar el porcentaje de lodo concentrado en tanque de sedimentación



En esta prueba se pudo determinar que la cantidad de agua sobrenadante en el tanque era un 35% del volumen total. Esto implica que de los 92 m³ de lodo evacuado de dos sedimentadores a un tanque espesador, un 35% sería de agua sobrenadante y un 65% de lodo concentrado es decir 32,2 m³ de agua y 59,8 m³ de lodo concentrado que es lo que finalmente se va a colocar en el lecho de secado.

Para obtener el área total del lecho tenemos:

VOLUMEN DE LODO A CARGAR EN EL TANQUE ESPESADOR = 92 m³

PORCENTAJE DE LODO ESPESADO: 65 %

VOLUMEN DE LODO A SECAR = 59,8m³

ALTURA DEL LODO EN EL LECHO = 8 pulg.

Para el cálculo de área requerida de los lechos de aplicará la siguiente ecuación:

ECUACION 8:

$$A_l = \frac{V}{H}$$

Donde:

V = Volumen de lodos a aplicar, m³

H = Tirante inicial de lodos, m

A_l = Área requerida del lecho, m².

$$A_l = \frac{59,8 m^3}{0,203 m}$$

$$A_l = 294,6 m^2$$

Se proponen lechos de 8 m x 19 m por lo que el número de lechos requeridos es:

x= 19 m

y= 8 m

ECUACION 9:

$$N = \frac{A_l}{x * y}$$



$$N = \frac{294,6}{152 \text{ m}^2 / \text{lecho}} = 1,94 \approx 2 \text{ lechos}$$

Según el último cálculo se necesitaría 2 lechos de secado para los dos sedimentadores que se evacuan diariamente (cuatro días a la semana). Como se tiene ocho sedimentadores se necesitaría 8 lechos de secado, teniendo presente que los sedimentadores se lavan semanalmente y que el tiempo de secado requerido es de 23 días, es decir 3 semanas, por lo que se necesitaría tener 24 lechos de secado de 19 m x 8 m.

5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE ESPESADOR

Volumen: Para determinar su volumen se tendrá en cuenta la manera en la cual operará el tanque espesador:

Día 1: Se carga el tanque con las aguas de desfogue del sedimentador 1 y 2; 24 horas después se retira el clarificado del tanque y el lodo concentrado se transporta al lecho de secado.

Día 2: Luego de haber colocado en el lecho de secado, se realiza el lavado de los sedimentadores 3 y 4 siguiendo el mismo procedimiento del día uno, y se carga al tanque espesador, así mismo 24 horas después se retira el clarificado del tanque y el lodo concentrado se transporta al lecho de secado.

Día 3: Después de haber depositado en el lecho de secado el lodo espesado de los sedimentadores 3 y 4, se realiza el lavado de los sedimentadores 5 y 6 siguiendo el mismo procedimiento del día uno o dos; se carga al tanque espesador, igualmente 24 horas después se retira el clarificado del tanque y el lodo espeso se transporta al lecho de secado.

Día 4: En seguida de haber cargado el lecho de secado con el lodo espesado de los sedimentadores 5 y 6, se realiza el lavado de los sedimentadores 7 y 8, siguiendo el mismo procedimiento del día uno, dos o tres, y se deposita en el tanque espesador. Así mismo 24 horas después se retira el clarificado del tanque y el lodo concentrado se transporta al lecho de secado.

El volumen que entra al tanque espesador es la cantidad de agua de lavado que recibe el tanque ese día luego de lavar dos sedimentadores, el promedio de agua de lavado de dos sedimentadores es de 92 m³.

Tomando un sobre diseño del 30 %, tenemos un volumen total para el tanque espesador de [17]:

- **Volumen total del espesador = 92 * 1,30**
- **Volumen total del espesador = 119,6 m³**



Se propone un tanque de 7 m de largo, 5 m de ancho y 3,5 m de altura; con una pendiente del 1%.

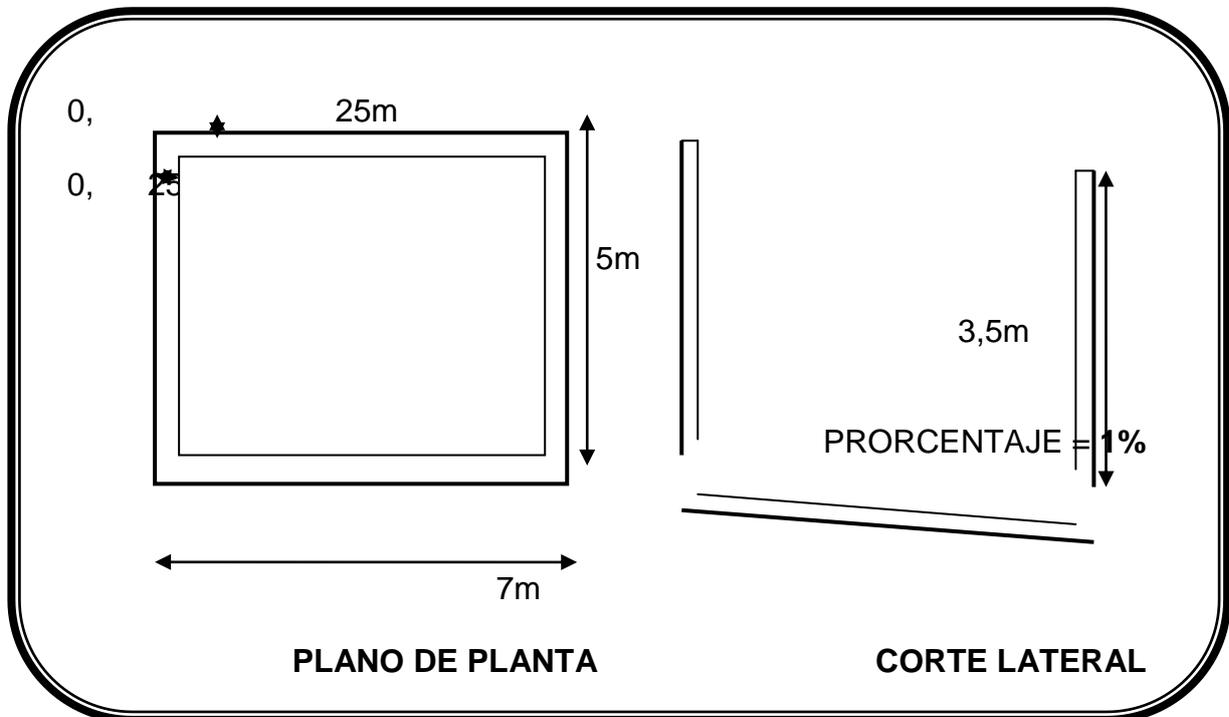


Fig. 5.2. Dimensiones del Tanque espesador de lodos

5.5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL LECHO DE SECADO

En el *Apartado* 5.3.2 se obtuvo que las dimensiones de cada lecho de secado que sería de 19 m de largo por 8 m de ancho, teniendo presente las recomendaciones anteriormente citadas.

5.5.1. PAREDES LATERALES

Los lechos tendrán una profundidad de 1,06 m, de los cuales 20 cm son para el borde libre, 20 cm de lodo, 30 cm de arena, 8 cm de gravilla, 12 cm de grava y 16 cm (6 pulg.) para la tubería recolectora de lixiviado. Las paredes serán de concreto.

Se construirán 2 paredes de 19 m de largo por 1 m de alto y 0,25 m de espesor cada uno, también se deberá construir 2 paredes de 8 m de largo por 1 m de alto y 0,25 m de espesor cada uno. En la parte inferior del lecho se construirá una tolva con paredes laterales de pendiente 2°.

5.5.2. BAJO DRENES



La tubería principal del bajo dren deberá tener no menos de 160 mm de diámetro y una pendiente mínima de 1%. En el caso de que las infiltraciones pongan en peligro el agua subterránea, se deberá sellar el piso de tierra con una membrana impermeable. El área alrededor del sistema de bajo dren deberá estar rellena con grava gruesa.

Para este caso se va a colocar una tubería principal de 16 cm de diámetro y una pendiente del 1%.

5.5.3. CAPA DE GRAVA

La capa de grava deberá ser graduada a una profundidad de 200 a 460 mm, con el material relativamente grueso en el fondo. Las partículas de grava deberán variar en diámetro de 3 a 25 mm.

Para el presente estudio se colocó grava y gravilla de las siguientes especificaciones:

Tabla 14. ESPECIFICACIONES DE GRAVA Y GRAVILLA

MATERIAL	ALTURA (cm)	DIMENSION DEL TAMIZ (mm)	
		RETIENE	PASA
Grava	6	25,40	50,00
	6	12,70	25,40
Gravilla	4	6,40	12,70
	4	3,20	6,40

5.5.4. CAPA DE ARENA

La profundidad de la capa de arena varía de 200 a 460 mm; sin embargo, se sugiere una profundidad mínima de 300 mm para asegurar un buen efluente y reducir las pérdidas de arena debido a las operaciones de limpieza. La arena debe tener partículas limpias, duras, resistentes y libres de arcilla, limo, polvo u otra materia extraña; un coeficiente de uniformidad no mayor de 4,0; pero de preferencia debajo de 3,5; y un tamaño efectivo de los granos de arena entre 0,3 y 0,75 mm.

Para el lecho desecado propuesto se va a colocar 30 cm de arena con un coeficiente de uniformidad 3,5 y un tamaño efectivo de los granos de arena de 0,6 mm.

Con todos los datos anteriormente indicados vamos a realizar un plano del lecho de secado referido *Anexo 9*.



CAPITULO 6.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL

Una vez construido el lecho de secado piloto se procedió a realizar ensayos únicamente con los lodos de sedimentación en vista de que los lodos del lavado de los filtros cumplen con la normativa estipulada en el TULAS, lo cual se puede verter directamente en la quebrada *Apartado 6.2*.

Luego de las pruebas realizadas se obtuvo los siguientes resultados:

- **%Humedad Inicial de los Lodos:** 95,565
- **%Humedad Final de los lodos:** 82,762
- **Humedad inicial en base seca:** 21,04 Kg de agua/Kg de sólido seco
- **Humedad final en base seca:** 18,63 Kg de agua/Kg de sólido seco
- **El tiempo requerido para reducir la humedad de 21,04 a 18,63 Kg de agua/Kg de sólido seco:** 23 días.
- **El tiempo calculado de acuerdo con la *Ecuación 7* resulto ser:** 22 días

Evidenciándose que el tiempo necesario para reducir el máximo porcentaje de humedad en las condiciones ambientales en las que se encuentra en la Planta de Tratamiento de Mahuarca y es de 22 a 23 días.

En el lodo de sedimentación los parámetros como DQO, Fósforo Total, NKT, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Sulfatos, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Aluminio, Cromo, Hierro, Manganeseo se encuentran sobrepasados a los valores asignados por el TULAS. Luego de que se dispuso los lodos de sedimentación en el lecho de secado piloto y después de que se filtró los primeros lodos, se procedió a tomar muestras del filtrado (lixiviado) para su posterior análisis y se pudo constatar que los parámetros anteriormente mencionados cumplen con la normativa del TULAS (*Tabla 19*), para la descarga de efluente a un cuerpo de agua o receptor: agua dulce; demostrando de esa manera que el tratamiento de lodos producidos en la PTM mediante lechos de secado es totalmente eficaz, debido a que todos los parámetros que hacen que estos lodos no sean aptos para una descarga a la quebrada de Mahuarca y son retenidos en el lodo que se deposita en el lecho de la arena.



6.2 ANÁLISIS DE LOS LODOS

6.2.1. ANÁLISIS DE LOS LODOS DE SEDIMENTACIÓN

La caracterización de los lodos de sedimentación y de lavado de filtros ya se presentó en el *Apartado 3.2.*, ahora se va hacer un análisis comparativo entre los parámetros analizados en dichos lodos y lo que establece el TULAS en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua libro VI Anexo 1, Artículo 4.2.3. Normas de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua o Receptor: Agua Dulce; específicamente el Artículo 4.2.3.7. *Anexo 10.*

Como se pudo ver en la *Tabla 15*, los lodos del agua de lavado de los filtros cumplen en su mayoría con los parámetros establecidos por el TULAS, es decir que estos lodos se podrían verter a la quebrada sin tratamiento; no así los de sedimentación en el cual algunos parámetros están por encima de los límites recomendados por el TULAS, sobre todo el Aluminio y Hierro, razón por la cual es necesario dar un tratamiento antes de su vertido.

A continuación se presenta en la siguiente tabla los parámetros analizados en los lodos de sedimentación y en los lodos del lavado de filtros, así como también los límites recomendados por el TULAS para permitir descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 15. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS LODOS DE SEDIMENTACIÓN Y DE LOS LODOS DEL LAVADO DE LOS FILTROS CON LA NORMATIVA (TULAS).

PARAMETROS	LODOS DE SEDIMENTACIÓN	LODOS DE LAVADO DE FILTROS	TULAS
DBO ₅	** mg/l	** mg/l	100 mg/l
DQO	5359 mg/l	73 mg/l	250 mg/l
Fósforo Total	15,51 mg/l	0,33 mg/l	10 mg/l
NKT	105,42 mg/l	3,22 mg/l	15 mg/l
Ph	6,34	6,86	5-9
Sólidos Suspendidos	42900 mg/l	350 mg/l	100 mg/l
Sólidos Totales	43510 mg/l	462 mg/l	1600 mg/l
Sulfatos	9.07 mg/l	18.57 mg/l	1000 mg/l
Coliformes Totales	7,0E+05 NMP/ 100 ml	3,3E+04 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Coliformes Termotolerantes	2,4E+05 NMP/ 100 ml	5,4E+03 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Aluminio	1580000 µg/l	43400 µg/l	5000µg/l
Arsénico	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	100µg/l
Cromo	980,6 µg/l	< 50 µg/l	500µg/l
Hierro	824200 µg/l	10280 µg/l	10000µg/l



Manganeso	23870 µg/l	927 µg/l	2000µg/l
Mercurio	< 0,05 µg/l	< 0,05 µg/l	5µg/l
Plomo	362,6 µg/l	< 100 µg/l	200µg/l
Zinc	1292 µg/l	39,4 µg/l	5000µg/l

**La DBO es menor a la esperada

El presente estudio pretende tratar los lodos de sedimentación en lechos de secado, pero antes de transportar estos lodos al lecho, se propone concentrar en un tanque espesador para evitar así grandes volúmenes de lodo a tratar.

Con el objetivo de determinar cuánto de lodo se puede concentrar por gravedad en un tanque espesador se realizó ensayos colocando estos lodos en un tanque de 200 litros y se dejó decantar, se tomó muestras de agua sobrenadante y se analizó los parámetros que estaban por encima de los establecido por el TULAS, teniendo los siguientes resultados *Anexo 11*.

TABLA 16. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL AGUA SOBRENADANTE O DECANDADA CON LA NORMATIVA (TULAS).

PARAMETROS	AGUA DECANTADA DE LOS LODOS	TULAS
DQO	6 mg/l	250 mg/l
Sulfatos	19.62 mg/l	1000 mg/l
Coliformes Totales	240 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Coliformes Termotolerantes	240 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Aluminio	482.1 µg/l	5000 µg/l

Según los resultados obtenidos en las *Tablas 15 y 16*, el agua decantada en el tanque espesador (decantación) puede descargarse a la quebrada, mientras que los lodos concentrados (espesados) deben tratarse. Esto es justamente lo que se hizo en los lechos de secado piloto, el lodo concentrado en 24 horas en el tanque de 200 litros se colocó en el lecho piloto y se dejó secar por 14 días, durante este tiempo diariamente se tomó muestras de lodos con el fin de determinar la pérdida de humedad, la velocidad de secado y el tiempo necesario para reducir el contenido de humedad.

6.2.2 ANÁLISIS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS

El análisis de la materia deshidratada de estos lodos, generalmente llamados lodos hidróxidos, nos pone de manifiesto la presencia de muchos de los compuestos que recubren la corteza terrestre, variando las proporciones según la naturaleza del terreno atravesado por el agua cruda



(descartando, por supuesto, que en su transcurso haya recibido aportes contaminantes importantes).

Si consideramos que la mayor parte de las sustancias disueltas en el agua cruda no quedarán retenidas en el proceso de tratamiento, a excepción de aquellas (por ejemplo, los compuestos de Mn^{++} y Fe^{++}) que al oxidarse pasan a insolubles, de aquellas otras como la materia orgánica que puede quedar adsorbida por los propios flóculos o aquellas que pueden llegar a precipitar (por sobrepasar el producto de solubilidad correspondiente, por ejemplo sulfatos y carbonatos), y que en el agua tratada no hay materia en suspensión alguna, los lodos procedentes del tratamiento del agua están formados, fundamentalmente, por la materia en suspensión del agua cruda, los hidróxidos de aluminio generados al incorporar el coagulante (sulfato de aluminio), por alguna otra sustancia insoluble empleada en el tratamiento, como por ejemplo carbón activo y por los posibles óxidos e hidróxidos insolubles de hierro y manganeso que pudieran formarse, así como por la materia orgánica disuelta que ha sido retenida en los flóculos, tal como se ha señalado anteriormente.

Al final del periodo de prueba en el lecho de secado piloto se tomó muestras de lodo deshidratado y se analizó ciertos parámetros con el objetivo de determinar qué uso se le puede dar a estos lodos deshidratados.

Así se envió estos lodos a INIAP con el propósito de determinar si estos lodos pueden servir para abono como uso agrícola Anexo 12. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 17. RESULTADO DE LOS ANALISIS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS PARA USO AGRICOLA

PARAMETROS	UNIDADES	LODO DESHIDRATADO	REFERENCIA
Clase Textural	%	88/03/09	%Arena, %arcilla, %limo
Materia Orgánica	%	12,69	Alto
Nitrógeno	ppm	61,54	Alto
Fósforo	mg/l	7,69	Bajo
Potasio	(meq/100ml)	0,28	Medio
Calcio	(meq/100ml)	9,78	Alto
Manganesio	(meq/100ml)	1,36	Medio
Hierro	ppm	103,40	Alto
Cobre	ppm	4,90	Alto



Zinc	ppm	1,60	<i>Bajo</i>
Manganeso	ppm	139,10	<i>Alto</i>
Aluminio	µg/l	38130	<i>Alto</i>
p.H.		6,94	<i>Prácticamente Neutro</i>

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior algunos parámetros están altos tal como el aluminio, lo cual hace prever que estos lodos no pueden ser utilizados en cultivos de productos destinados al consumo humano; pero de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), realizado en el laboratorio del INIAP Anexo 13 y luego de realizar un examen del contenido de calcio, magnesio, potasio y sodio en relación de la CIC Anexo 14; se podría utilizar como acondicionador de suelos para plantas ornamentales.

También se envió muestras de lodo deshidratado al laboratorio de Control de Calidad de la Empresas Industrias Guapán con la intención de determinar su composición y establecer si es apto en la fabricación del cemento, Anexo 15. Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 18. RESULTADO DE LOS ANALISIS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS PARA USO INDUSTRIAL

PARAMETROS	LODO DESHIDRATADO M1	LODO DESHIDRATADO M2
SiO ₂	22,08 %	33,48 %
Al ₂ O ₃	22,91%	24,75%
Fe ₂ O ₃	8,34%	8,83%
CaO	3,94%	1,9%
MgO	0,77%	0,85%
Na ₂ O	0,26%	0,36%
K ₂ O	1,09%	1,2%
SO ₃	1,00%	1,1%

De acuerdo con los resultados, este lodo es apto para ser utilizado como arcilla para la molienda de crudo.

Así mismo se realizó un análisis para la determinación de la plasticidad de estos lodos con el mira de conocer si es adecuado para la industria de la cerámica; según el reporte emitido por el Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN) Anexo 16; estos lodos tienen muy poca plasticidad.

6.3 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL LECHO DE SECADO



Durante el tiempo que se dejó deshidratar los lodos en el lecho de secado piloto se pudo determinar que en el primer día se da la mayor cantidad de deshidratación, se tomó una muestra del lixiviado del lecho al segundo día y se analizó ciertos parámetros con el propósito de determinar la eficiencia del lecho para retener los parámetros que no permiten descargar directamente a la quebrada sobre todo de los metales pesados como es el caso del aluminio y hierro, y se obtuvo los siguientes resultados Anexo 17:

Tabla 19. RESULTADO DEL VERTIDO (LIXIVIADO) DEL LECHO DE SECADO PILOTO

PARAMETROS	AGUA (LIXIVIADO)	TULAS
Fósforo Total	0,05 mg/l	10 mg/l
NKT	2,95 mg/l	15 mg/l
pH	7,52	5-9 mg/l
Sólidos Suspendidos	9,0 mg/l	100 mg/l
Sólidos Totales	357 mg/l	1600 mg/l
Sulfatos	98,1 mg/l	1000 mg/l
Turbiedad	4,46 NTU	
Coliformes Totales	1,3+E03 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Coliformes Termotolerantes	2E+02 NMP/ 100 ml	3000 NMP/ 100 ml
Aluminio	483,6 µg/l	5000µg/l
Cromo	<50 µg/l	500µg/l
Hierro	26 µg/l	10000µg/l
Manganeso	6,4 µg/l	2000µg/l
Plomo	<100 µg/l	200µg/l

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, se observa que los parámetros analizados se encuentran dentro del límite máximo permisible cumpliendo con los valores establecidos por el TULAS correspondiente con la descarga a un cuerpo de agua dulce.

6.4. DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS DESHIDRATADOS

Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay, descarga todos sus lodos a la quebrada del mismo nombre, afluente directo del río Tabacay. Aproximadamente cada 7 días se efectúa el lavado de los sedimentadores de dos en dos, en donde alrededor de 368 m³ de agua y lodos van a parar a la quebrada. La totalidad del coagulante va a parar a estos lodos, teniendo en cuenta que el resto de los lodos son las partículas que este aglomerado en su reacción. Por tal motivo se



presenta el problema de la disposición segura de estos lodos deshidratados. Los lodos ya tratados y deshidratados deben ser dispuestos en lugares donde no representen ningún riesgo, como es la contaminación de las fuentes o el ambiente en general.

Si los lodos no son destinados como abono en la agricultura, ni como arcilla en la industria cementera; entonces se tiene que dar una disposición final que sería un relleno sanitario (escombrera municipal) o realizar estudios que nos permita recuperar subproductos.

6.4.1. DISPOSICIÓN EN UN RELLENO SANITARIO

El primer aspecto a considerar para este método de disposición, es el traslado de los lodos de la planta a las instalaciones del relleno sanitario. Para poder transportarse en camiones el lodo de sulfato de aluminio debe tener una consistencia semisólida, la cual se alcanza con un contenido de sólidos mayor al 20%.

Para la aceptación de los lodos de la planta en un relleno sanitario municipal de residuos sólidos, deberá demostrarse que dichos lodos no representan ningún peligro para este, en un relleno específico para lodos de la planta potabilizadora. Los dos principales métodos de disposición en rellenos sanitarios son rellenos por trincheras o por área. El relleno por trincheras se puede subdividir en trincheras angostas o anchas. El relleno por área se divide en tres diferentes tipos por montículos, por capas o por diques. El método seleccionado se determina por el contenido de sólidos del lodo, la estabilidad del lodo, pendiente del terreno y disponibilidad de terreno.

6.4.2. RECUPERACIÓN DE SUBPRODUCTOS

Dentro de las prácticas relacionadas con la disposición de los lodos se encuentra la recuperación del coagulante a partir de los mismos, como una práctica de reciclaje, la cual permite minimizar los costos y los problemas asociados con la disposición final [18].

Las ventajas y desventajas de la recuperación del coagulante se resumen a continuación:



Tabla 20. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RECUPERACIÓN DEL COAGULANTE

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Disminución del volumen del lodo	1. Consumo extra de productos químicos
2. Recuperación del coagulante	2. Necesidad de unidades adicionales en las plantas de tratamiento
3. Disminución de la concentración de metales pesados en los lodos	3. Aumento de los servicios de operación
4. Mayor facilidad en la deshidratación de los lodos	

Las sales de aluminio e hierro que se utilizan como coagulantes en la potabilización del agua forman, a pH cercano al neutro, partículas de material polimérico de hidróxidos de los metales, que una vez sedimentados, producen unas suspensiones de lodo gelatinoso las cuales son difíciles de espesar y desaguar. Esta dificultad estriba en que los hidróxidos de los metales tienen una gran cantidad de agua atrapada dentro de la matriz de hidróxido. Por otra parte estos hidróxidos tienen una gran solubilidad en condiciones alcalinas y ácidas fuertes. Esta situación tiene el potencial de remover los polímeros de hidróxido de las suspensiones de lodo con dos efectos benéficos:

- Reducción del volumen y de la masa de lodo producido en la potabilizadora
- Uso benéfico del metal del coagulante.

La recuperación de coagulante se puede ver, por lo tanto, desde dos puntos de vista. El primero es considerar la adición de ácido o álcali como una técnica de acondicionamiento del lodo para mejorar sus características de espesamiento, desaguado y reducción de los residuos. Otro enfoque es el de maximizar la recuperación y rehúso del metal del coagulante presente en los lodos.

El método usado para la extracción de los coagulantes del lodo es la aplicación de ácido sulfúrico. La cantidad de ácido requerida para la extracción es función de la concentración del metal en el lodo, la concentración de sólidos en suspensión y la concentración de otros componentes del lodo que demandan ácido, incluyendo la materia orgánica. El pH de la extracción varía de 2 a 3 cuando se pretende recuperar el coagulante. Cuando la adición del ácido es con fines de acondicionamiento del lodo el pH es de alrededor de 4. El tiempo de retención de la extracción es de 10 a 20 minutos.



La calidad del coagulante recuperado depende de la calidad del coagulante de primer uso. Los compuestos que se presentan con mayor frecuencia en el coagulante recuperado incluyen manganeso, hierro (en el de aluminio) y carbón orgánico soluble. La recirculación de los contaminantes del coagulante extraído junto con el metal deseado es motivo de preocupación, aún cuando en las plantas en operación no se han presentado este tipo de problemas.

De cualquier manera si se pretende recircular el coagulante se debe tener cuidado con los trihalometanos, el color residual, los compuestos orgánicos, y los metales pesados.

La viabilidad económica de la recuperación de coagulante, no se ha demostrado en forma concluyente, razón por la cual su práctica no se ha extendido, y debe estudiarse en cada caso en particular ya que depende de la composición del agua cruda, la dosis relativa de coagulante, y los costos de tratamiento y disposición de los lodos. Este último costo depende, sobre todo, de las normas que se tengan que cumplir para la disposición de los lodos **[19]**.



CAPITULO 7.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- La implementación de lechos de secado de arena para el tratamiento de los lodos producto de la potabilización en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay, permite obtener lixiviados cuyos parámetros físicos, químicos y bacteriológicos cumplen con la normativa estipulada por el TULAS para la descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.
- Los lodos productos de la sedimentación no son aptos para una descarga directa a un cuerpo de agua dulce porque la mayoría de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos no cumplen con la normativa estipulada por el TULAS; en cambio el lodo proveniente del lavado de los filtros en su mayoría cumplen con dicha normativa para la descarga directa a un cuerpo de agua dulce.
- Los lodos que se dispuso en el lecho de secado piloto tienen un % de humedad inicial del 95,565 y un % de humedad final de 82,762; es decir dándose una pérdida de humedad del 12,8%. El tiempo requerido para reducir la humedad inicial en base seca de 21,04 Kg de agua/Kg de sólido seco a humedad final en base seca de 18,63 Kg de agua/Kg de sólido seco, es de 23 días; y el tiempo calculado de 22 días.

Evidenciándose que el tiempo necesario para reducir el máximo porcentaje de humedad en las condiciones ambientales en las que se encuentra en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay es de 23 días según datos experimentales y según cálculos analíticos es de 22 días.

- Al implementar los lechos de secado donde se traten los lodos que actualmente se descargan directamente a la quebrada se evitaría la erosión en la misma, impidiendo de esta manera desprendimiento de taludes que se encuentran en los márgenes de la quebrada, contribuyendo así a un mantenimiento de la fauna y flora de dichos hábitats.
- Los lechos de secado a implementar serán en un número de 24 con dimensiones de 8 m de ancho por 19 m de largo y una profundidad de 1,06 m. La empresa debe disponer de una superficie extensa de terreno para la ejecución del proyecto.



7.2. RECOMENDACIONES

- Construcción de una cubierta para los lechos de secado para impedir que ingrese agua lluvia a los mismos.
- Dejar secar los lodos por períodos más cortos a los utilizados en los ensayos experimentales ya que desde el quinto día la reducción del porcentaje de humedad no es significativa, de tal manera que se pudiera reducir el número de lechos de secado.
- Realizar un estudio de factibilidad para el uso de los lodos para la industria de la fabricación del cemento, ladrillos, tejas, adoquines, etc.
- Realizar un estudio para la recirculación del agua decantada en el tanque espesador hacia el vertedero de entrada en la planta y/o enviar hacia la Planta de Tratamiento de Uchupucún.
- Si no se dispone del área necesaria para la construcción de los lechos de secado, realizar el estudio correspondiente para la adquisición de un filtro prensa.
- Utilizar el lodo deshidratado en los jardines de las edificaciones pertenecientes a la empresa, así como en el mantenimiento de las áreas verdes a cargo del departamento de Parques y Jardines del Ilustre Municipio de Azogues.



BIBLIOGRAFIA

- [1] **“MEMORIA TÉCNICA, MEMORIA DE CÁLCULO, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY”**. Ing. Galo Ordoñez. Ecuador-Azogues. Septiembre. 2002.
- [2] **“MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO TOMO II”**. Robert H. Perry. México. 1998.
- [3] **“CALIDAD DEL AGUA”**. Jairo Alberto Rojas Romero Rojas. Colombia 2002.
- [4] **“CALIDAD DEL AGUA”**. Jairo Alberto Rojas Romero Rojas. Colombia 2002.
- [5] **“MEMORIA TÉCNICA, MEMORIA DE CÁLCULO, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY”**. Ing. Galo Ordoñez. Ecuador. Septiembre. 2002.
- [6] www.bdigital.unal.edu.co/1149/1/guillermoandresramirezfernandez.2003.pdf. Julio 2010.
- [7] **“CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA. MANUAL DE SUMINISTROS DE AGUA COMUNITARIA”**. American Water Works Association. Estados Unidos. 2002.
- [8] www.bdigital.unal.edu.co/1149/1/guillermoandresramirezfernandez.2003.pdf. Julio 2010.
- [9] **“PROCESO DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS”**. Chistie J .Geankoplis. México.1998.
- [10] **“PROBLEMAS DE INGENIERIA QUIMICA TOMO II”**. Joaquín Ocon García y Gabriel Tojo Barreiro. España.1978.
- [11] **“CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA. MANUAL DE SUMINISTROS DE AGUA COMUNITARIA”**. American Water Works Association. Estados Unidos. 2002.
- [12] http://oa.upm.es/1791/1/JOSE_RUBIO_BOSCH.pdf. Enero 2011.



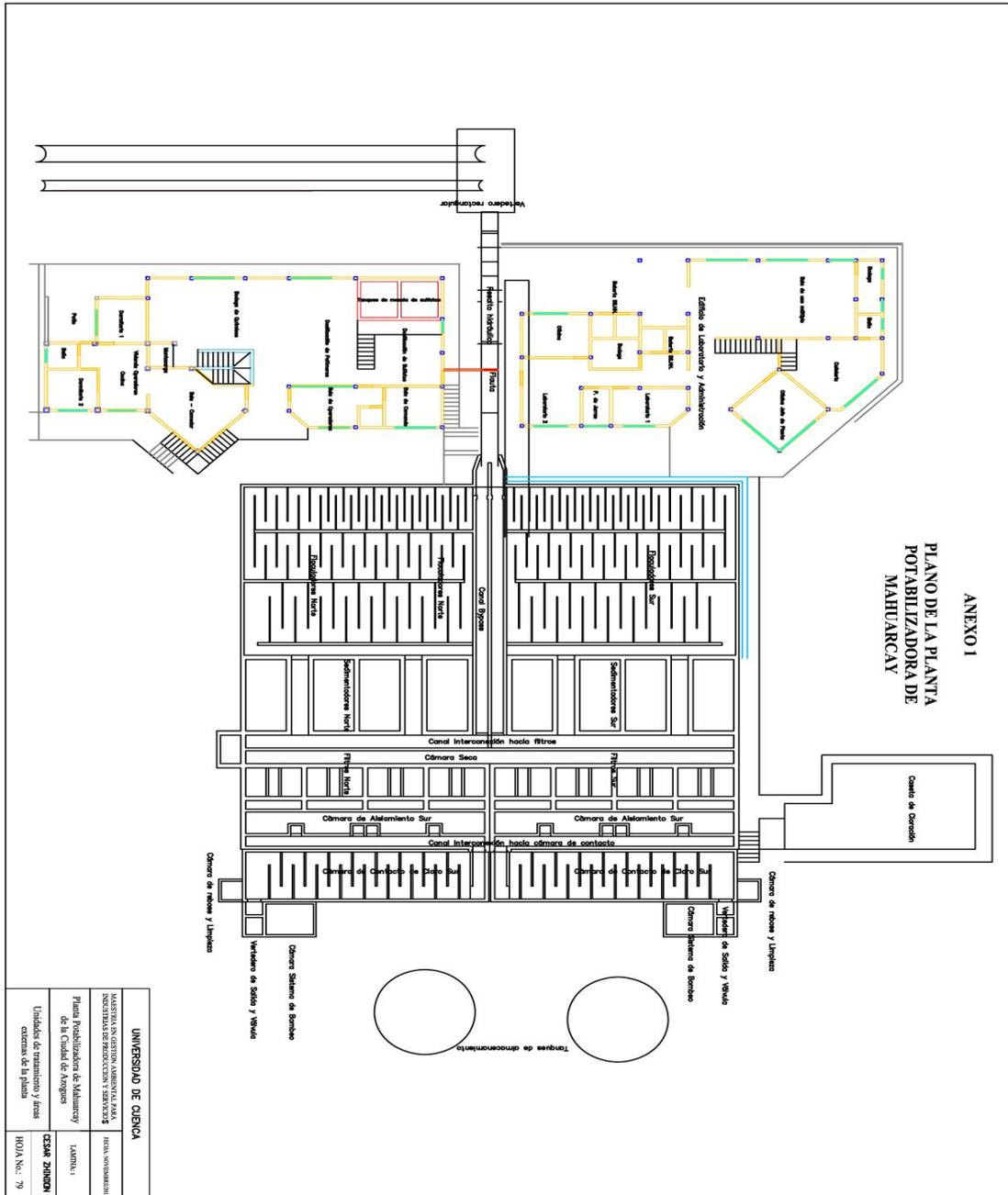
- [13] **“DISMINUCIÓN DE MASA DE LODOS PROVENIENTE DE UN REACTOR RAFA PARA MINIMIZAR LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO PRENSA Y LECHO DE SECADO”**, María Maldonado González, México. 2007.
- [14] **“DISMINUCIÓN DE MASA DE LODOS PROVENIENTE DE UN REACTOR RAFA PARA MINIMIZAR LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO PRENSA Y LECHO DE SECADO”**, María Maldonado González, México. 2007.
- [15] **“ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL INTERCEPTORES MARGINALES DEL RÍO BURGAY”**. EMAPAL. Ecuador-Azogues. 2009.
- [16] **“ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL INTERCEPTORES MARGINALES DEL RÍO BURGAY”**. EMAPAL. Ecuador-Azogues. 2009.
- [17] **“INGENIERÍA CIVIL, HIDRÁULICA Y AMBIENTAL. SISTEMA DE TRATAMIENTO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO”**. Juan Bernardo Botero Botero, Colombia. 2006.
- [18] **“NOÇÕES GERAIS DE TRATAMENTO E DISPOÇÃO FINAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA”**. Marco Antonio Penalva Real, Brasil. 1999.
- [19] **“MANUAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO”. LIBRO II. PROYECTO. 3ª SECCIÓN: POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO. GUÍA PARA EL MANEJO, ESTABILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LODOS QUÍMICOS**. Comisión Mexicana del Agua, México. 1994.



ANEXOS

ANEXO 1

PLANO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE MAHUARCAY



UNIVERSIDAD DE CUENCA	
INSTITUTO DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA INDUSTRIAS DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS	
PLANTA POTABILIZADORA DE MAHUARCAY DE LA CIUDAD DE AYOEGOS	
Unidad de desarrollo y áreas externas de la planta	CSAR ZHINDÓN HOJA No.: 79



ANEXO 2

**RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE
LA MUESTRA DEL CUERPO RECEPTOR "QUEBRADA DE
MAHUARCAY".**

 ETAPA <small>EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	 ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2010/12/30

INFORME N°: 704/10

CLIENTE

NOMBRE: EMAPAL EP
DIRECCIÓN: Av. Che Guevara s/n - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 704/01-02/10
DESCRIPCIÓN: Agua de quebrada antes y después de vertido de lodos
PROCEDENCIA: Quebrada Mahuarca
FECHA DE RECEPCIÓN: 2010/12/13
ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Quebrada Antes vertido 704/01/10	Quebrada después vertido 704/02/10
DBO5	PEE/LSGA/FQ/01	2010/12/13 2010/12/18	mg/l	0.6*	8
DQO	PEE/LSGA/FQ/02	2010/12/14	mg/l	6 *	89
FOSFORO TOTAL	PEE/LSGA/FQ/03	2010/12/14	mg/l	0.25	1.91
NKT *	SM 4500 Norg B	2010/12/17	mg/l	0.42	5.68
pH *	SM 4500 H B	2010/12/13		7.13	6.87
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/13	mg/l	10	1092
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/13	mg/l	166	1205
SULFATOS *	SM 4500 SO4 E	2010/12/14	mg/l	< 1	6.61
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/13	NTU	5.83	772
COLIFORMES TOTALES *	SM 9221 E	2010/12/13 2010/12/15	NMP/ 100 ml	1.7E+02	9.2E+04
COLIFORMES TERMOTOLERANTES *	SM 9221 E	2010/12/14 2010/12/16	NMP/ 100 ml	2.2E+01	1.3E+04
ALUMINIO *	SM 3111 E	2010/12/30	µg/l	433	104400
ARSENICO *	SM 3114 C	2011/12/03	µg/l	< 0.1	< 0.1
CROMO	PEE/LSGA/AI/01	2010/12/30	µg/l	< 50	70.3
HIERRO *	SM 3111 B	2010/12/30	µg/l	435	42980
MANGANESO *	SM 3111 B	2010/12/30	µg/l	196.2	1178
MERCURIO *	SM 3114 C	2011/01/03	µg/l	< 0.05	< 0.05
PLOMO	PEE/LSGA/AI/03	2010/12/30	µg/l	< 100	< 100
ZINC *	SM 3111 B	2010/12/30	µg/l	20.6	185.6

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

PARAMETRO	DBO5	DQO	FOSFORO TOTAL	SOLID. SUSPEND.	CROMO	CADMIO	PLOMO
INCERTIDUMBRE	15.4 % (95.45%, k=2)	14.5% (95.45%, k=2)	0.01 mg/l (95.45%, k=2)	15.7% (95.45%, k=2)	13.6 µg/l (95.45%, k=2.06)	3.8 µg/l (95.45% k=2.13)	33.6 µg/l (95.45% k=2.13)

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- Los ensayos marcados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.

MC0406-08



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 3

NORMA INEN 2 176:98

INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 176:98

AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.

Primera Edición

WATER QUALITY. SAMPLING. GUIDANCE ON SAMPLING TECHNIQUES.

First Edition

DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, equipo de muestreo, condiciones generales.
AL 01.06-203
CDU: 614.777:620.113
CIU: 42.420.4200
ICS: 13.060.01



ANEXO 3

CDU: 614.777:620.113
ICS: 13.060.01



CIU: 42.420.4200
AL 01.06-203

Norma Técnica
Ecuatoriana
Opcional

AGUA.
CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO.
TÉCNICAS DE MUESTREO.

NTE INEN
2 176:98
1998-08

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, poluidas y aguas residuales para su caracterización.

2. ALCANCE

- 2.1 Esta norma se aplica a las técnicas de muestreo generales.
- 2.2 No se aplica a los procedimientos para situaciones especiales de muestreo.

3. DEFINICIONES

3.1 Para el propósito de esta norma, se aplican las siguientes definiciones:

- 3.1.1 *Muestra compuesta.* Es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas, de la cual se puede obtener un resultado promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y el flujo.
- 3.1.2 *Muestra instantánea, puntual, individual.* Es la muestra tomada al azar (con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua).
- 3.2.3 *Muestreador.* Es el equipo usado para obtener una muestra de agua, para el análisis de varias características predefinidas.
- 3.2.4 *Muestreo.* Es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas.

4. TIPOS DE MUESTRA

- 4.1 Los datos analíticos obtenidos mediante la determinación de parámetros como: las concentraciones de material inorgánico, minerales o químicos disueltos, gases disueltos, materia orgánica disuelta y materia en suspensión en el agua o en el sedimento en un tiempo y lugar específicos o a intervalos de tiempo y en un lugar en particular son necesarios para indicar la calidad del agua.
 - 4.1.1 Ciertos parámetros, como las concentraciones de gases disueltos deben medirse "in situ", para obtener resultados exactos. Se debe tener en cuenta que los procesos para conservar la muestra se realizará en los casos específicos (ver NTE INEN 2 169).
 - 4.1.2 Se recomienda separar las muestras que van a ser usadas en los análisis químicos, microbiológicos y biológicos, debido a que el proceso y el equipo para la recolección y manejo de las muestras es diferente.
 - 4.1.3 Las técnicas de muestreo varían de acuerdo a situaciones específicas. Los diferentes tipos de muestreo son descritos en el capítulo 5.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, equipo de muestreo, condiciones generales.



ANEXO 3

NTE INEN 2 176

1998-08

4.1.4 Es necesario diferenciar el muestreo para agua estancada y el muestreo para agua corriente.

4.1.5 El muestreo puntual (4.2) y el muestreo compuesto (4.6) se aplican a aguas estancadas y corrientes, mientras que el muestreo en serie (4.5) es más adecuado para aguas estancadas.

4.2 Muestras puntuales

4.2.1 Las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo.

4.2.2 Cada muestra, normalmente, representará la calidad del agua solamente en el tiempo y en el lugar en que fue tomada. El muestreo automático equivale a una serie de muestras tomadas en un tiempo preestablecido o en base a los intervalos de flujo.

4.2.3 Se recomienda tomar muestras puntuales si: el flujo del agua a muestrear no es uniforme, si los valores de los parámetros de interés no son constantes o si el uso de la muestra compuesta presenta diferencias con la muestra individual debido a la reacción entre las muestras.

4.2.4 La muestra puntual es adecuada para la investigación de una posible polución y en estudios para determinar su extensión o en el caso de recolección automática de muestra individual para determinar el momento del día cuando los polulantes están presentes. También se puede tomar muestras puntuales para establecer un programa de muestreo más extensivo. Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad.

4.2.5 La toma de muestras puntuales se recomienda para la determinación de parámetros inestables como: la concentración de gases disueltos, cloro residual y sulfitos solubles.

4.3 Muestras periódicas

4.3.1 *Muestras periódicas tomadas a intervalos de tiempo fijos (dependientes del tiempo)*, estas muestras se toman usando un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua durante un intervalo de tiempo específico. Un procedimiento común es bombear la muestra dentro de uno o más recipientes durante un período fijo, el volumen está determinado para cada recipiente (Ver nota 1).

4.3.2 *Muestras periódicas tomadas a intervalos fijos de flujo (dependientes del volumen)*, estas muestras son tomadas cuando el criterio de la calidad del agua y el volumen del efluente no están relacionados. Para cada unidad de volumen de flujo, se toma una muestra controlada independientemente del tiempo.

4.3.3 *Muestras periódicas tomadas a intervalos fijos de flujo (dependientes del flujo)*, estas muestras se toman cuando las variaciones en el criterio de calidad del agua y la variación del flujo del efluente no están relacionados. Se toman volúmenes diferentes de muestra a intervalos constantes de tiempo. El volumen depende del flujo.

4.4 Muestras continuas

4.4.1 *Muestras continuas tomadas a flujos fijos*, las muestras tomadas por esta técnica contienen todos los constituyentes presentes durante un período de muestreo, pero en muchos casos no proporciona información de la variación de la concentración de parámetros específicos durante el período de muestreo.

NOTA 1 - El parámetro de estudio puede verse afectado durante el intervalo de tiempo.

(Continúa)



ANEXO 3

NTE INEN 2 176

1998-08

4.4.2 *Muestras continuas tomadas a flujos variables*, las muestras de flujo proporcional son representativas de la calidad del cuerpo de agua. Si el flujo y la composición varían, las muestras de flujo proporcional pueden variar, las muestras de flujo proporcional pueden revelar variaciones las cuales no pueden ser observadas con el uso de muestras puntuales, siempre que las muestras se mantengan individuales y que el número de muestras sea suficiente para diferenciar los cambios de composición. Por lo tanto, este es el método más preciso para el muestreo de agua corriente, aún cuando el rango de flujo y la concentración de poluentes varíen significativamente.

4.5 Muestras en serie

4.5.1 *Muestras para establecer perfiles en profundidad*, es una serie de muestras de agua tomadas a varias profundidades en el cuerpo de agua y en un punto específico.

4.5.2 *Muestras para establecer perfiles de áreas*, es una serie de muestras de agua tomadas a una profundidad específica del cuerpo de agua en varios puntos.

4.6 Muestras compuestas

4.6.1 Las muestras compuestas se pueden obtener de forma manual o automática, sin importar el tipo de muestreo. (Dependiente del flujo, tiempo, volumen o localización). Se toman continuamente muestras que se reúnen para obtener muestras compuestas.

4.6.2 Las muestras compuestas suministran el dato de composición promedio. Por lo tanto, antes de mezclar las muestras se debe verificar que ese es el dato requerido o que los parámetros de interés no varían significativamente durante el período de muestreo.

4.6.3 Las muestras compuestas son recomendables cuando la conformidad con un límite está basado en la calidad promedio del agua.

4.7 Muestras de grandes volúmenes

4.7.1 Algunos métodos de análisis para ciertas determinaciones requieren del muestreo de grandes volúmenes, desde 50 litros a varios metros cúbicos. Estas muestras son necesarias cuando se analizan pesticidas o microorganismos que no pueden ser cultivados. La muestra se recolecta de la manera convencional, tomando precauciones para asegurar la limpieza total del recipiente o del contenedor de la muestra, o pasando un volumen medido a través de un cartucho absorbente o filtro dependiendo de la determinación. Un cartucho intercambiador de iones o de carbón activado se usa en muestras que se someten al análisis de pesticidas; mientras que un filtro con cartucho de polipropileno de 1 μm de diámetro de poro se recomienda cuando se analiza criptosporidium.

5. TIPOS DE MUESTREO

5.1 Hay varias situaciones de muestreo, algunas de las cuales pueden ser satisfechas tomando una simple muestra puntual, en cambio otras pueden requerir de un equipo de muestreo sofisticado.

(Continúa)



ANEXO 3

NTE INEN 2 176

1998-08

6. EQUIPO DE MUESTREO

6.1 Características del muestreador y del equipo de muestreo

6.1.1 Se debe consultar la NTE INEN 2 169 Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras para el muestreo en situaciones específicas; los lineamientos dados aquí ayudan en la selección de materiales de aplicación general. Los constituyentes químicos (determinantes) en el agua, que son analizados para evaluar la calidad del agua, en un rango de concentración desde nanogramos o trazas hasta grandes cantidades. Los problemas que con mayor frecuencia se presentan son la adsorción en las paredes del muestreador o en los recipientes, la contaminación anterior al muestreo causada por un inadecuado lavado del muestreador o de los recipientes y la contaminación de la muestra por el material del que está hecho el muestreador o el recipiente.

6.1.1.1 El recipiente tiene que proteger la composición de la muestra de pérdidas debidas a adsorción y volatilización, o de la contaminación por sustancias extrañas. El recipiente usado para recoger y guardar la muestra se debe elegir luego de considerar, por ejemplo: su resistencia a temperaturas extremas, resistencia a la rotura, facilidad para cerrar y reabrir, tamaño, forma, peso, disponibilidad, costo, facilidad para el lavado y la reutilización.

6.1.1.2 Se deben tomar precauciones cuando las muestras se conservan por congelación, especialmente si se usan recipientes de vidrio. Se recomienda el uso de recipientes de polietileno de alta densidad para la determinación en el agua de: silicio, sodio, alcalinidad total, cloruro, conductancia específica, pH y dureza. Para los elementos sensibles a la luz, se debe usar vidrio absorbente de luz. El acero inoxidable se debe usar para muestras con temperaturas y/o presión altas, o cuando se muestree para concentraciones de trazas de material orgánico.

6.1.2.3 Los recipientes de vidrio son recomendados para la determinación de compuestos químicos orgánicos y de especies biológicas, y los recipientes plásticos para la determinación de radionucléidos. Es importante anotar que el equipo de muestreo disponible tiene muchas veces relleno de neopreno y válvulas lubricadas con aceite. Este material no es adecuado para recolectar muestras que sean usadas para el análisis orgánico y microbiológico.

6.1.2.4 Aparte de estas características físicas deseables, descritas anteriormente, los recipientes usados para recolectar y guardar las muestras, se deben seleccionar tomando en cuenta los siguientes criterios predominantes (especialmente cuando los constituyentes a ser analizados están presentes como trazas):

- a) Reducir la contaminación en la muestra de agua causada por el material del que está hecho el recipiente y la tapa, por ejemplo: la migración de los constituyentes inorgánicos del vidrio (especialmente del vidrio suave), de los compuestos orgánicos de los materiales plásticos y de los elastómeros (de las tapas de vinilo plastilizado, y de las envolturas de neopreno).
- b) Facilidad para limpiar y tratar las paredes de los recipientes, a fin de reducir la superficie de contaminación por trazas de metales pesados o radionucléidos.
- c) El material del cual están hechos los recipientes debe ser inerte química y biológicamente, para prevenir o reducir la reacción entre los constituyentes de la muestra y el recipiente.
- d) Los recipientes pueden ser causa de errores debido a la adsorción de los constituyentes. Las trazas de metales son particularmente propensas a este efecto; pero otros constituyentes (detergentes, pesticidas, fosfatos) también pueden estar sujetos a error (Ver nota 2).

NOTA 2 Se recomienda que las sugerencias sobre el material de los recipientes sean conocidas por el analista antes de seleccionar los recipientes y el equipo de muestreo.

(Continúa)



ANEXO 3

NTE INEN 2 176

1998-08

6.1.2 Líneas de muestreo

6.1.2.1 Las líneas de muestreo son generalmente usadas en muestreos automáticos para proporcionar muestras a los analizadores continuos o monitores. Durante el tiempo de permanencia, la muestra puede considerarse como almacenada en un recipiente acoplado a la línea de muestreo. Por eso, las guías para la selección del material de los recipientes se aplican también a las líneas de muestreo.

6.2 Tipos de recipiente para muestras

6.2.1 Recipientes normales

6.2.1.1 Son adecuadas las botellas de polietileno y las de vidrio borosilicatado para la toma de muestras en las que se realizará el análisis de los parámetros físicos y químicos de las aguas naturales. Otros materiales químicamente más inertes, por ejemplo: politetrafluoroetileno (PTFE), son preferidos pero su uso no está muy extendido en los análisis de rutina. La tapa de tornillo, en las botellas de boca angosta y ancha se debe acoplar con tapas y tapones de plástico inerte o tapones de vidrio esmerilado (propenso a trabarse con las soluciones alcalinas). Si las muestras son transportadas en caja al laboratorio para los análisis, la tapa de la caja debe ser construida para prevenir el aflojamiento de los tapones, lo que puede producir derramamientos y/o contaminación de la muestra.

6.2.2 Recipientes especiales

6.2.2.1 A las consideraciones ya mencionadas se suma el almacenamiento de muestras que contienen materiales fotosensitivos, incluidas las algas, que requieren ser protegidas de la exposición a la luz. En estos casos, se recomiendan los recipientes de materiales opacos o de vidrio no actínico, y deben ser colocados en cajas a prueba de luz durante el almacenamiento por largos períodos. La recolección y el análisis de las muestras que contengan gases disueltos o constituyentes que puedan alterarse por aireación plantea un problema específico. Las botellas de boca angosta para análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) deben tener tapones de vidrio esmerilado para minimizar la inclusión de aire, y se requiere de un sellante especial durante el transporte.

6.2.3 Recipientes para el análisis de contaminantes orgánicos, en trazas

6.2.3.1 Las botellas para muestras en las que se analizarán contaminantes orgánicos en trazas, deben ser de vidrio, debido a que los recipientes plásticos interfieren con la alta sensibilidad del análisis. La tapa debe ser de vidrio o de politetrafluoroetileno (PTFE).

6.2.4 Recipientes para el análisis microbiológico

6.2.4.1 Los recipientes para las muestras en las que se realizará el análisis microbiológico deben resistir las altas temperaturas de esterilización. Durante la esterilización o en el almacenamiento de muestras los materiales no deben producir o liberar químicos que puedan inhibir la viabilidad microbiológica, liberar químicos tóxicos o químicos que aceleren el crecimiento. Las muestras deben permanecer selladas hasta que sean abiertas en el laboratorio y deben estar tapadas para prevenir la contaminación.

6.2.4.2 Los recipientes deben ser de vidrio o de plástico de la mejor calidad y estar libres de sustancias tóxicas. Para análisis de rutina es suficiente que tengan una capacidad de 300 cm³. Los recipientes se deben tapar con tapas de vidrio esmerilado o tapas de tornillo, y si es necesario con bandas elásticas de silicona, que resistan esterilizaciones repetidas a 160°C.

(Continúa)



ANEXO 5

RESULTADOS DE TURBIEDAD, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y SÓLIDOS TOTALES PRESENTES EN EL AGUA CRUDA DE LA PTM

 ETAPA <small>AGENCIA NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	 ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	--	---

FECHA: 2010/12/10

INFORME N°: 675/10

CLIENTE
 NOMBRE: ING. CESAR ZHINDON
 DIRECCIÓN: Av. 24 de Mayo - Azogues

MUESTRA
 CODIGO: 675/01-03/10
 DESCRIPCIÓN: Agua cruda
 PROCEDENCIA: Planta de tratamiento - Azogues
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2010/12/02
 ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M1 675/01/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/01	mg/l	115
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/03	mg/l	253
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/02	NTU	221

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M2 675/02/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/01	mg/l	89
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/03	mg/l	222
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/02	NTU	166

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M3 675/03/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/01	mg/l	50
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/03	mg/l	159
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/02	NTU	94.0

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

PARAMETRO	SOLID. SUSPEND.
INCERTIDUMBRE	15.8% (95.45% k=2)

Atentamente,



Mg. Yolanda Torres Moscoso
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- Los ensayos marcados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.

MC0406-08



ANEXO 5

 ETAPA <small>EMPRESA NACIONAL DE TALENTO HUMANO</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	 ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
--	--	---

FECHA: 2010/12/13

INFORME N°: 679/10

CLIENTE

NOMBRE: Ing. César Zhindón
 DIRECCIÓN: Av. 24 de Mayo - Azogues

MUESTRA

CODIGO: 679/01-03/10
 DESCRIPCIÓN: PTAR Agua cruda
 PROCEDENCIA: Azogues
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2010/12/06
 ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M4 679/01/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/07	mg/l	33
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/06	mg/l	149
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/06	NTU	23.0

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M5 679/02/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS *	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/07	mg/l	4
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/06	mg/l	131
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/06	NTU	123

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M6 679/03/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS *	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/07	mg/l	0
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/06	mg/l	131
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/06	NTU	4.09

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

PARAMETRO	SOLID. SUSPEND.
INCERTIDUMBRE	15.8% (95.45%, k=2)

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- Los ensayos marcados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.

MC0406-08



ANEXO 5

 ETAPA <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y SERVICIOS DE ASESORIA Y CONSULTORÍA</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	 ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2010/12/28

INFORME N°: 725/10

CLIENTE
 NOMBRE: Ing. César Zhindón
 DIRECCIÓN: Av. 24 de Mayo - Cuenca

MUESTRA
 CODIGO: 725/01/10
 DESCRIPCIÓN: Agua cruda Planta de Mahuarcay
 PROCEDENCIA: Mahuarcay
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2010/12/21
 ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	AGUA CRUDA 725/01/10
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2010/12/20	mg/l	45
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2010/12/22	mg/l	187
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2010/12/21	NTU	54.8

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

PARAMETRO	SOLID. SUSPEND.
INCERTIDUMBRE	15.7% (95.45%, k=2)

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

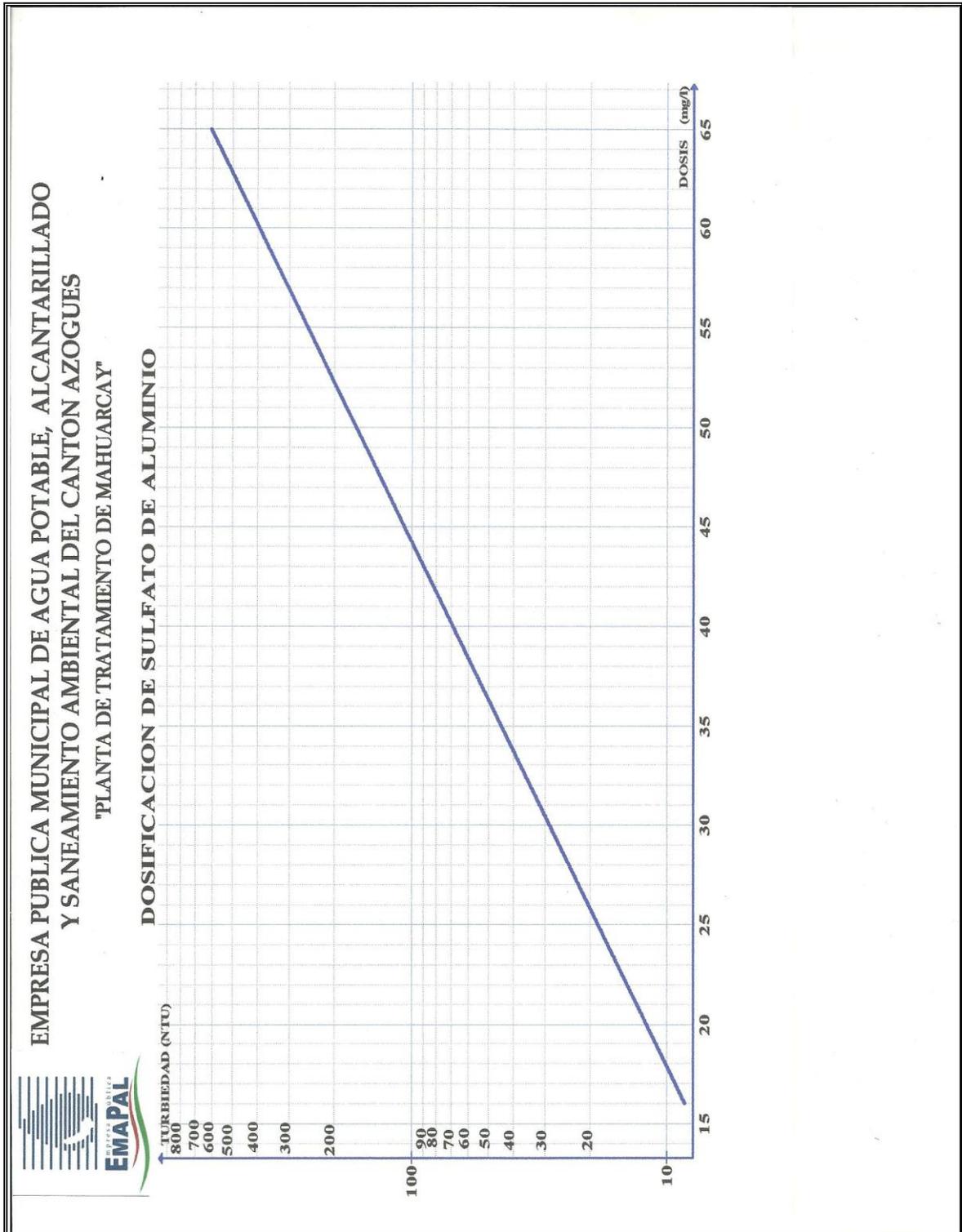
- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- Los ensayos marcados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.

MC0406-08



ANEXO 6

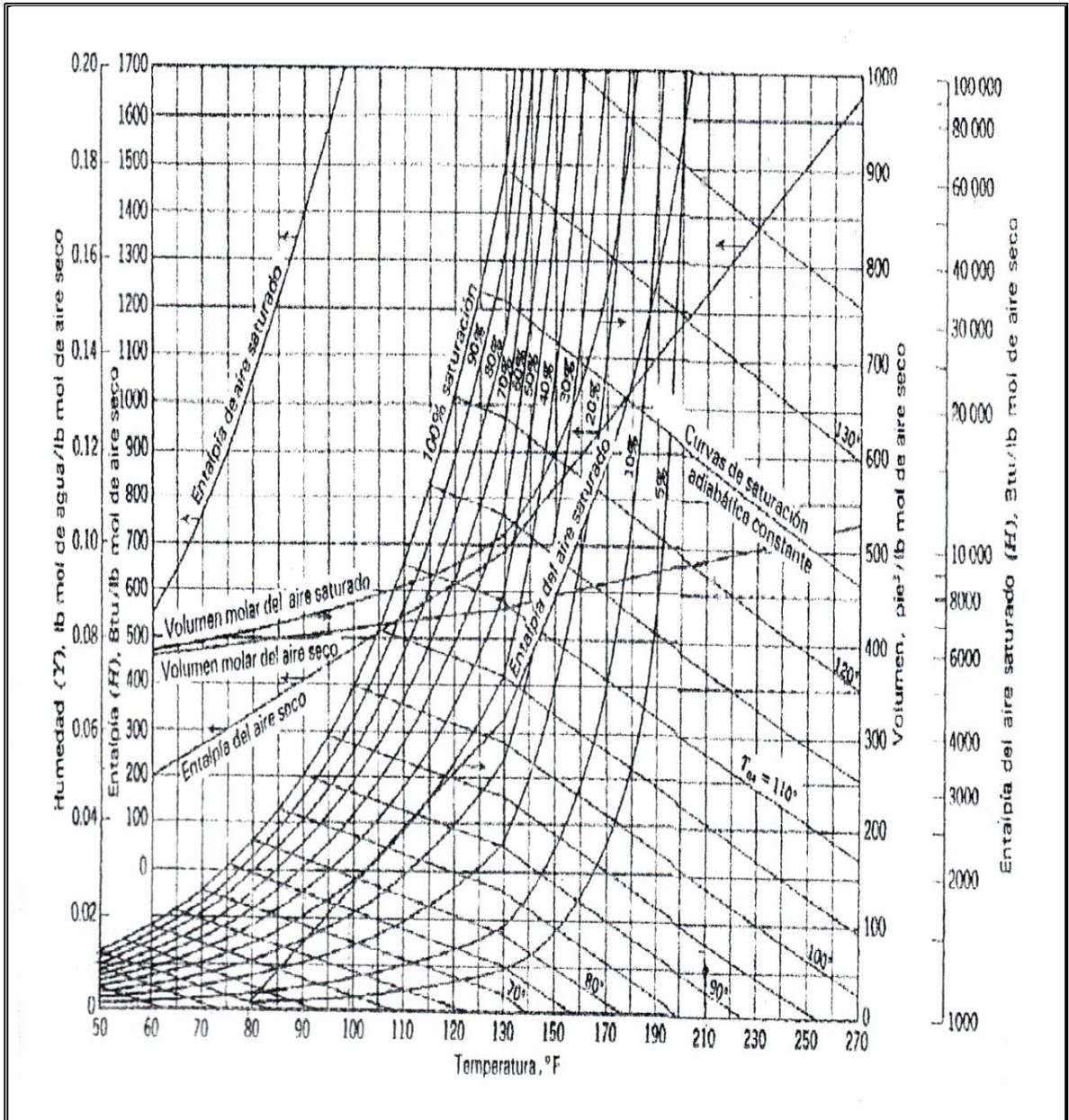
GRÁFICO DE LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO





ANEXO 7

CARTA PSICROMÉTRICA





UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 8

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL LODO DE SEDIMENTACIÓN



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL AUSTRO

Chuquipata, Marzo 1 del 2011

DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN UNA MUESTRA DE LODO
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.

SOLICITA: ING. CESAR ZHINDON

RESULTADO. 1.020 grs / cc.

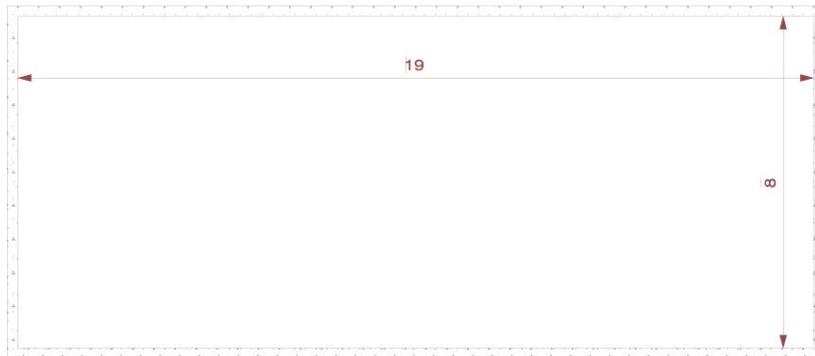
Atentamente,

Ing. Quím. Alfonso Cadme P.

Km. 19 vía Cuenca – Azogues, parroquia Xavier Loyola, sector Chuquipata, provincia del Cañar
Telefax: (593 7) 2214 137
Chuquipata – Cañar – Ecuador



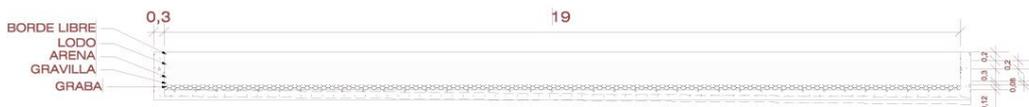
ANEXO 9
PLANO DEL LECHO DE SECADO



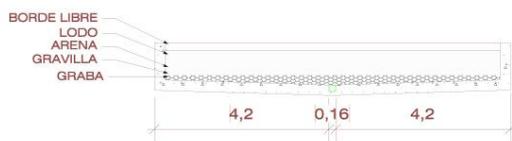
PLANTA



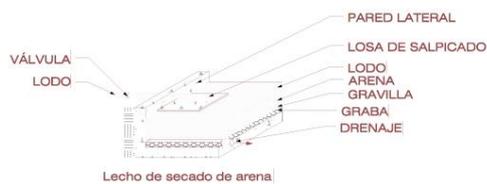
PLANTA



CORTE A - A



CORTE B - B



UNIVERSIDAD DE CUENCA	
MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL PARA INDUSTRIAS DE PRODUCCION Y SERVICIOS	FECHA: NOVIEMBRE 2011
Planta Potabilizadora de Mahuaray de la Ciudad de Azogues	LAMINA: 2
Lecho de secado de arena.	CESAR ZHINDON HOJA No.: 94



ANEXO 10

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES A UN CUERPO DE AGUA O RECEPTOR: AGUA (TULAS): LIBRO VI ANEXO 1, ARTÍCULO 4.2.3. NORMAS DE DESCARGA DE EFLUENTES A UN CUERPO DE AGUA O RECEPTOR: AGUA DULCE; ESPECÍFICAMENTE EL ARTÍCULO 4.2.3.7.



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

- a) Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de cincuenta (50) metros, y la aplicación aérea de los mismos, dentro de una franja de cien (100) metros, medidas en ambos casos desde las orillas de todo cuerpo de agua,
- b) La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente, requerirá el informe y autorización previa del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- c) Además de las disposiciones contenidas en la presente Norma, se deberá cumplir las demás de carácter legal y reglamentario sobre el tema, así como los listados referenciales de la Organización para la Agricultura y Alimentos de Naciones Unidas (FAO).

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
	ECC		
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes	Nmp/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Fecales			

⁸ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.



ANEXO 10



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

ANEXO 10



TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.



ANEXO 11

RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LA MUESTRA DE AGUA DECANTADA PROVENIENTE DEL LODO DE SEDIMENTACIÓN

 ETAPA <small>INSTITUTO ECUATORIANO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
---	------------------------------	---------------

FECHA: 2011/02/21

INFORME N°: 066/11

CLIENTE

NOMBRE: ING. CESAR ZHINDON
DIRECCIÓN: Av. 24 de Mayo - Azogues

MUESTRA

CODIGO: 066/01/11
DESCRIPCIÓN: Lodo sedimentadores – Agua decantada
PROCEDECIA: Mahuarca
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/02/07
ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	LODO SEDIMENTADORES 066/01/11
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	2011/02/07	mg/l	19.62
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 E	2011/02/07 2011/02/09	NMP/ 100 ml	240
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	SM 9221 E	2011/02/08 2011/02/10	NMP/ 100 ml	240

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



ANEXO 11

 ETAPA <small>EMPRESA NACIONAL DE TILICACIÓN Y COMUNICACIONES</small> <small>AGUA POTABLE, AL CABLE, RADIO Y TELECOMUNICACIONES</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 2011/03/22

INFORME N°: 123/11

CLIENTE

NOMBRE: Ing. César Zhindón
DIRECCIÓN: Av. 24 de mayo - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 123/01/11
DESCRIPCIÓN: Agua decantada de Lodos sedimentadores
PROCEDENCIA: Mahuarcay
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/03/17
ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Agua decantada 123/01/11
ALUMINIO	SM 3111 E	2011/03/21	µg/l	482.1

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



ANEXO 11

 ETAPA <small>ANEXO TECNICO DE LAS NORMAS NTC 5000 Y NTC 5001</small> LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 2011/04/06

INFORME N°: 154/11

CLIENTE

NOMBRE: ING. CÉSAR ZHINDÓN
DIRECCIÓN: Av. 24 de mayo - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 154/01/11
DESCRIPCIÓN: Agua decantada
PROCEDENCIA: Mahuarca
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/03/29
ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	AGUA DECANTADA 154/01/11
DQO	PEE/LS/FQ/02	2011/03/30	mg/l	6

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

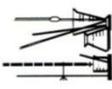


ANEXO 11



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS



Decantación de los lodos de la planta de tratamiento de agua

Nº Muestra Laboratorio:	7	MUESTRA No.		Decantación de los lodos de la planta de tratamiento de agua
Propietario:	ING. CESAR ZHINDON	Provincia	CAÑAR	Sector
Fecha entrega de resultados:	23/02/2011	Cantón	AZOGUES	Mahuaray (EMAPAL - EP)

USOS:	PRUEBAS	
Muy Acido (< 5)	Ligeram. Acido (> 6 - 6,5)	Ligeram. Alcalino (> 7,5 - 8)
Acido (5 - 5,5)	Practic. Neutro (> 6,5 - 7,5)	Alcalino (> 8,5)
Median. Acido (> 5,5 - 6)	X	

RANGOS	RANGO DE pH DESEABLE PARA AGUA DE RIEGO	RESULTADO
6,45		0,13

PARAMETROS	RESULTADO	RANGO DESEABLE PARA AGUA DE RIEGO
Sodio (mg / litro)	10,00	desde 0 a 5 mg / litro
Potasio (mg / litro)	---	desde 0,5 a 10 mg / litro
Calcio (mg / litro)	24,00	desde 40 a 120 mg / litro
Magnesio (mg / litro)	7,00	desde 6 a 25 mg / litro
Carbonatos (mg / litro)	negativo	mg / litro
Bicarbonatos (mg / litro)	40,00	mg / litro
Sulfatos (mg / litro)	14,00	mg / litro
Cloruros (mg / litro)	4,25	desde 0 a 380 mg / litro
Turbidez (U.T.F.)	54,00	desde 0 a 350 mg / litro
SDT (mg / litro)	115,00	mg / litro
Zn (mg / litro)	0,03	mg / litro
Cu (mg / litro)	0,10	mg / litro
Fe (mg / litro)	0,19	mg / litro
Mn (mg / litro)	3,10	mg / litro
C.E. (mmhos/cm)	0,22	mmhos / cm

RAS (razón de absorción de sodio)	buena	regular	mala	muy mala
$RAS = \frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$	>1 a 2	>2 a 4	>4 a 8	> 8
CALCULO (RAS)		X		
			2,54	

OBSERVACIONES



LABORATORISTA



ANEXO 12

RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS PARA USO AGRICOLA



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL AUSTRO

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

No Muestra Laboratorio: 339

Propietario: Ing. Cesar Zhindón

Fecha entrega de resultados: 28/02/2011

RESULTADOS

p.H.	6,94	
Clase Textural arena, % arcilla, % limo	88/03/09	ARENA
Materia Orgánica %	12,69	ALTO

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA		MUESTRA No. 1.	
Ubicación:	Provincia: Cañar	Cantón: Azogues	Parroquia: Mahuaray
			Sector: EMAPAL - EP

Cultivo/Usos: Abono - Planta de tratamiento			
Ligeram. Ácido (> 6 - 6,5)	Práctic. Neutro (> 6,5 - 7,5)	Ligeram. Alcalino (> 7,5 - 8)	Medianam. Alcalino (> 8 - 8,5)
	X		

RANGOS PARA INTERPRETACION				
	BAJO	MEDIO	ALTO	TOXICO
Nitrógeno (ppm)	A < 30	30 a 60	> 60	
Fósforo (ppm)	B < 10	10 a 20	> 20	
Potasio (meq/100ml)	M < 0,2	0,2 a 0,38	> 0,38	
Calcio (meq/100ml)	A < 2	2 a 5	> 5	
Magnesio (meq/100ml)	M < 0,5	0,5 a 1,5	> 1,5	
Hierro (ppm)	A < 20	20 a 40	> 40	
Cobre (ppm)	A < 1	1 a 4	> 4	
Zinc (ppm)	B < 3	3 a 7	> 7	
Manganeso (ppm)	A < 5	5 a 15	> 15	

SÍGLAS: Bajo (B) ; Medio (M) ; Alto (A) ; Tóxico (T)		
No Salino (< 2)	Ligeram. Salino (2 a 4)	Muy Salino (> 8)

PARAMETROS COMPLEMENTARIOS PARA USO EN RIEGO (En función de la TEXTURA)

Capacidad de Campo (cm ³ /cm ³)	0,12
Conductividad Hidráulica a la Saturación (cm ³ /h.)	10,67
Saturación (cm ³ /cm ³)	0,33
Saturación de Bases	---
Densidad Aparente (gr./cm ³)	1,72
Punto Marchitez (cm ³ /cm ³)	0,05
Agua Disponible (cm ³ /cm ³)	0,08
% de Humedad	82,90

LABORATORISTA



ANEXO 12

 ETAPA <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TELECOMUNICACIONES CON UN FOCO EN LA COMUNICACION</small>	LSGA	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 2890418 - 2890463			

FECHA: 2011/02/21

INFORME Nº: 067/11

CLIENTE

NOMBRE: ING. CESAR ZHINDON
DIRECCIÓN: Av. 24 de Mayo - Azogues

MUESTRA

CODIGO: 067/01/11
DESCRIPCIÓN: Lodo
PROCEDENCIA: Planta Mahuarcay
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/02/07
ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	LODO 067/01/11
ALUMINIO	SM 3111 E	2011/02/21	µg/l	38130

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



ANEXO 13

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO DE LOS LODOS DESHIDRATADOS

INIAP

LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"

FECHA DE MUESTREO :17-04-2011
FECHA INGRESO AL LABORATORIO:18-04-2011
Fecha de entrega: 28/04/11

NOMBRE DEL PROPIETARIO: CESAR ZHINDON
NOMBRE DEL REMITENTE: CESAR ZHINDON
NOMBRE DE LA GRANJA: AZOGUEZ CAÑAR
LOCALIZACION: PARROQUIA CANTON PROVINCIA

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

No. de Laboratorio	IDENTIFICACION	Mili equivalentes / 100 g. de suelo				Suma de Bases Meq/100g suelo	% Saturación Bases SATURADO	CIC Meq/100g suelo
		K	Ca	Mg	Na			
84415		0.60	15.4	1.99	0.50	18.5	17.6	

[Signature]
JEFE DE LABORATORIO

[Signature]
LABORATORISTA



ANEXO 14

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CALCIO, MAGNESIO, POTASIO Y SODIO EN FUNCIÓN DE LA CIC

INIAP
 INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

ELEMENTO	FECHA DE LA MUESTRA	17/04/2011
K ⁺	0,80	meq/100ml.
Ca ⁺⁺	15,40	meq/100ml.
Mg ⁺⁺	1,99	meq/100ml.
Na ⁺	0,50	meq/100ml.

INTERPRETACION	CIC
Suelo poco adecuado	< 4,4
Suelo pobre	4,4 a 7,04
Suelo Adecuado	7,04 a 12,32
Exceso de calcio	> 12,32
Suelo inadecuado	< 1,76
Suelo Adecuado	1,76 a 3,52
Exceso de Magnesio	> 3,52

CALCIO + MAGNESIO	14,08
ADECUADO +/- 80% CIC	
SODIO	0,88
0,5 - 3% CIC ADECUADO	0,62
POTASIO	0,88
+/- 5% CIC	
2 - 12% CIC	2,112
INTERVALO UTIL	

VALORACION
Muy débil
Débil
Normal
Elevada
Muy Elevada

Los valores por debajo de 6 meq/100g indican un suelo poco fértil. Los valores por encima de 30 meq/100g indican un suelo excesivamente arcilloso o con un gran contenido de humus. En este caso se requiere un nivel muy alto de elementos nutritivos para conseguir una correcta nutrición de los cultivos.



ANEXO 15

**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSIÓN QUÍMICA DE LODOS
DESHIDRATADOS PARA USO EN LA INDUSTRIA CEMENTERA**

DEPARTAMENTO DE CALIDAD



RESULTADO DE ANALISIS

MUESTRAS: ARCILLAS

SOLICITA: INGENIERO. CESAR ZHINDON A

Sample	Date	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)
ing zhindo2	21/03/2011 14:47	33,48	24,75	8,83	1,9	0,85	0,36	1,2	1,1
ing zhindon	21/03/2011 14:51	22,08	22,91	8,34	3,94	0,77	0,26	1,09	1

ING. PATRICIO RUIZ V
JEFE DE CALIDAD



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 16

DETERMINACIÓN DE LA PLASTICIDAD PARA USO EN LA INDUSTRIA CERÁMICA



CESEMIN
Centro de Servicios y Análisis de Minerales
Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA



REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: ING CESAR ZHINDON
EMAPAL E-P
MUESTRA: LODO DE PROCESO DE SEDIMENTACION
LECHO DE SECADO PILOTO
FECHA: 2011-06-10

DETERMINACIÓN DE LA PLASTICIDAD

1. Método: NORMA: ASTM D 4318-95 (Casa Grande)
2. El ensayo de plasticidad no se puede aplicar a la muestra, debido a que aparentemente no posee o tiene muy poca plasticidad la misma que no permite efectuar la medición de acuerdo al procedimiento establecido en la NORMA: ASTM D 4318-95.

Responsable análisis

Directora

cc. archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 4089561
Cuenca - Ecuador

Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



ANEXO 17

RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LA MUESTRA DEL LIXIVIADO DEL LECHO PITOTO

 ETAPA <small>EMPRESA NACIONAL DE ELABORACIONES</small> <small>INDUSTRIALES Y SERVICIOS AMBIENTALES</small> LSGA LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	 OCIE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
--	--	---

FECHA: 2011/02/08

INFORME N°: 038/11

CLIENTE
 NOMBRE: EMAPAL
 DIRECCIÓN: Av. Ernesto Che Guevara - Azogues

MUESTRA
 CODIGO: 038/01/11
 DESCRIPCIÓN: Vertido de lecho de secado piloto
 PROCEDENCIA: Mahuarcay
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/01/24
 ENTREGADAS POR: Ing. César Zhindón

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	VERTIDO 038/01/11
FÓSFORO TOTAL	PEE/LSGA/FQ/03	2011/01/27	mg/l	0.05
NKT *	SM 4500 Norg B	2011/01/27	mg/l	2.95
pH *	SM 4500 H B	2011/01/24		7.52
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LSGA/FQ/04	2011/01/24	mg/l	9
SÓLIDOS TOTALES *	SM 2540 B	2011/01/24	mg/l	357
SULFATOS *	SM 4500 SO4 E	2011/01/27	mg/l	98.1
TURBIEDAD *	SM 2130 B	2011/01/24	NTU	4.46
COLIFORMES TOTALES *	SM 9221 E	2011/01/24 2011/01/26	NMP/ 100 ml	1.3+E03
COLIFORMES TERMOTOLERANTES *	SM 9221 E	2011/01/25 2011/01/27	NMP/ 100 ml	2E+02
ALUMINIO *	SM 3111 E	2011/02/07	µg/l	483.6
CROMO	PEE/LSGA/AI/01	2011/02/07	µg/l	< 50
HIERRO *	SM 3111 B	2011/02/07	µg/l	26
MANGANESO *	SM 3111 B	2011/02/07	µg/l	6.4
PLOMO	PEE/LSGA/AI/03	2011/02/01	µg/l	< 100

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

PARAMETRO	FOSFORO TOTAL	SOLID SUSPEND	CROMO	PLOMO
INCERTIDUMBRE	0.01 mg/l (95.45%, k=2)	15.7% (95.45%, k=2)	13.6 ug/l (95.45%, k=2.06)	33.6 ug/l (95.45%, k=2.13)

Atentamente,


 Ing. Yolanda Torres Moscoso
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- Los ensayos marcados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.

MC0406-08