



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS
GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
SECTOR CASIGANA DE LA EP-EMAPA-A”**

Trabajo de titulación para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CERÓN BURGOS ANDRÉS DAVID

TUTOR: ING. MARIO VILLACRÉS

RIOBAMBA-ECUADOR

2016

©2016, Andrés David Cerón Burgos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Andrés David Cerón Burgos soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

ANDRÉS DAVID CERÓN BURGOS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

Los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA SECTOR CASIGANA DE LA EP-EMAPA-A”, de responsabilidad del señor Andrés David Cerón Burgos, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

| | Firma | Fecha |
|--|--------------|--------------|
| Ing. Mario Villacrés DIRECTOR DE TESIS | _____ | _____ |
| Ing. Mónica Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |
| Ing. Fernanda Rivera MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |
| DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH | _____ | _____ |

DEDICATORIA

Este trabajo dedico a mis padres porque han sido los pilares fundamentales de mi vida, por su cariño y paciencia, por sus consejos, porque siempre predicaron sus buenas acciones con ejemplos y porque a pesar de todo siempre estuvieron a mi lado animándome y siendo la luz en la oscuridad.

A mi hermano Fabián Alejandro por ser mi ejemplo, compañero de aventuras y guía en mi camino.

A mi hermana Andrea Cristina por ser mi compañera de conciertos y por siempre escucharme.

A mis amigos por siempre apoyarme, confiar en mí y demostrarme que las buenas almas existen.

Andrés

AGRADECIMIENTO

Decir gracias a veces no es suficiente pero al menos expresa una pequeña parte de la gratitud que se siente hacia aquellas personas que fueron muy importantes e indispensables en este largo caminar.

Primero tengo que agradecer infinitamente a Dios y a mi Santísima Virgen Dolorosa que han sido una guía y ejemplo espiritual, un apoyo emocional y ese “algo” en lo que podemos tener fe siempre.

A mi papi que nunca permitió que me vaya por malos caminos, que siempre me enseñó a hacer lo correcto, que me enseñó que el factor económico no es tan importante como la tranquilidad, y gracias porque me heredó y enseñó algo que en su sencillez es invaluable, el amor a la música.

A mí mami, mipaño de lágrimas, compañera de incansables luchas y desvelos, mi consejera, y confidente, aunque a veces discutimos siempre aprendo algo de ello, gracias por enseñarme que la familia es primero, gracias por estar siempre ahí dándome ánimos para salir adelante. Gracias por enseñarme que cuando me caigo lo importante es no quedarme ahí, sino, levantarme pese al dolor.

A mis hermanos por ser mis consejeros, confidentes, compañeros de aventuras y conciertos, gracias por siempre estar a mi lado por darme fuerzas para seguir luchando y por todo lo que hemos vivido.

A mi Cuper, por ser tan loco y divertido como siempre, por ser mi compañía en mi soledad, por demostrarme que la lealtad nunca debe ser reemplazada y gracias por alegrarme la existencia.

A mis maestros más allegados en la carrera que, de una u otra forma han sabido llegar a sus estudiantes más que con una calificación, con un consejo: Ing. Moni, Ing. Mario, Ing. Fernanda.

Al Ingeniero Víctor Lindaodocente de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH por su desinteresada colaboración con los estudiantes, y su gran aporte a este amplio trabajo de titulación.

A la Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A), por darme la gran oportunidad de realizar mi proyecto de titulación en su empresa.

Y por último, a todas las personas que han pasado por mi vida y han dejado una huella imborrable.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-------------|
| PORTADA | i |
| DERECHOS DE AUTOR | ii |
| DECLARATORIOA DE RESPONSABILIDAD | iii |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| INDICE DE TABLAS | x |
| INDICE DE GRAFICOS | xi |
| INDICE DE ECUACIONES | xii |
| INDICE DE ANEXOS | xiii |
| ABREVIATURAS | xiv |
| RESUMEN | xv |
| SUMMARY | xvi |
| | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| JUSTIFICACIÓN | 2 |
| ANTECEDENTES | 3 |
| OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| Objetivo General | 4 |
| Objetivos Específicos | 4 |
| | |
| CAPITULO I | |
| | |
| 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 4 |
| 1.1 Agua potable | 4 |
| 1.2 Calidad del Agua | 4 |
| 1.3 Características Fisca del agua | 5 |
| 1.3.1 Turbiedad | 5 |
| 1.3.2 Color | 5 |
| 1.3.3 Olor y Sabor | 6 |
| 1.3.4 pH | 6 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.4 | Características Químicas del Agua | 6 |
| 1.5 | Potabilización del Agua | 7 |
| 1.5.1 | <i>Captación</i> | 7 |
| 1.5.2 | <i>Floculación</i> | 8 |
| 1.5.3 | <i>Sedimentación</i> | 8 |
| 1.5.4 | <i>Filtración</i> | 8 |
| 1.5.5 | <i>Cloración</i> | 9 |
| 1.6 | Residuos (Lodos) generados en plantas potabilizadoras de agua..... | 9 |
| 1.6.1 | <i>Características de los lodos</i> | 9 |
| 1.7 | Toxicidad del suelo por Aluminio | 10 |
| 1.8 | Estrés por aluminio en las plantas | 11 |
| 1.8.1 | <i>Síntomas del Estrés por Aluminio</i> | 11 |
| 1.9 | Enfermedades producidas por la ingestión de Aluminio..... | 12 |
| 1.10 | Corrección de la acidez y reducción del Aluminio: Encalado | 12 |
| 1.10.1 | <i>Beneficios del encalado del suelo</i> | 13 |
| 1.10.2 | <i>Condiciones para realizar el encalado</i> | 14 |
| 1.11 | Ecuaciones..... | 14 |
| 1.11.1 | <i>Ecuación de volumen de un Sólido</i> | 14 |
| 1.11.2 | <i>Ecuación de la Altura de un cilindro</i> | 15 |
| 1.11.3 | <i>Ecuación de la Capacidad de Intercambio Catiónico C.I.C.</i> | 16 |
| 1.11.4 | <i>Ecuación para calcular la distancia del fondo de la base del impulsor (E)</i> | 16 |
| 1.11.5 | <i>Ecuación para calcular el diámetro del impulsor (Da)</i> | 16 |
| 1.11.6 | <i>Ecuación para el cálculo del largo de la paleta (g)</i> | 17 |
| 1.11.7 | <i>Ecuación para calcular la potencia de un motor para flujo laminar</i> | 17 |
| 1.11.8 | <i>Ecuación para calcular la potencia real del motor accionador</i> | 17 |

CAPITULO II

| | | |
|-------|---|----|
| 2 | MARCO METODOLOGICO..... | 19 |
| 2.1 | Metodología | 19 |
| 2.1.1 | <i>Localización de la Planta</i> | 19 |
| 2.1.2 | <i>Metodología de recolección de la información</i> | 19 |
| 2.1.3 | <i>Muestreo</i> | 20 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1.4 | <i>Tratamiento de muestras</i> | 21 |
| 2.1.5 | <i>Técnicas</i> | 21 |
| 2.2 | Datos Experimentales | 27 |
| 2.2.1 | <i>Caracterización del lodo residual de la planta de potabilización de agua Casigana</i> | 27 |
| 2.2.2 | <i>Pruebas de Tratabilidad (Dosificación)</i> | 28 |
| 2.2.3 | <i>Datos obtenidos después de la prueba de tratabilidad</i> | 29 |

CAPITULO III

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. | 32 |
| 3.1 | Cálculos | 32 |
| 3.1.1 | <i>Cálculos de Diseño del Sistema</i> | 32 |
| 3.1.2 | <i>Dimensionamiento</i> | 43 |
| 3.1.3 | <i>Tipos de Materiales y Control</i> | 44 |
| 3.1.4 | <i>Requerimiento Presupuestario</i> | 44 |
| 3.2 | Análisis y discusión de resultados | 47 |
| 3.2.1 | <i>Resultados de tratabilidad</i> | 47 |
| 3.2.2 | <i>Análisis y discusión de Resultados</i> | 49 |
| | CONCLUSIONES | 49 |
| | RECOMENDACIONES | 50 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabla 1-2 | Recolección de Muestras..... | 17 |
| Tabla 2-2 | Técnicas: Potencial de hidrógeno..... | 18 |
| Tabla 3-2 | Técnicas: Conductividad Eléctrica..... | 18 |
| Tabla 4-2 | Técnicas: Humedad..... | 19 |
| Tabla 5-2 | Técnicas: Densidad Real..... | 19 |
| Tabla 6-2 | Técnicas: Carbono Orgánico Total..... | 19 |
| Tabla 7-2 | Técnicas: Nitrógeno Total en el Suelo..... | 20 |
| Tabla 8-2 | Técnicas: Determinación de Fósforo, Potasio, Hierro..... | 21 |
| Tabla 9-2 | Técnicas: Determinación de Cloruros Solubles..... | 21 |
| Tabla 10-2 | Técnicas: Determinación de Plomo..... | 22 |
| Tabla 11-2 | Técnicas: Determinación de Aluminio Intercambiable..... | 23 |
| Tabla 12-2 | Caracterización de Lodo Residual..... | 23 |
| Tabla 13-2 | Metodología de diseño experimental para aplicación de cal..... | 24 |
| Tabla 14-2 | Concentraciones de los principales nutrientes del suelo..... | 25 |
| Tabla 15-2 | Concentraciones de cal para pruebas de tratabilidad..... | 25 |
| Tabla 16-2 | Encalado de lodo 8 días..... | 26 |
| Tabla 17-2 | Encalado de lodo 15 días..... | 26 |
| Tabla 1-3 | Datos para cálculo de impulsores..... | 34 |
| Tabla 2-3 | Dimensionamiento del Sistema..... | 38 |
| Tabla 3-3 | Tipos de Materiales y Control..... | 39 |
| Tabla 4-3 | Costos de Inversión..... | 39 |
| Tabla 5-3 | Costos de instalación y mano de obra..... | 41 |
| Tabla 6-3 | Total de gasto de inversión..... | 41 |
| Tabla 7-3 | Costo del tratamiento..... | 41 |
| Tabla 8-3 | Total gastos de operación..... | 42 |
| Tabla 9-3 | Costo total..... | 42 |
| Tabla 10-3 | Mejor resultado de tratabilidad..... | 43 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Gráfico 1 - 3 | Concentración de Aluminio Intercambiable vs Niveles de Carbonato de Calcio..... | 43 |
| Gráfico 2 - 3 | Potencial de Hidrógeno vs Niveles de Carbonato de Calcio..... | 43 |

INDICE DE ECUACIONES

| | | |
|--------------------|--|----|
| Ecuación 1 | Volumen de un Prisma Rectangular..... | 13 |
| Ecuación 2 | Volumen de un Cilindro..... | 13 |
| Ecuación 3 | Volumen de un prisma triangular..... | 13 |
| Ecuación 4 | Altura de un cilindro..... | 13 |
| Ecuación 5 | Capacidad de Intercambio Catiónico..... | 14 |
| Ecuación 6 | Distancia del fondo de la base del impulsor..... | 14 |
| Ecuación 7 | Diámetro del impulsor..... | 14 |
| Ecuación 8 | Largo de la Paleta..... | 15 |
| Ecuación 9 | Potencia del Motor..... | 15 |
| Ecuación 10 | Potencia Real del Motor..... | 15 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|----------------|---|
| Anexo A | Análisis de lodo laboratorio UNACH antes del tratamiento |
| Anexo B | Análisis de lodo laboratorio ESPOCH antes del tratamiento |
| Anexo C | Análisis de bases en la muestra de lodo |
| Anexo D | Análisis de lodo después del tratamiento a 8 días |
| Anexo E | Análisis de lodo después del tratamiento a 15 días |
| Anexo F | Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de lodo |
| Anexo G | Tabla de límites de microelementos en el suelo según Mujeriego R. |
| Anexo H | TULSMA Libro VI Anexo 2 Tabla 2 |
| Anexo I | Esquema 3D de la planta de tratamiento de lodo |
| Anexo J | Vistas de la planta de tratamiento de lodo |
| Anexo K | Esquema de la planta de tratamiento de lodo en el terreno |
| Anexo L | Cotas tomadas para realizar para realizar el perfil del terreno |
| Anexo M | Disposición de la planta respecto al perfil del terreno |

ABREVIATURAS

| | |
|-------------------|--|
| PAC: | Policloruro de Aluminio |
| TULSMA: | Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental |
| ISO: | Organización Internacional de Normalización (International Standardization Organization) |
| EP: | Empresa Pública |
| EMAPA – A: | Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Ambato |
| UNT: | Unidades Nefelométricas de Turbidez |
| UC: | Unidades de Color |
| PAA: | Poliacril Amida |
| OMS: | Organización Mundial de la Salud |
| EPA: | Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) |
| pH: | Potencial de Hidrógeno |
| hp: | Caballo de Fuerza (Horse Power) |
| ppm: | Partes por millón |
| c/u: | Cada una |
| Und: | Unidad |
| E: | Distancia de la base del fondo del impulsor |
| Dt: | Diámetro total del tanque |
| Da: | Diámetro del Impulsor |
| g: | Largo de la Paleta |
| CIC: | Capacidad de Intercambio Catiónico |
| MTAS: | Método Total de Análisis de Suelo |
| ESPOCH: | Escuela Superior Politécnica de Chimborazo |
| UNACH: | Universidad Nacional de Chimborazo |

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar el diseño de un sistema de tratamiento de lodos generados en la planta de potabilización de agua, del cerro Casigana de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Se realizó un muestreo de tipo sistemático simple del lodo; las muestras fueron tomadas en: sedimentadores, tanque de almacenamiento y filtro, para realizar la caracterización, se deseaba medir el porcentaje de Aluminio contenido en el lodo para lo cual se realizó análisis químicos en el laboratorio. El análisis se realizó pesando 10 mg de muestra (lodo), después se disolvió en 100 ml de agua y se filtró, este filtrado se analizó en la máquina HACH, la cual utiliza parámetros colorimétricos para calcular la cantidad de Aluminio contenido en el filtrado. El proceso HACH 10 arrojó una concentración de Aluminio de 108.91 mg/Kg, que al comparar con los parámetros establecidos en el Manual Práctico de Riego de Mujeriego R. nos indicó que estaba fuera de norma. Se procedió a buscar el tratamiento adecuado para el lodo, encontrando así que agregar cal al suelo (encalado) era óptimo para este caso. Se realizó el diseño experimental el cual consistió en mezclar distintas cantidades de cal en un metro cuadrado de terreno y en un tiempo de 8 y 15 días. Transcurridos los tiempos de reacción se procedió a realizar las pruebas de caracterización del lodo tratado con la misma técnica de los primeros análisis, lo que nos dio como resultados que el lodo después del tratamiento tenía una concentración de Aluminio de 1.02 mg/Kg es decir, el Aluminio se encontraba dentro de los parámetros establecidos. Así se concluyó que: el encalado del suelo es el mejor tratamiento para eliminar el exceso de aluminio del suelo. Se recomienda ser estricto en la dosificación de cal.

PALABRAS CLAVE:

<TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <INGENIERIA QUIMICA>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <TRATAMIENTO DE LODO>, <POTABILIZACIÓN DE AGUA>, <AMBATO (CANTÓN)>, <ENCALADO DE SUELO>.

ABSTRACT

The aim of their search was to make a design of sludge treatment system generated by the water purification plan of Casigana hill in the city of Ambato, Tungurahua province. We performed a single systematic type sampling of the sludge; samples were taken at the: clarifiers, storage tank and filter. For characterization, it was desired to measure the percentage of aluminum content in the mud by which chemical analysis was executed in the laboratory. The analysis was performed by weighing 10mg of sample (slurry), dissolving it in 100 ml of water and filtered. This filtrate was analyzed in the HACH machine, which uses colorimetric parameters to calculate the amount of aluminum contained in the filtrate. The HACH 10 process yielded an aluminum concentration of 108.91 mg/Kg, which when compared with the parameters set in the Practical Manual of Irrigation by Mujeriego R., it showed us that it was out of standard. Proceeding to seek appropriate treatment for sludge, it was found that adding lime to the soil (liming) was ideal for this case. The experimental design which consisted of mixing different amounts of lime in a square meter of field, a time frame of 8 and 15 days was performed. After their action periods, we proceeded to perform the characterization tests of the treated sludge with the same technique of the first analyzes which gave as a result that the sludge, after the treatment had an aluminum concentration of 1.02 mg/Kg that is the aluminum was within the established parameters. Thus it was concluded that: soil liming is the best treatment to remove excess aluminum from the soil. It is recommended to be strict in the lime dosage.

KEYWORDS:

<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <CHEMICAL ENGINEERING>, <SYSTEM TREATMENT>, <MUD TREATMENT>, <WATER PURIFICATION>, <AMBATO (CANTON)>, <SOIL LIMING>.

INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto fundamental para la vida en su forma más pura y con todas sus características, es decir, debe ser incolora, inodora e insípida, pero en la naturaleza no encontramos agua con tales características, es por esto que surge la necesidad de potabilizar el agua, es decir, el agua debe pasar por distintos procesos para que quede apta para el consumo humano.

Cuando el agua es sometida al proceso de potabilización, es decir, pasa por una floculación, sedimentación, filtración y cloración; genera residuos que son las impurezas propias del agua, a estos se les conoce como lodos.

La potabilización del agua ha originado un problema de manejo y disposición final de los lodos generados durante su tratamiento. El principal problema es que estos residuos presentan un alto contenido de agua (80% aproximadamente), además de presentar una pobre capacidad de deshidratación, particularmente aquellos que son producidos por el uso de Poli Cloruro de Aluminio (PAC) como coagulante.

La descarga de residuos de las plantas potabilizadoras de agua en las corrientes naturales de agua o en el alcantarillado, llega a plantear problemas importantes, ya que, si bien estos residuos son principalmente inorgánicos, van formando depósitos o bancos de fangos en los tramos lentos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, más aún si se está empleando carbón.

Disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, y en definitiva, se plantean problemas medioambientales que hay que considerar, y extraer por tanto los residuos sólidos antes del vertido a los cauces. Además no hay que olvidar que las normas medioambientales son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos.

Con la finalidad de reducir el impacto generado por la descarga de los lodos generados en las plantas potabilizadoras de agua, en Ecuador tenemos como guía al TULSMA, Libro 6, Anexo 1 donde nos indica los límites permitidos para los compuestos que estos lodos contienen.

La Planta de Potabilización de Agua de Casigana cuenta con la certificación de calidad ambiental ISO 14000, por ende toda la planta está bajo un estricto y constante monitoreo ambiental, sin embargo tiene un proceso que está fuera de norma que necesita ser controlado, como es la descarga de los lodos generados en la potabilización, la cual se hace sin un tratamiento previo y se desechan al sistema de alcantarillado, generando así problemas como sedimentación y alteración de las propiedades físico químicas del agua.

ANTECEDENTES

La Planta de Potabilización de Agua de Casigana de la EP-EMAPA-A recolecta el agua del río Ambato, específicamente del canal Huachi – Pelileo por medio de gravedad y en los meses donde el caudal es suficiente para cubrir con las necesidades de la planta. En la época del año cuando el caudal es insuficiente, el agua es transportada hacia la planta por medio de bombeo desde la estación “Tropezón” así es como la demanda de agua de la planta siempre está satisfecha.

La planta de tratamiento de Casigana tiene la capacidad para tratar 300 litros por segundo de agua captada lo cual después del tratamiento proporciona aproximadamente 220 litros por segundo de agua potable, esto es 19008 metros cúbicos al día que se destina al consumo de la parte Sur de la ciudad de la ciudad. Así pues son aproximadamente unos 50000 habitantes los beneficiados con el líquido vital, de tal manera que su salud está en relación directa con la calidad del agua con que se abastecen.

La Planta de Potabilización de Casigana se halla situada en la loma del mismo nombre, al Oeste de la ciudad de Ambato y se encuentra ubicada a 3Km del centro de la ciudad, a una altura de 2693 msnm, sitio desde el cual se distribuye el agua potable al sector Sur, Sur -Oeste de la Urbe.

JUSTIFICACIÓN

La generación de lodos en las plantas de tratamiento de agua potable no han sido considerados como problemas ambientales, y por tanto se han eliminado en forma abierta a los medios externos sean alcantarillados o esteros, llegando a plantear problemas importantes, ya que, si bien estos residuos son principalmente inorgánicos, van formando depósitos o bancos de fangos en los tramos lentos del cauce.

A la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, más aún si se está empleando carbón, disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, y en definitiva, se plantean problemas medioambientales que hay que considerar, y extraer por tanto los residuos sólidos antes del vertido a los cauces.

Además, no hay que olvidar que las normas medioambientales son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos. Se cree conveniente cuantificar, los contaminantes que deben poseer estos lodos producto de los procesos de coagulación y floculación, en los

cuales se utiliza Sulfato de Aluminio y/o Poli Cloruro de Aluminio (coagulantes) y como medio floculante PoliAcril Amida (PAA).

Como residuos de la potabilización de agua de la planta de Casigana de la EP-EMAPA-A se obtienen lodos, los cuales se desechan directamente y sin haber sido previamente tratados al sistema de alcantarillado, de ahí surge la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento para disminuir el impacto generado por los lodos residuales de la planta de potabilización.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Realizar el diseño de un sistema de tratamiento de lodos generados en la planta de potabilización de agua sector Casigana de la EP – EMAPA – A.

Objetivos Específicos

- Realizar las pruebas de caracterización de los lodos.
- Ejecutar procesos de tratabilidad que nos permitan obtener los resultados adecuados para diseñar el tratamiento ideal.
- Realizar los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento de proceso y especificaciones del sistema de tratamiento de lodos.
- Buscar una alternativa de disposición final para los lodos después de realizado el tratamiento.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Agua potable

Se denomina con este nombre al agua que ha sido sometida a varios procesos con el fin de lograr su purificación, quedando así apta tanto para el consumo como para otros usos domésticos.

El agua potable debe cumplir con las normas establecidas a nivel local, nacional e internacional, para este efecto evalúan dos aspectos:

Características Físicas

Características Químicas

Características Biológicas

1.2 Calidad del Agua

No podemos hablar de calidad del agua en general, sino que debemos seleccionar el uso que se le va a dar y de acuerdo a eso ver las características que tendrá dicha agua ya que cada tipo tendrá distintos parámetros de calidad.

Las estimaciones de disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que en la mayor parte del mundo la calidad del agua está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1 100 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable mejorada (WHO, 2005), particularmente en áreas rurales donde no existe posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma en ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.(Álvarez, 2008, p.22)

1.3 Características Fisca del agua

Dentro de las características físicas tendremos:

Turbiedad

Color

Olor y Sabor

Ph

1.3.1 Turbiedad

La turbiedad o turbidez del agua es una medida en la cual el agua pierde su transparencia debido a sólidos suspendidos en la misma, mientras más sea la cantidad de materia suspendida, mayor será el grado de turbidez.

Dentro de los factores negativos de la turbidez, tenemos que impide o disminuye la fotosíntesis de las plantas acuáticas, y por ende el normal desarrollo de la vida en el agua. Por eso la turbidez es una característica muy importante a tratar.

La turbidez del agua se mide con el turbidímetro o nefelómetro que miden la luz dispersada en 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de la muestra de agua. Las unidades de turbidez serán UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

1.3.2 Color

El color en el agua se debe a la presencia de material solido disuelto y suspendido, así como de algunos compuestos químico que generan el cambio de color del agua y también debido a la presencia de materia orgánica, microorganismos y plantas acuáticas.

Cabe recalcar que el agua pura, potabilizada o apta para el consumo humano, debe ser transparente, es decir, debe carecer de color.

El color se mide en Unidades de Color (UC). El valor guía para agua de bebida según la OMS es de 15 UC.

1.3.3 Olor y Sabor

En el agua, cualquier sustancia, tanto orgánica como inorgánica puede producir olor y sabor. En la desinfección del agua se utiliza el Cloro para eliminar cualquier microorganismo nocivo para el ser humano pero además el Cloro quita un poco el color y el olor del agua, no obstante el cloro cuando es suministrado en altas cantidades también produce un olor característico y puede ser dañino para los seres vivos.

La determinación del olor se realiza mediante el olfato. La EPA y la OMS recomiendan que las fuentes de agua deban carecer de olor y sabor.

1.3.4 pH

El pH es un parámetro que mide el potencial de hidrogeno de una sustancia, es decir, el pH nos indica si el agua es ácida, neutra o básica. Si la muestra tiene un pH menor a 7, diremos que es ácida, un pH igual o equivalente a 7 entonces será una sustancia neutra y si el pH es mayor a 7 entonces tendremos una muestra básica.

Conocer el pH del agua en su tratamiento es muy importante para los procesos de coagulación, estabilización y desinfección.

La OMS recomienda un rango de pH entre 6,5 y 8,5 para agua de consumo humano.

1.4 Características Químicas del Agua

- **Elevada fuerza de cohesión entre sus moléculas:** debido a los puentes de Hidrógeno que se establecen las moléculas de agua permanecen unidas entre sí de forma más intensa que en otros compuestos similares.

- **El agua es un líquido prácticamente incompresible:** no es fácil reducir su volumen mediante presión, pues las moléculas de agua están enlazadas entre sí manteniendo unas distancias intermoleculares más o menos fijas. Por ello muchos organismos usan agua para fabricar sus esqueletos hidrostáticos, como los anélidos y celentéreos.
- **Elevada tensión superficial:** su superficie opone gran resistencia a romperse, lo que permite que muchos organismos puedan caminar sobre el agua y vivan asociados a esa película superficial.
- **Capilaridad:** ascenso de la columna de agua a través de tubos de diámetro capilar, fenómeno que depende de la capacidad de adhesión de las moléculas de agua a las paredes de los conductos capilares y de la cohesión de las moléculas de agua entre sí. Las plantas utilizan esta propiedad para la ascensión de la sabia bruta por el xilema.
- **Elevado calor específico:** Hace falta mucha energía para elevar su temperatura. esto convierte al agua en un buen aislante térmico.
- **Elevado calor de vaporización:** debido a que para pasar al estado sólido parte de la energía suministrada se emplea en romper los enlaces de puentes de hidrógeno.
- **Mayor densidad en estado líquido que en estado sólido:** el hielo flota en el agua.
- **Elevada constante dieléctrica:** Al ser un dipolo el agua se convierte en el gran disolvente universal, compuestos iónicos y polares se disuelven fácilmente en agua.
- **Bajo grado de ionización:** sólo una de cada 551.000.000 moléculas de agua se encuentra disociada en forma iónica. La concentración de iones hidroxilo (OH^-) y de iones de hidrógeno (protones) H^+ es la misma 10^{-7} molar. El agua es desde el punto de vista del pH, neutra.

1.5 Potabilización del Agua

1.5.1 Captación

La captación del agua se realiza de ríos, diques o en este caso del Canal Huachi – Pelileo, por medio de gravedad cuando el flujo de agua es abundante o mediante bombeo cuando existe sequía en las zonas.

El agua proveniente de ríos, diques o canales, está expuesta a materia orgánica como inorgánica, por esta razón la turbiedad aumenta y es necesario un tratamiento más estricto en la potabilización.

1.5.2 Floculación

En el proceso de floculación se añade un producto químico que puede ser Poli Cloruro de Aluminio o Sulfato de aluminio, para que las partículas suspendidas en el agua se unan y formen flóculos los cuales serán retirados posteriormente.

El proceso de floculación se lleva a cabo en floculadores, estos pueden ser mecánicos o hidráulicos. Los floculadores mecánicos son tanques con paletas de grandes dimensiones y velocidad de mezcla baja. Los floculadores hidráulicos son canales en forma de serpentina que la cual se reduce la velocidad de entrada del agua produciendo así la mezcla (Cabezas, 2011, p. 37)

1.5.3 Sedimentación

La sedimentación es el proceso siguiente de la floculación, en el cual, el agua llega a tanques, (que pueden ser de distinto tamaño, dependiendo de la capacidad de la planta potabilizadora) en los cuales las partículas pesadas y sólidos suspendidos que están en forma de flóculos, precipitan hasta el fondo de los sedimentadores formando lodos, los cuales después de reposar varias horas pasaran a vertederos, en los cuales se captará el agua menos turbia para pasar a los filtros.

1.5.4 Filtración

La filtración es un proceso en el cual el agua pasa a través de materiales porosos con el fin de remover las partículas que no han sido eliminadas en la floculación ni en la sedimentación.

En la planta de potabilización de agua de Casigana se ha dispuesto de 6 filtros rápidos en los cuales se han utilizado lechos múltiples compuestos por antracita y arena.

La operación de filtración en cada uno de los filtros, consiste simplemente en abrir la válvula de entrada de agua proveniente de los sedimentadores controlando así tanto la altura de agua en los tanques como en los vertederos de salida.

1.5.5 Cloración

Para garantizar que el agua quede libre de todo microorganismo patógeno, se añade Cloro, debido a su eficiencia, confiabilidad, costo y facilidad de manejo.

La cantidad de Cloro añadido, ya sea como Hipoclorito de Sodio o Hipoclorito de Calcio, debe ser tal que se obtenga un cloro residual aproximadamente de 1 ppm en el tanque de succión de las bombas existentes en la planta de tratamiento, debiendo regular la dosificación considerando un residual de cloro en la red de distribución de 0.2 a 0.6 ppm.

1.6 Residuos (Lodos) generados en plantas potabilizadoras de agua.

El agua superficial, tiene sólidos suspendidos, que son eliminados en los procesos de floculación, sedimentación y filtración, generando así lodos con un alto contenido de Aluminio.

Actualmente estos lodos son desechados al sistema de alcantarillado sin tratamiento alguno, generando impactos ambientales y bancos de lodos en el sistema de alcantarillado, ocasionando taponamientos.

1.6.1 Características de los lodos

Las características de lodos de potabilización con alto contenido en Aluminio, varían entre planta y planta, y también varían dependiendo la estación del año en la que se haya generado el fango. Sin embargo, poseen características físicas muy parejos: tienen apariencia gelatinosa, fluido no Newtoniano, tiene en su composición materia inorgánica (arena, arcilla, Cloro, metales diversos, Aluminio), tiene carga orgánica, plancton.

Estas características son muy importantes el momento de dar tratamiento y la disposición final a los lodos.

Estos lodos tienen un gran volumen, el cual está compuesto principalmente por agua y son tixotrópicos, esto quiere decir que en estado de reposo tienen características gelatinosas o coloidales y cuando está en movimiento tiene características líquidas. Además son compresibles, y aquellos lodos provenientes de agua con poca turbiedad son difíciles de deshidratar, por el hecho de que tienen mayor cantidad de agua como componente principal.

Debemos saber que por más que se conozca la composición química de los lodos, no nos da la suficiente información de las características físico-químicas de los sólidos en suspensión, así por ejemplo el tamaño de las partículas, superficie, carga electrostática y las fuerzas de capilaridad que retienen el agua, que son factores importantes al momento de determinar el tratamiento que va a llevar a cabo con el lodo. Por lo tanto es muy necesario y de mucha ayuda, hacer los análisis de caracterización.

1.7 Toxicidad del suelo por Aluminio

Cuando los suelos son muy ácidos el Aluminio retenido en las arcillas se disuelve en el suelo aumentando su toxicidad, ya que las partículas cargadas positivamente llamadas aniones dificultan el crecimiento de las plantas. De hecho la toxicidad causada por el Aluminio en suelos ácidos limita la producción de cultivos.

El exceso de Aluminio disponible soluble (Al^{+3}) es tóxico para las plantas. Algunos de los problemas que trae la toxicidad por Al^{+3} son:

- Reduce la disponibilidad de Fósforo (P) en el suelo, a través de la formación de compuestos Al-P
- Reduce la disponibilidad de Azufre (S) a través de la formación de compuestos Al-S
- Reduce la disponibilidad de otros nutrientes en forma catiónica debido a una interacción competitiva.

Fisiológicamente, se cree que el Al^{+3} impacta el metabolismo Fosfato /nucleótido, la formación y funcionamiento de la pared celular y los transportadores de la membrana por mencionar algunos efectos.

La disponibilidad de Al^{+3} no es del todo comprendida. Sin embargo, además del pH del suelo, el total de Aluminio presente en un determinado tipo de suelo, el tipo y cantidad de arcilla en el suelo y la materia orgánica de éste, pueden afectar la disponibilidad de este catión.

La aplicación de cal es la solución más común recomendada para el Aluminio soluble del suelo superficial. A través de esta labor lo que se hace, es subir el pH del suelo de modo de que no se presente Aluminio soluble en éste.

En sistemas de césped establecido la aplicación de cal es usualmente hecha en la superficie y sólo tiene efecto en los primeros centímetros del perfil de suelo. Si se requiere de una corrección de los niveles de Aluminio soluble en profundidad, una opción es la aplicación de Sulfato de Calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) el cual se denomina con el nombre común de yeso, fertiyeso y gipsita, dependiendo del país.

El Calcio aplicado de esta forma es un catión competitivo para el catión Al^{3+} , el cual puede permitir que el Al^{3+} lixivie en profundidad dentro del perfil de suelo cuando el agua se infiltra a través de la zona de raíces.(Acuña, 2011, p. 1)

1.8 Estrés por aluminio en las plantas

El Aluminio puede ser tomado por la planta con gran rapidez principalmente cuando el suelo tiene una reacción ácida. Las reacciones químicas del Aluminio en el suelo son extraordinariamente complejas y diversas, y comprenden principalmente hidrólisis, polimerización y reemplazo de elementos.

Algunos monómeros resultantes de las reacciones de hidrólisis de los compuestos de Aluminio han sido reconocidos como fitotóxicos, sin embargo, los reportes sobre el efecto del hidróxido de aluminio en los vegetales son contradictorios. Las reacciones de hidrólisis del Aluminio semejan la reacción de un ácido fuerte, en la cual se liberan iones protones.

De esta manera podemos decir que los polímeros de Aluminio son en general más tóxicos que las formas monoméricas del elemento y sin embargo, con frecuencia se tienen como compuestos de poca importancia en casos de contaminación del suelo por Aluminio(Wallnöfer y Engelhardt, 1995).

1.8.1 Síntomas del Estrés por Aluminio

La concentración de Al^{3+} en las plantas cultivadas usualmente es más alta en las raíces que en los tejidos aéreos. El primer síntoma perceptible cuando se presenta toxicidad por Al^{3+} es la reducción del crecimiento radicular en longitud. Las raíces afectadas por Al^{3+} exploran un

volumen muy limitado del suelo y así se reduce su capacidad para tomar los nutrientes y el agua. El Al^{3+} interfiere con la toma, el transporte y la utilización de los elementos nutritivos.

La inhibición del crecimiento y el engrosamiento de raíces expuestas a Aluminio sugieren que el cito-esqueleto puede ser el blanco de la toxicidad por el metal. (Wright, 1989).

1.9 Enfermedades producidas por la ingestión de Aluminio

La ingestión de Aluminio generalmente no produce daño. Algunos estudios han sugerido que la exposición a cantidades altas de Aluminio puede causar enfermedad de Alzheimer, mientras que otros estudios no han encontrado evidencia de que esto ocurra. No se sabe con certeza si la exposición al Aluminio produce enfermedad de Alzheimer.

Algunas personas que sufren de enfermedad renal acumulan una gran cantidad de Aluminio en sus cuerpos. La enfermedad del riñón impide la eliminación de Aluminio en la orina. Algunas veces, estas personas desarrollaron enfermedades de los huesos o del cerebro que los doctores atribuyeron al exceso de Aluminio.

Aunque los productos que contienen Aluminio que se venden sin receta no se consideran peligrosos para personas sanas en las dosis que se recomiendan, su uso prolongado ha causado algunos efectos adversos en algunas personas.

1.10 Corrección de la acidez y reducción del Aluminio: Encalado

Encalar significa neutralizar la acidez de los suelos, no fertilizar con Calcio, ya que las deficiencias de Calcio para las plantas no son frecuentes. Para realizar el encalado de un suelo se puede utilizar diferentes tipos de cal siendo la más utilizada la calcita (CaCO_3).

La reacción de encalado con Carbonato de Calcio para un suelo con Aluminio intercambiable es:



Para calcular la cantidad de calcita que se debe adicionar al suelo en el encalado se debe calcular la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C) que no es más que un indicador del

potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes vegetales, mediante la estimación de su capacidad para retener cationes (cationes = sustancias que tienen carga positiva).

Por lo tanto, la CIC del suelo afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes. (Sela, 2015)

1.10.1 Beneficios del encalado del suelo

- Se neutraliza la acidez y eleva el pH.
- Elimina el Al^{3+} que limita el crecimiento radicular.
- Aumenta disponibilidad de Ca y Mg agregados.
- Aumenta disponibilidad de P debido a la liberación de P retenido por compuestos de Al.
- Aumenta disponibilidad de S y Mo por la misma razón.
- Aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico y la retención de cationes.
- Aumenta exploración radicular.
- Aumenta absorción de agua.
- Aumenta mineralización de Mo y por lo tanto disponibilidad de N, S, P y otros nutrientes.

El encalado debe realizarse con anticipación a la siembra del cultivo. El efecto del encalado se mantiene durante varios años. No es necesario repetirlo en cada cultivo. La residualidad dependerá de la dosis y de las características del suelo. Si la primera aplicación fue efectiva la residualidad será de 3-5 años. Puede ser monitoreada a través del análisis de pH.

Luego de una aplicación se logra generalmente mantener un nivel bajo de acidez con dosis menores de calcita. (Lopez, 1995 p. 22)

1.10.2 Condiciones para realizar el encalado

- Esta reacción necesita agua por lo que no se produce en suelos secos, el suelo a aplicar debe ser húmedo o en su defecto se deberá adicionar agua.
- La calcita debe estar finamente molida para poder solubilizarse fácilmente.
- La calcita debe mezclarse muy bien con el suelo para que la reacción sea lo más homogénea posible. Esto se debe a que la distancia que difunde el Calcio en el suelo es muy pequeña (1-2 cm)
- Todas las condiciones anteriormente mencionadas llevan a que la reacción del encalado y neutralización no sea instantánea, requerirá de un tiempo aproximado de 8 a 15 días para producirse.

1.11 Ecuaciones

1.11.1 Ecuación de volumen de un Sólido

1.11.1.1 Ecuación de volumen de un Prisma Rectangular

La ecuación de volumen de un prisma rectangular relaciona sus tres dimensiones, es decir, largo, ancho y altura o profundidad. Entonces:

$$V_{PR} = L_{PR} \times A_{PR} \times H_{PR}$$

Dónde:

V_{PR} : Volumen del Prisma Rectangular.

L_{PR} : Longitud del Prisma Rectangular.

A_{PR} : Ancho del Prisma Rectangular.

H_{PR} : Altura del Prisma Rectangular.

1.11.1.2 Ecuación de Volumen de un Cilindro

La ecuación de volumen de un cilindro relaciona el radio de circunferencia, la altura del cilindro y la constante matemática Pi, la misma que resulta de la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro. Entonces:

$$V_C = \pi r^2 h$$

Dónde:

V_C : Volumen del Cilindro

Π : Constante matemática equivalente aproximadamente 3.1416

r: Radio de la circunferencia del cilindro

h: Altura del cilindro

1.11.1.3 Ecuación de Volumen de un Prisma Triangular

En la ecuación del volumen del triángulo se relacionan tres dimensiones, la base, la altura y su espesor o profundidad. Entonces:

$$V_T = \frac{(B \times H)}{2} \times P$$

Dónde:

V_T : Volumen del triángulo

B: Base del triángulo

H: Altura del triángulo

P: Profundidad del triángulo.

1.11.2 Ecuación de la Altura de un cilindro

La ecuación de altura de un cilindro relaciona el radio de circunferencia, la altura del cilindro y la constante matemática Pi, la misma que resulta de la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro. Intervienen los mismos términos de la ecuación del volumen ya que ambas ecuaciones están relacionadas. Entonces:

$$h_C = \frac{V_C}{\pi \times r^2}$$

Dónde:

h_C : Altura del cilindro.

V_C : Volumen del Cilindro.

Π : Constante matemática equivalente aproximadamente 3.1416

r: Radio propuesto de la circunferencia del cilindro.

1.11.3 Ecuación de la Capacidad de Intercambio Catiónico C.I.C

La Capacidad de Intercambio Catiónico se calcula con la sumatoria de los miliequivalentes de las distintas bases o nutrientes principales presentes en el suelo, siendo estos: el Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio. Entonces:

$$C.I.C = meq K^+ + meqCa^{2+} + meqMg^{2+} + meq Na^+$$

Dónde:

meq K⁺: Número de mili equivalentes de Potasio.

meq Ca²⁺: Número de mili equivalentes de Calcio.

meq Mg²⁺: Número de mili equivalentes de Magnesio.

meqNa⁺: Número de mili equivalentes de Sodio.

1.11.4 Ecuación para calcular la distancia del fondo de la base del impulsor (E)

En esta ecuación interviene el diámetro total del tanque y una constante. Entonces:

$$E = Dt \times 0.33$$

Dónde:

E: Distancia del fondo de la base del impulsor.

Dt: Diámetro total del tanque.

0.33: Constante propia de la fórmula.

1.11.5 Ecuación para calcular el diámetro del impulsor (Da)

En esta ecuación interviene el diámetro total del tanque y una constante. Entonces:

$$Da = Dt \times 0.33$$

Dónde:

Da: Diámetro del impulsor.

Dt: Diámetro total del tanque.

0.33: Constante propia de la fórmula.

1.11.6 Ecuación para el cálculo del largo de la paleta (g)

En esta ecuación interviene el diámetro total del tanque y una constante. Entonces:

$$g = Dt \times 0.25$$

Dónde:

g: Largo de la paleta

Dt: Diámetro total del tanque.

0.25: Constante propia de la fórmula.

1.11.7 Ecuación para calcular la potencia de un motor para flujo laminar

La ecuación de la potencia del motor relaciona el diámetro del impulsor, la viscosidad del fluido a agitar, la velocidad rotacional del motor y una constante propia para cada tipo de impulsor. Entonces:

$$P = K_l n^2 Da^3 \mu$$

Dónde:

P: Potencia del motor

Kl: Constante de agitación para flujo Laminar

n: Velocidad rotacional del motor

Da: Diámetro del impulsor

μ : Viscosidad del fluido

1.11.8 Ecuación para calcular la potencia real del motor Accionador

Es una ecuación en la cual intervienen la potencia calculada del motor, la eficiencia del y las pérdidas estimadas. Entonces:

$$P_{real} = \frac{P_{calc} \times (1 + L)}{Ef_{motor}}$$

Dónde:

P_{real} : Potencia real del motor accionador.

L: Pérdidas estimadas del motor.

Ef: Eficiencia del motor.

P_{calc} : Potencia calculada sin pérdidas.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLOGICO

2.1 Metodología

2.1.1 *Localización de la Planta*

La Planta de Potabilización de Casigana se halla situada en la loma del mismo nombre, al Oeste de la ciudad de Ambato y se encuentra ubicada a 3Km del centro de la ciudad, a una altura de 2693 msnm, sitio desde el cual se distribuye el agua potable al sector Sur, Sur -Oeste de la Urbe.

2.1.2 *Metodología de recolección de la información*

La toma de muestras se realizó in situ a fin de recopilar información para el presente proyecto. También se aplicó diversos métodos como: el método inductivo, deductivo y experimental, ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento del agua, sus productos y subproductos (lodos), para de esta manera poder hacer un adecuado y óptimo diseño de un sistema tratamiento para los lodos.

2.1.2.1 *Método Inductivo*

El método inductivo es aquel en el que se obtiene conclusiones generales a partir de indicios específicos, lo que posibilitará conocer la cantidad de agentes contaminantes que contiene el lodo resultante del proceso de potabilización de agua en la Planta del sector Casigana en la ciudad de Ambato, y nos permitirá sacar conclusiones claras y precisas.

Esto se obtendrá con un análisis minucioso de las muestras de lodo que se tomen en el lugar de estudio para posteriormente conocer su respectiva caracterización.

2.1.2.2 *Método Deductivo*

Son aquellos trabajos donde muestra preocupación, se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos, por lo que se partirá de conocimientos generales y actualizados de la planta de potabilización Casigana para encontrar solución al problema de la calidad de los lodos generados en el proceso de potabilización para que los mismos no sean tóxicos para el ambiente,

2.1.2.3 *Método Experimental*

El método experimental es un procedimiento que permite llegar a la verdad objetiva de los fenómenos. Mediante este método se realizará las pruebas de enclavado de los suelos, para disminuir el problema que es la sobredosis de aluminio en el lodo residual. Se propondrá el diseño del sistema de tratamiento de lodos residuales generados en la planta de potabilización de agua Casigana.

2.1.3 *Muestreo*

Durante la recolección de las muestras de lodo se aplicó diversos tipos de muestreo como: muestreo simple, el cual nos proporciona información sobre la calidad en un punto y momento dado.

La recolección de muestras para caracterización se realizó de la siguiente manera:

Tabla 1 – 2: Recolección de muestra

| Lugar de muestreo | Días de muestreo | Numero de muestras diarias | Tipo de muestra | Total de muestras al mes |
|-------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|
| Lodo de Sedimentadores | 6 | 1 | Simple | 6 |
| Lodo de Filtros | 6 | 1 | Simple | 6 |

| | | | | |
|----------------------------------|---|---|-----------|----|
| Lodo de Tanque de almacenamiento | 6 | 1 | Compuesta | 6 |
| | | | | 18 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Las muestras de lodo fueron recolectadas por las mañanas de la planta de potabilización Casigana una cada día, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, y al Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH, en donde se procedió a realizar las caracterizaciones físico-químicos del lodo y las respectivas pruebas de encalado, con el fin de determinar la dosificación adecuada para tratar el lodo residual.

2.1.4 Tratamiento de muestras

Las muestras se recolectaron en tres locaciones distintas para ver como varía la concentración de contaminante en cada una, después se procedió a realizar la caracterización físico-químicas del lodo, analizando 13 parámetros que son: pH, Conductividad Eléctrica, Humedad, Densidad Real, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Materia Orgánica, Cloruros Solubles, Hierro, Plomo, Aluminio.

Finalmente con los resultados de la caracterización de las muestras de lodo se comparó en normas y en textos de referencia: TULSMA libro VI, Anexo 2, Tabla 1: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS, y Mujeriego, R. (1990), permitiéndonos de este modo identificar los parámetros fuera de norma y el respectivo dimensionamiento de la planta.

2.1.5 Técnicas

Las técnicas son conjunto de pasos a seguir para la determinación de los diferentes compuestos que se va a analizar. Las técnicas a emplear para los análisis en el laboratorio se basan al manual “Standard Methods” y en “Metodologías de Análisis de Suelos” por Calderón y Pavlova.

2.1.5.1 *Potencial de Hidrógeno*

Tabla 2- 1: STANDARD METHODS *4500 HB

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | INDICACIÓN |
|---|------------------------|--|
| El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del suelo, tiene un rango de 1 a 14. Si el suelo tiene un pH menor a 7 se dice que es ácido, mayor a 7, básico y un valor igual a 7 es neutro. | Potencial de Hidrógeno | El pH indica la concentración de iones hidrógeno [H] ⁺ presentes en la muestra. |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.2 *Conductividad Eléctrica*

Tabla 3- 1: STANDARD METHODS *2510

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|--|------------------------------------|---|
| Es la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el agua. | Conductividad Eléctrica del suelo. | La medida de la conductividad eléctrica del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.3 *Humedad*

Tabla 4- 2: NCh 1515 Of. 79.

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|---|-----------------------------|---|
| Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad | Porcentaje de Humedad en el | La humedad del suelo es la cantidad de agua por |

| | | |
|---|--------|--|
| de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica. | suelo. | volumen de tierra que hay en un terreno. |
|---|--------|--|

Fuente: NCh 1515 Of. 79.

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.4 Densidad Real

Tabla 5- 3: Densidad Real, aparente y porosidad del suelo

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|---|--------------------------|---|
| Este método consiste en obtener el volumen de una muestra de suelo en forma indirecta, determinando por pesada el volumen de agua existente en un recipiente (picnómetro) con y sin muestra de suelo. | Densidad Real del suelo. | La densidad Real del suelo es la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo |

Fuente: Heredia Mendoza 1998

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.5 Carbono Orgánico Total

Tabla 6- 4: MTAS – C06

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|---|---|--|
| La muestra de suelo es colocada dentro de la cámara de combustión a una temperatura de 900°C, proceso que provoca la liberación de CO ₂ proveniente de todo el carbono presente en el suelo. El CO ₂ es cuantificado con un detector de | Porcentaje de Carbono Orgánico total en el suelo. | El Carbono Orgánico total es la cantidad de Carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua y suelo. |

| | | |
|---|--|--|
| <p>infrarrojo.El límite de detección de la técnica va de 0 a 25 mg de C. Considerando que no todo el suelo es material orgánico, se recomienda utilizar muestras de 0.1 a 0.3 g, pero mientras más materia orgánica se tenga, se debe tomar menor cantidad de suelo para realizar esta técnica.</p> | | |
|---|--|--|

Fuente:Instituto Mexicano del Petróleo

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.6 Nitrógeno total en el suelo

Tabla 7- 5: Método Kjeldahl Modificado

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|--|--|--|
| <p>Este proceso se da en dos pasos:</p> <p>Digestión: Por medio del Ácido Sulfúrico se destruye la materia orgánica. Este actúa como oxidante, los gases de H_2SO_4 que se forman a una temperatura de $338^\circ C$ se disocian en forma de SO_3 y H_2O. El SO_3 se descompone en SO_2 y Oxígeno, el Oxígeno oxida el Carbono y el Hidrógeno de la materia orgánica para convertirlos en CO_2 y H_2O. El Nitrógeno se convierte en NH_3 que con el Ácido Sulfúrico forma el Sulfato de Amonio.</p> <p>Destilación: Se realiza con Hidróxido de Sodio ($NaOH$) mediante el cual el Sulfato de Amonio se destila como amoníaco y se recibe en una solución de Ácido</p> | <p>Concentración de Nitrógeno en el Suelo.</p> | <p>Nutriente esencial para la vida de las plantas. Vuelve muy fértil al suelo.</p> |

| | | |
|---|--|--|
| Bórico (H_3BO_4). Posteriormente el NH_4^+ se titula con Ácido Sulfúrico. | | |
|---|--|--|

Fuente: Calderón,Pavlova 1999

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.7 Determinación Fósforo, Potasio y Hierro.

Tabla 8- 6: Método Morgan Modificado

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|--|---|--|
| <p>Un método muy conveniente de analizar estos elementos en el suelo es a través de la extracción simultánea de los mismos mediante un reactivo a base de Cloruro de Sodio y Ácido Cítrico.</p> <p>Este reactivo tiene la virtud de que extrae las bases intercambiables por el Potasio, extrae el Fósforo soluble en agua más el soluble en Citrato (Fósforo Asimilable) y extrae los elementos menores quelatables por el Ácido Cítrico.</p> | Concentración de Fósforo, Potasio y Hierro en el suelo. | El Fósforo, Potasio y Hierro son nutrientes que hacen más fértil al suelo. |

Fuente: Calderón,Pavlova 1999

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.8 Determinación de Cloruros Solubles

Tabla 9- 7: Método de Mohr y Volhard

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|
| El método de Mohr se emplea | Concentración de | Los Cloruros solubles son |

| | | |
|---|--------------------------------|---|
| principalmente para la determinación de anión Cloruro usando ión Plata como valorante. La reacción de valoración da lugar a un precipitado de color blanco. El punto final viene determinado por la formación de un precipitado rojo (Ag_2CrO_4) que aparece cuando la precipitación de AgCl es completa. La solubilidad del Cromatode plata es mayor que la del Cloruro de Plata, de acuerdo con sus respectivos productos de solubilidad y estequiometrias de los compuestos. La concentración de catión Plata cuando todo el analito (Cl^-) ha precipitado, es consecuencia de la solubilidad del producto de la reacción de valoración. | Cloruros Solubles en el suelo. | contaminantes del suelo que provocan demasiada alcalinidad. |
|---|--------------------------------|---|

Fuente: Calderón, Pavlova 1999

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.9 Determinación de Plomo

Tabla 10- 8: Perkin Elmer mod. Analyst 100

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|---|-------------------------------------|---|
| En esta práctica se determina el contenido en Plomo de una muestra de suelo. Para ello se somete a la misma a un proceso previo de lixiviación con una disolución ácida, al objeto de extraer el elemento y separarlo del resto insoluble. Seguidamente se determina por espectroscopia de absorción atómica. | Concentración de Plomo en el Suelo. | El Plomo es un metal pesado que causa toxicidad al suelo. |

Fuente: Martínez, Palacio 2010

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.1.5.10 Determinación Aluminio

Tabla 11- 1: MÉTODO HACH *2800

| FUNDAMENTO | VARIABLE ANALIZADA | DEFINICIÓN |
|--|--|---|
| <p>El Aluminio es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas.</p> <p>Todas las aguas contienen Aluminio. En aguas neutras está presente como compuestos insolubles, y en aguas altamente ácidas o alcalinas se puede presentar en solución.</p> <p>El Aluminio es anfótero y puede reaccionar con ácidos minerales para formar sales insolubles con desprendimiento de Hidrógeno.</p> | <p>Concentración de Al³⁺ Aluminio Intercambiable en el suelo.</p> | <p>El Al³⁺ es la forma del Aluminio en el suelo diluido en agua que se encuentra en el suelo húmedo.</p> |

Fuente: *HACH DR 2800, Model Series

Elaborado por: Andrés Cerón, 2016

2.2 Datos Experimentales

Para la caracterización físico- químico del lodo los límites están basados de acuerdo a los textos de referencia: TULSMA LIBRO VI Anexo II Tabla 2 y Mujeriego, R.

2.2.1 Caracterización del lodo residual de la planta de potabilización de agua Casigana

Tabla 12 – 2: Caracterización del lodo residual total

| Determinación | Unidades | Límites | Resultado |
|----------------------|-----------|---------|-----------|
| pH | Und. | 6 a 8 | 6.63 |
| Conductividad | μSiems/cm | 1000 | 318 |

| | | | |
|---------------------------------|-------------------|----|--------|
| Humedad | Porcentaje | - | 87.40 |
| Densidad Real | g/cm ³ | - | 1.02 |
| Carbono | Porcentaje | - | 9.41 |
| Nitrógeno | mg/kg | - | 4.6 |
| Fósforo | mg/kg | - | 0.22 |
| Potasio | mg/kg | - | 32 |
| Cloruros Solubles | mg/kg | - | 26.2 |
| Hierro | mg/kg | - | 0.61 |
| Plomo | mg/kg | 25 | 0.06 |
| Aluminio | mg/kg | 20 | 108.91 |
| Parámetro fuera de norma | | | |

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH y Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

2.2.2 Pruebas de Tratabilidad (Dosificación)

Para disminuir el Aluminio y aumentar un poco el pH del lodo se realizó el encalado del suelo, que consiste en adicionar Carbonato de Calcio de 85% de pureza al lodo. Para este fin se construyeron cajones de madera de 0.71m de largo x 0.71m de ancho x 0.2m de altura con el propósito de tener un modelo estilo experimental de aproximadamente una hectárea de terreno, en este caso una hectárea de lodo.

En estos cajones se llenó de lodo hasta el borde, se adicionó cal en distintas concentraciones y en distintos tiempos de reacción, en este caso, la técnica del encalado dice que se debe dejar reaccionar entre 8 y 15 días, entonces se hicieron dos ensayos, el primero a 8 días y el siguiente a 15 días.

Las pruebas que se realizaron tuvieron el siguiente esquema, siendo:

R1: Repetición 1

R2: Repetición 2

R3: Repetición 3

C1: Concentración 1

C2: Concentración 2

C3: Concentración 3

Tabla 13 – 2: Metodología del diseño experimental para aplicación de cal.

| | | |
|-------------|-------------|-------------|
| C1R1 | C3R2 | C2R3 |
| C2R1 | C1R2 | C3R3 |
| C3R1 | C2R2 | C1R3 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Se procedió a medir las distintas dosificaciones de carbonato de calcio, mediante el cálculo de la capacidad de intercambio catiónica (CIC), Para calcular la CIC debemos conocer las concentraciones en suelo de los nutrientes principales como son: Calcio, Potasio, Sodio, Magnesio.

Tabla 14 – 2: Concentraciones de los principales nutrientes del suelo

| Parámetros | Método | Unidad | Resultado |
|-------------------|----------------------|---------------|------------------|
| Potasio | EPA 3050B-3051A/7610 | mg/Kg | 259.30 |
| Calcio | EPA 3050B-3051A/7520 | mg/Kg | 245.38 |
| Magnesio | EPA 3050B-3051A/7450 | mg/Kg | 1326.60 |
| Sodio | EPA 3050B-3051A/7770 | mg/Kg | 640.06 |

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Las concentraciones calculadas fueron:

Tabla 15 – 2: Concentración de cal para pruebas de tratabilidad.

| Concentración | Valor |
|----------------------|--------------|
| 1 | 0.75 Kg |
| 2 | 1.15 Kg |
| 3 | 2.5 Kg |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

2.2.3 Datos obtenidos después de la prueba de tratabilidad

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de la adición de Carbonato de Calcio (cal apagada) al lodo fue la disminución de la cantidad y toxicidad del Aluminio Intercambiable Al^{3+} así como el aumento de pH.

A continuación se muestra las distintas concentraciones tanto del lodo antes del tratamiento como del lodo después del encalado y su variación con respecto al tiempo.

Tabla 16 – 2: Encalado de lodo 8 días.

| Muestra | Concentración de Aluminio en lodo sin tratar | pH del lodo sin tratar | Cantidad de Cal suministrada | Concentración de Aluminio en lodo tratado | pH lodo tratado |
|---------|--|------------------------|------------------------------|---|-----------------|
| C1R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.16 | 7.15 |
| C2R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.98 | 7.63 |
| C3R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.15 | 8 |
| C1R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.40 | 6.89 |
| C2R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 1.02 | 7.41 |
| C3R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.11 | 8.22 |
| C1R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.10 | 7.3 |
| C2R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.91 | 7.71 |
| C3R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.12 | 8.14 |

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH
Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Tabla 16 – 2: Encalado de lodo 15 días.

| Muestra | Concentración de Aluminio en lodo sin tratar | pH del lodo sin tratar | Cantidad de Cal suministrada | Concentración de Aluminio en lodo tratado | pH lodo tratado |
|---------|--|------------------------|------------------------------|---|-----------------|
| C1R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.05 | 7.02 |
| C2R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 1.037 | 7.11 |
| C3R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.023 | 7.83 |
| C1R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 0.66 | 7.54 |
| C2R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.19 | 7.71 |
| C3R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.054 | 8.12 |
| C1R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 0.29 | 7.63 |
| C2R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.11 | 7.9 |
| C3R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.057 | 8 |

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH
Elaborado por: Andrés Cerón 2016

| | |
|--|-----------------|
| | Mejor Resultado |
|--|-----------------|

Como podemos observar en las tablas de resultados el mejor tratamiento para disminuir el aluminio en el suelo a 8 y 15 días es el **Tratamiento 3** pero en ambos casos el pH está fuera de norma por lo tanto, el mejor tratamiento para reducir el Al^{3+} en el suelo conservando un pH óptimo es el **Tratamiento 2**. Pero para que el sistema sea más eficiente, se ha considerado un tratamiento de 8 días por lo que se obtiene resultados parecidos en un menor tiempo.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 Cálculos

3.1.1 Cálculos de Diseño del Sistema

3.1.1.1 Cálculo del volumen de lodo producido al día

✓ Volumen de Lodo de Sedimentadores

Para calcular el volumen de lodo producido en los sedimentadores diariamente utilizamos los datos obtenidos en la planta de Potabilización Casigana, tanto de largo, ancho y altura de la capa de lodo generado.

$$V_{LS} = L_S \times A_S \times H_S$$

$$V_{LS} = 20m \times 2.3m \times 0.1m$$

$$V_{LS} = 4.6m^3$$

✓ Volumen de Lodo de Filtros

Para calcular el volumen de lodo producido en los filtros diariamente utilizamos los datos obtenidos en la planta de Potabilización Casigana, tanto de largo, ancho y altura de la capa de lodo generado.

$$V_{LF} = L_F \times A_F \times H_F$$

$$V_{LF} = 3m \times 5m \times 0.02m$$

$$V_{LF} = 0.3m^3$$

- ✓ Volumen diario total producido en la planta

$$V_{LT} = V_{LS} + V_{LF}$$

$$V_{LT} = 4.6 \text{ m}^3 + 0.3 \text{ m}^3$$

$$V_{LT} = 4.9 \text{ m}^3$$

3.1.1.2 Cálculo de la cantidad de Carbonato de Calcio a aplicar

- ✓ Cálculo de mili equivalente de Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio

$$259.30 \text{ mg K}^+ = \frac{1 \text{ g K}^+}{1000 \text{ g K}^+} \times \frac{1 \text{ mol K}^+}{39.10 \text{ g K}^+} \times \frac{1 \text{ eq K}^+}{1 \text{ mol K}^+} \times \frac{1000 \text{ meq K}^+}{1 \text{ eq K}^+} = 6.62 \text{ meq K}^+$$

$$\begin{aligned} 235.48 \text{ mg Ca}^{2+} &= \frac{1 \text{ g Ca}^{2+}}{1000 \text{ g Ca}^{2+}} \times \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{40.08 \text{ g Ca}^{2+}} \times \frac{2 \text{ eq Ca}^{2+}}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} \times \frac{1000 \text{ meq Ca}^{2+}}{1 \text{ eq Ca}^{2+}} \\ &= 12.27 \text{ meq Ca}^{2+} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 109.14 \text{ mg Mg}^{2+} &= \frac{1 \text{ g Mg}^{2+}}{1000 \text{ g Mg}^{2+}} \times \frac{1 \text{ mol Mg}^{2+}}{24.31 \text{ g Mg}^{2+}} \times \frac{2 \text{ eq Mg}^{2+}}{1 \text{ mol Mg}^{2+}} \times \frac{1000 \text{ meq Mg}^{2+}}{1 \text{ eq Mg}^{2+}} \\ &= 109.14 \text{ meq Mg}^{2+} \end{aligned}$$

$$640.06 \text{ mg Na}^+ = \frac{1 \text{ g Na}^+}{1000 \text{ g Na}^+} \times \frac{1 \text{ mol Na}^+}{22.99 \text{ g Na}^+} \times \frac{1 \text{ eq Na}^+}{1 \text{ mol Na}^+} \times \frac{1000 \text{ meq Na}^+}{1 \text{ eq Na}^+} = 27.84 \text{ meq Na}^+$$

- ✓ Cálculo de la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)

$$\text{C.I.C} = \text{meq K}^+ + \text{meq Ca}^{2+} + \text{meq Mg}^{2+} + \text{meq Na}^+$$

$$\text{C.I.C} = (6.62 + 12.27 + 109.14 + 27.84) \text{ meq}$$

$$\text{C.I.C} = 155.87 \text{ meq}$$

- ✓ Cálculo del porcentaje de cada base presente en el suelo

$$155.87 \text{ meq} = 100\%$$

$$\text{Porcentaje K}^+ = \frac{6.62 \times 100}{155.87} = 4.25\% \text{ K}^+$$

$$\text{Porcentaje Mg}^{2+} = \frac{109.14 \times 100}{155.87} = 70.02\% \text{ Mg}^{2+}$$

$$\text{Porcentaje Ca}^{2+} = \frac{12.27 \times 100}{155.87} = 7.87\% \text{ Ca}^{2+}$$

$$\text{Porcentaje Na}^+ = \frac{27.84 \times 100}{155.87} = 17.86\% \text{ Na}^+$$

Según Lindao V. 2016, el porcentaje recomendado de Ca^{2+} en el suelo es del 80%, entonces faltaría 72.13% por lo tanto:

- ✓ Cálculo de meq de Ca^{2+} faltantes

$$\text{meq Ca}^{2+}_f = \frac{\text{C. I. C} \times \% \text{ Faltante Saturación}}{100}$$

$$\text{meq Ca}^{2+}_f = \frac{155.87 \text{ meq} \times 112.43}{100}$$

$$\text{meq Ca}^{2+}_f = 1133.41 \text{ meq Ca}^{2+}_{\text{Faltante}}$$

- ✓ Cálculo de partes por millón de Calcio faltante

$$\text{ppm Ca}^{2+}_f = \frac{\text{meq Ca}^{2+}_f}{100} \times \text{peq Ca}^{2+} \times 10$$

$$\text{ppm Ca}^{2+}_f = \frac{1133.41 \text{ meq Ca}^{2+}_f}{100} \times 20.04 \times 10$$

$$\text{ppm Ca}^{2+}_f = 2271.36$$

- ✓ Cálculo de peso en Kilogramos de Carbonato de Calcio recomendado para una hectárea de suelo y para un metro cuadrado.

$$\frac{\text{Kg Ca}^{2+}}{\text{Ha}} = 2 \text{ ppm} \times \frac{2.5}{0.5}$$

$$\frac{\text{Kg Ca}^{2+}}{\text{Ha}} = 4542.72 \times \frac{2.5}{0.5}$$

$$\frac{\text{Kg CaCO}_3}{\text{Ha}} = 22713.6 \text{ KgCaCO}_3/\text{Ha}$$

$$\frac{\text{Kg CaCO}_3}{\text{m}^2} = 22713.6 \frac{\text{KgCaCO}_3}{\text{Ha}} \times \frac{1 \text{ Ha}}{10000 \text{ m}^2}$$

$$\frac{\text{Kg CaCO}_3}{\text{m}^2} = 2.27 \text{ KgCaCO}_3/\text{m}^2$$

3.1.1.3 Cálculos para el Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos

En la planta de potabilización de agua Casigana existen 6 sedimentadores y 6 filtros, cada día se lava un sedimentador y un filtro, de lunes a sábado, dejándonos una producción semanal de lodo de 29.4 m^3 .

A este volumen se le dará el tratamiento de encalado de 8 días, es decir, durante 6 días se recogerán los lodos en el tanque 1 con agitación (homogenizador) para evitar la sedimentación del lodo en el fondo del mismo, después este lodo pasará al tanque 2 con agitación (digestor 1)

en donde se le suministrará el carbonato de calcio en la dosis calculada para que reaccione con el Aluminio durante 8 días, durante ese tiempo se volverá a recolectar lodo de 6 días en el homogenizador pero este pasará al tanque 3 (digestor 2) para agregar el Carbonato de Calcio y dejar 8 días para su debida reacción.

Una vez terminado el tiempo de reacción tanto del digestor 1 como del digestor 2, el lodo pasará a ser descargado en un tanque 4 (contenedor) donde el lodo se irá acumulando progresivamente durante 3 meses, en los cuales se separará la capa sólida de la capa líquida del lodo.

La parte líquida será desechada por una tubería al tanque 5 (contenedor 2) para su debido tratamiento antes de ser desechada al sistema de alcantarillado y la capa sólida pasará a un secador en el cual reposará durante tres meses donde el agua sobrante se evaporará.

- Cálculo del Volumen para los tanques 1, 2, 3

Como se mencionó anteriormente la producción semanal de lodo será de 29.4 m^3 por lo que los tanques 1, 2,3 deberán tener una capacidad mayor a los 29.4 m^3 , teniendo una idea del terreno donde va a ser construida la planta se consideró el diámetro y la altura más óptima para los tanques. Entonces:

$$VT_{1,2,3} = \pi r^2 h$$

$$VT_{1,2,3} = \pi x (2m)^2 x 2.75m$$

$$VT_{1,2,3} = 34.55 \text{ m}^3$$

- Cálculo del Volumen para el tanque 4

En este caso, se recogerán los lodos de 3 meses. Entonces:

- Cálculo del volumen del lodo producido en 3 meses
- Lodo producido mensualmente

$$Lodo_{mensual} = Lodo_{semanal} x 4$$

$$Lodo_{mensual} = 29.4 \text{ m}^3 x 4$$

$$Lodo_{mensual} = 117.6 \text{ m}^3$$

- Lodo producido en 3 meses

$$Lodo_{3\text{ meses}} = Lodo_{mensual} \times 3$$

$$Lodo_{3\text{ meses}} = 117.6\text{ m}^3 \times 3$$

$$Lodo_{3\text{ meses}} = 352.8\text{ m}^3$$

- Volumen tanque 4

$$VT_4 = \pi r^2 h$$

$$VT_4 = \pi \times (5\text{ m})^2 \times 5\text{ m}$$

$$VT_4 = 392.70\text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo del volumen de lodo sedimentado en el tanque 4

Se realizó una prueba de sedimentación en baldes de 20 litros de capacidad, aproximadamente se sedimentaron 15 litros de lodo es decir las $\frac{3}{4}$ partes del balde, Entonces:

$$VL_{ST4} = 3/4 \times VT_4$$

$$VL_{ST4} = \frac{3}{4} \times 352.80\text{ m}^3$$

$$VL_{ST4} = 264.6\text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo del volumen de agua sobrenadante en el tanque 4

Al agua sobrenadante (lixiviado) aproximadamente ocupó el $\frac{1}{4}$ del volumen del balde. Entonces:

$$VA_{ST4} = 1/4 \times VT_4$$

$$VA_{ST4} = \frac{1}{4} \times 352.80\text{ m}^3$$

$$VA_{ST4} = 88.20\text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo de la altura de la válvula de desfogue de agua

- ✓ Cálculo de la altura que ocupa el volumen del agua en el tanque 4

$$hV_{H_2O} = \frac{VA_{ST4}}{\pi \times r^2}$$

$$hV_{H_2O} = \frac{88.20\text{ m}^3}{\pi \times (5\text{ m})^2}$$

$$hV_{H_2O} = 1.13 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo de la altura que ocupa el volumen del lodo en el tanque 4

$$hV_{Lodo} = hT_{tanque} - hV_{H_2O}$$

$$hV_{Lodo} = 5\text{m} - 1.13\text{m}$$

$$hV_{Lodo} = 3.87\text{m}$$

- ✓ Cálculo de la altura de la válvula de desfogue de agua

Se han calculado las alturas que ocupa tanto el agua como el lodo dentro del tanque, en este caso, la altura máxima que ocupará el lodo es 3.87m, es decir, a partir de los 3.87 m empieza el volumen del agua, por ende la válvula de desfogue de agua debe ir a los 3.87m de altura, para que por gravedad salga toda el agua.

- ✓ Cálculo del tanque contenedor de lixiviados.

El volumen del agua resultante de la separación de fases del lodo es de 88.20 m³.

Entonces:

$$VT_L = \pi r^2 h$$

$$VT_L = \pi \times (3.25\text{m})^2 \times 3\text{m}$$

$$VT_L = 99.55 \text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo del Secador de lodos

El secador de lodo tiene forma rectangular por lo que para su fácil acceso para su limpieza se construirá tanto fuera como dentro del mismo una pequeña rampa de forma triangular de 2 metros de base.

Para saber el volumen total del tanque de secado de lodos se calculará primero el volumen total y después se restará el volumen ocupado por la rampa. Entonces

- ✓ Cálculo del Volumen del tanque secador

$$V_{secador} = Longitud \times Anchura \times Profundidad$$

$$V_{secador} = 20 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$V_{secador} = 300 \text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo del volumen de la rampa

$$V_{rampa} = \frac{(Base \times Altura)}{2} \times Profundidad$$

$$V_{rampa} = \frac{(2 \text{ m} \times 1 \text{ m})}{2} \times 20 \text{ m}$$

$$V_{rampa} = 20 \text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo del volumen real del secador

$$VR_{Secador} = V_{secador} - V_{rampa}$$

$$VR_{Secador} = 300 \text{ m}^3 - 20 \text{ m}^3$$

$$VR_{Secador} = 280 \text{ m}^3$$

3.1.1.4 Cálculo de la cantidad de cal (Carbonato de Calcio al 85%) necesaria para el tratamiento de una semana

Para determinar la cantidad óptima de cal se tomó en cuenta su acción mitigadora con respecto a la toxicidad del Aluminio y su mejor disposición con respecto al pH.

En las pruebas de tratabilidad se realizaron varios análisis con distintas concentraciones y pesos de cal, lo que dio como resultado un peso óptimo de cal de 1.15 Kg por cada metro cúbico. Sabiendo eso podemos decir que para un metro cúbico de lodo se necesitará 2.27 kg de cal y como la producción semanal de lodo es de 29.4 m³, entonces la cantidad de cal necesaria para el tratamiento de una semana será 66.74 Kg.

3.1.1.5 Cálculo y diseño de los agitadores

Para diseñar los agitadores, se ha tomado en cuenta los impulsores que se va a utilizar de acuerdo a las características de los mismos. En este caso se va a utilizar impulsores de pala tipo rejilla cuyas características son:

- ✓ 50 – 80 % del diámetro total del tanque.
- ✓ Genera flujo laminar.
- ✓ Soporta una velocidad tangencial de 2 m/s.

- ✓ Velocidad rotacional de 20 - 200 rpm
- ✓ Soporta viscosidades hasta 10Pa*s o 10000 centiPoise (cP)

El lodo producido en la planta Casigana entra en las características establecidas para este tipo de impulsores. Por lo tanto se procede a su respectivo cálculo conociendo algunos parámetros que se detallan a continuación:

Tabla 1 – 3: Datos para cálculo de impulsores.

| | |
|---------------------------------|------------------------|
| Fluido | Lodo |
| Densidad | 1500 Kg/m ³ |
| Presión | 1 bar |
| Temperatura | 10 – 28°C |
| Diámetro del tanque (Dt) | 4000 mm |
| Altura del tanque | 2750 mm |
| Tapa | Plana |
| Fondo | Plano |
| Altura de relleno (H) | 2390 mm |
| Volumen de relleno | 30 m ³ |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

- Cálculo de la altura de relleno

$$H = \frac{Vr}{\pi r^2}$$

$$H = \frac{30 \text{ m}^3}{\pi(2\text{m})^2}$$

$$H = 2.39 \text{ m}$$

- Cálculo de la distancia del fondo de la base del impulsor (E)

$$E/Dt = 0.33$$

$$E = Dt \times 0.33$$

$$E = 4000 \text{ mm} \times 0.33$$

$$E = 1320 \text{ mm}$$

- Cálculo del diámetro del impulsor (Da)

$$Da/Dt = 0.33$$

$$Da = Dt \times 0.33$$

$$Da = 4000 \text{ mm} \times 0.33$$

$$Da = 1320 \text{ mm}$$

- Cálculo de largo de la paleta (g)

$$g/Dt = 0.25$$

$$g = Dt \times 0.25$$

$$g = 4000 \text{ mm} \times 0.25$$

$$g = 1000 \text{ mm}$$

- Cálculo del ancho de la paleta (W)

$$W/Dt = 0.20$$

$$W = Dt \times 0.20$$

$$W = 4000 \text{ mm} \times 0.20$$

$$W = 800 \text{ mm}$$

3.1.1.6 Cálculo de la potencia del motor

Como se había mencionado anteriormente, el agitador de palas estilo rejilla, produce un flujo laminar, por lo que, para calcular la potencia del motor que accionará el agitador utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P = K_l n^2 Da^3 \mu$$

$$P = 300 \times (1.67 \text{ rps})^2 \times (1.32 \text{ m})^3 \times 1.5 \text{ PaS}$$

$$P = 2886.47 \text{ W}$$

$$P = 2886.47 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hP}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P = 3.87 \text{ hP}$$

- Cálculo de la potencia real del motor.

Con los datos de la eficiencia del motor y las pérdidas que se estima se calcula la potencia real requerida.

Eficiencia del motor: 0.7

Pérdidas: 0.35

Entonces:

$$P_{real} = \frac{P_{calc} \times (1 + Perdidas)}{Eficiencia_{motor}}$$

$$P_{real} = \frac{3.87 \text{ hP} \times (1.35)}{0.7}$$

$$P_{real} = 7.46 \text{ hP}$$

3.1.1.7 Balance de Masa

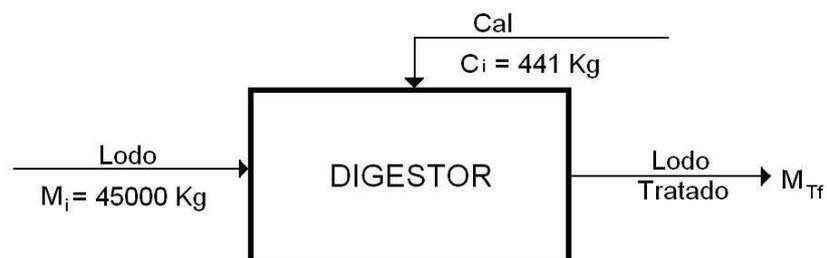
Para realizar el balance de masa, debemos calcular el peso del volumen de lodo generado en una semana. Entonces:

$$Peso_{lodo} = Volumen_{lodo} \times Densidad_{lodo}$$

$$Peso_{lodo} = 30 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ Kg/m}^3$$

$$Peso_{lodo} = 45000 \text{ Kg}$$

- Balance de masa en los digestores



- Balance de Masa

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$M_i + C_i = M_{Tr}$$

$$(45000 + 441) \text{ Kg} = M_{Tf}$$

$$M_{Tf} = 45441 \text{ Kg}$$

- Balance de Masa en el Contenedor



- Balance de Masa Descarga de lodos

$$M_i * X_i = L_f$$

$$L_f = 545292 \text{ Kg} * 0.75$$

$$L_f = 408969 \text{ Kg}$$

- Balance de Masa Agua sobrenadante

$$M_i * Y_i = A_f$$

$$A_f = 545292 \text{ Kg} * 0.25$$

$$A_f = 136323 \text{ Kg}$$

Al estar el lodo contenido en los tanques semi cubiertos 1,2 y 3, y en continua agitación, la cantidad de lodo evaporada al ambiente es despreciable, ya que las temperaturas externas al tanque afectan muy poco.

El tanque contenedor número 4 por el hecho de no tener cubierta es afectado por factores externos como la temperatura. En este caso se producirían dos procesos:

Habría transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie. (Proceso 1)

Habría transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido. (Proceso 2)

En ambos casos debido a la alta cantidad de humedad del lodo y de agua que se separa del mismo se podría decir que la cantidad de agua evaporada es poco influyente en el balance general de masa.

3.1.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento del sistema de tratamiento de lodos consta de la siguiente manera:

Un tanque homogenizador cilíndrico con capacidad de 34.56 m³, dos tanques digestores cilíndricos con capacidad de 34.56 m³, un tanque contenedor cilíndrico de 392.70 m³. Finalmente un tanque rectangular de 280 m³, este último tanque cuenta con rampas para acceso de payloader. Todos los tanques del sistema de tratamiento serán construidos en hormigón armado.

Tabla 2 – 3: Dimensionamiento del Sistema

| DESCRIPCIÓN | VARIABLE | INDICADOR |
|------------------------|----------|----------------|
| 1 HOMOGENIZADOR | | |
| Diámetro | 4 | m |
| Altura | 2.75 | m |
| Volumen | 34.56 | m ³ |
| 2 DIGESTORES | | |
| Diámetro | 4 | m |
| Altura | 2.75 | M |
| Volumen | 34.56 | m ³ |
| 1 SEPARADOR | | |
| Diámetro | 10 | M |
| Altura | 5 | M |
| Volumen | 392.70 | m ³ |
| 1 CONTENEDOR | | |
| Diámetro | 6.5 | M |
| Altura | 3 | M |
| Volumen | 99.55 | m ³ |
| 1 SECADOR | | |
| Altura | 1 | M |
| Largo | 20 | M |
| Ancho | 15 | M |
| Volumen | 280 | m ³ |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.1.3 Tipos de Materiales y Control

Tabla 3 – 3: Tipos de Materiales y Control.

| DENOMINACIÓN | CARACTERÍSTICA | TIPO |
|--|-----------------------|------------------|
| Tubería: Conducción de lodos. | 10 Pulgadas | Acero Negro |
| Accesorios: Conectores en T, transporte de lodos. | 10 Pulgadas | Acero Negro |
| Accesorios: Codos de 90°, transporte de lodos. | 10 Pulgadas | Acero Negro |
| Válvulas de Compuerta | 10 pulgadas | Metálicas |
| Muro: tanques | 0.2 metros de espesor | Hormigón Armado |
| Agitador para digestores | 1m x 1.6m | Acero Inoxidable |
| Motor: Accionador de agitadores | 7.5 hP | Trifásico |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.1.4 Requerimiento Presupuestario

El presupuesto de la planta de tratamiento de lodos consta de: gastos de inversión, gastos de operación e imprevistos (3-5 %) y costo total.

3.1.4.1 Gastos de Inversión

Tabla 4 – 3: Costos de inversión

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.UNITARIO | P.TOTAL |
|---|----------------|----------|------------|---------|
| 3 TANQUE DE 6.92 m³ c/u m³ = 20.76 m³ | | | | |
| 1 TANQUE DE 31.42 m³ | | | | |
| 1 TANQUE DE 14 m³ | | | | |
| 1 TANQUE DE 10.21 m³ | | | | |
| TOTAL = 76.39m³ de construcción | | | | |
| LOSA DE FONDO | | | | |
| REPLANTEO Y NIVELACIÓN | m ² | 83.24 | 3.21 | 267.20 |
| EXCAVACION MANUAL | m ³ | 827 | 6.50 | 5375.50 |
| EMPEDRADO BASE | m ² | 83.24 | 7.99 | 665.09 |
| REPLANTILLO H.S. 180 kg/cm2 E=3cm | m ³ | 1.9 | 105.00 | 199.50 |

| | | | | |
|---|----------------|---------|--------|----------|
| HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 22.10 | 120.00 | 2652.00 |
| ACERO ESTRUCTURAL | kg | 1500,00 | 2.00 | 3000.00 |
| ENLUCIDO PISO 1:2 + IMPERMEABILIZANTE ESP-2cm | m ² | 83.24 | 6.24 | 519.42 |
| PAREDES | | | | |
| ACERO ESTRUCTURAL | kg | 5195.13 | 2.00 | 10390.26 |
| HORMIGON f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 76.39 | 120.00 | 9166.80 |
| ENCOFRADO RECTO | m ² | 330.9 | 18.00 | 5956.20 |
| CHAMPEADO MORTERO 1:2 ESPESOR - 2 CM | m ² | 330.9 | 8.65 | 2862.29 |
| ENLUCIDO INTERIOR + IMPERMEABILIZANTE | m ² | 175 | 16.50 | 2887.50 |
| PINTURA DE CEMENTO BLANCO | m ² | 200 | 6.43 | 1286.00 |
| LOSA DE CUBIERTA | | | | |
| ACERO ESTRUCTURAL LOSA D=12mm | kg | 51,17 | 2.00 | 102.34 |
| HORMIGON LOSA f'c= 210kg/cm2 | m ³ | 1.25 | 145.00 | 181.25 |
| ENCOFRADO RECTO | m ² | 21.60 | 18.00 | 388.80 |
| ACERO ESTRUCTURAL LOSA D=8mm | kg | 43.89 | 2.00 | 87.78 |
| MASILLADO VIGAS + LOSA 1:5 | m ² | 20.70 | 14.33 | 296.63 |
| PINTURA ANTISOL | m ² | 19.41 | 12.00 | 232.92 |
| ACCESORIOS DESGUE SALIDA DESBORDE | glb | 1.00 | 158.88 | 158.88 |
| ACCESORIOS ENTRADA | glb | 1.00 | 65.56 | 65.56 |
| TUBERIAS, ACCESORIOS Y MOTOR | | | | |
| TUBERÍA ACERO NEGRO 10'' | Und. | 4.00 | 158.42 | 663.68 |
| CONECTOR T | Und. | 2.00 | 91.51 | 183.02 |
| CONECTOR 90° | Und. | 9.00 | 93.78 | 844.02 |
| VÁLVULA COMPUERTA | Und. | 8.00 | 543 | 4344.00 |

| | | | | |
|------------------------|------|------|---------------|--------------------|
| MOTOR TRIFÁSICO 7.5 HP | Und. | 3.00 | 897 | 2691.00 |
| | | | TOTAL: | \$ 55467.64 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Tabla 5 – 3: Costo de instalación y mano de obra

| INSTALACIÓN | COSTO |
|--|----------------|
| Instalación eléctrica, hidráulica y mano de obra. | \$ 7500 |
| TOTAL | \$ 7500 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Tabla 6 – 3: Total de Gastos de Inversión

| GASTOS DE INVERSIÓN | COSTO |
|--|--------------------|
| Equipos y Materiales | \$ 55467.64 |
| Instalación eléctrica, hidráulica y mano de obra. | \$ 7500 |
| TOTAL | \$ 62967.64 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.1.4.2 Gastos de Operación

Tabla 7 – 3: Costo del tratamiento.

| PRODUCTO | Costo/Kg/Producto \$ | DOSIS Kg/m ³ | COSTO \$/m ³ |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carbonato de Calcio 85 % | 0.11 | 2.27 | 0.25 |
| | Dosis Diaria | 11.12 | |
| | Dosis Semanal | 66.74 | |
| | Dosis Mensual | 266.96 | |
| Diariamente se producen 5 m³ de lodo | | | |

| | |
|----------------------|-----------------|
| COSTO DIARIO | \$ 1.25 |
| COSTO SEMANAL | \$ 7.50 |
| COSTO MENSUAL | \$ 30.00 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

Tabla 8 – 3: Total de Gastos de Operación

| GASTOS DE OPERACIÓN | COSTO |
|----------------------------|-------------------|
| Mantenimiento | \$ 350.75 |
| Operadores (2) | \$ 1000.00 |
| Servicios Básicos | \$ 30.00 |
| Tratamiento | \$30.00 |
| TOTAL | \$ 1410.75 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.1.4.3 Costo Total

Tabla 9 – 3: Costo Total

| ITEM | MONTO |
|--------------------|--------------------|
| Gasto de Inversión | \$ 62967.64 |
| Gasto de Operación | \$ 1410.75 |
| Subtotal | \$ 64378.39 |
| Imprevistos (5%) | \$ 3218.92 |
| TOTAL | \$ 67597.31 |

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.2 Análisis y discusión de resultados

3.2.1 Resultados de tratabilidad

3.2.1.1 Tabla de resultados de tratabilidad.

Con los resultados obtenidos, se pudo determinar que el mejor resultado tenemos con el tratamiento a 8 días.

Tabla 10 – 3:Mejor resultado de tratabilidad.

| Muestra | Concentración de Aluminio en lodo sin tratar | pH del lodo sin tratar | Cantidad de Cal suministrada | Concentración de Aluminio en lodo tratado | pH lodo tratado |
|---------|--|------------------------|------------------------------|---|-----------------|
| C1R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.16 | 7.15 |
| C2R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.98 | 7.63 |
| C3R1 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.15 | 8 |
| C1R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.40 | 6.89 |
| C2R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 1.02 | 7.41 |
| C3R2 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.11 | 8.22 |
| C1R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 0.75 | 1.10 | 7.3 |
| C2R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 1.5 | 0.91 | 7.71 |
| C3R3 | 108.91 mg/Kg | 6.63 | 3 | 0.12 | 8.14 |

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos ESPOCH

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

| | |
|--|-----------------|
| | Mejor Resultado |
|--|-----------------|

3.2.1.2 Gráficos de resultados de tratabilidad

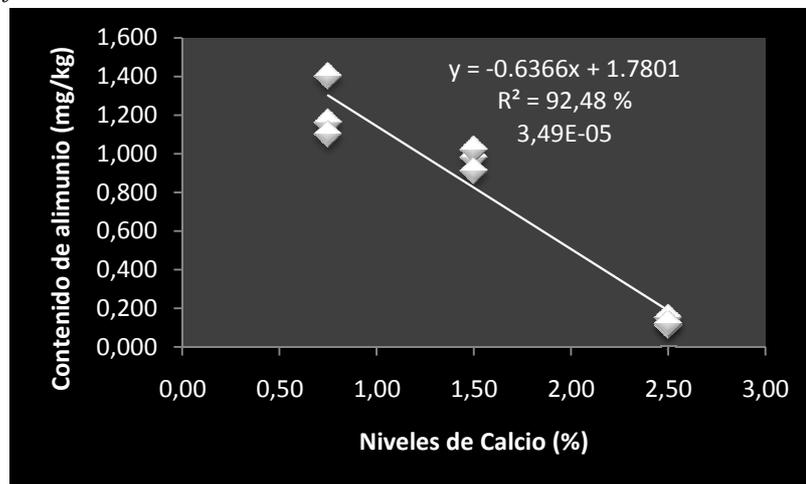


Gráfico 1 - 3Concentración de Al³⁺ vs. Niveles de Carbonato de Calcio

Fuente:Ing. Luis Condo

Elaborado por:Andrés Cerón 2016

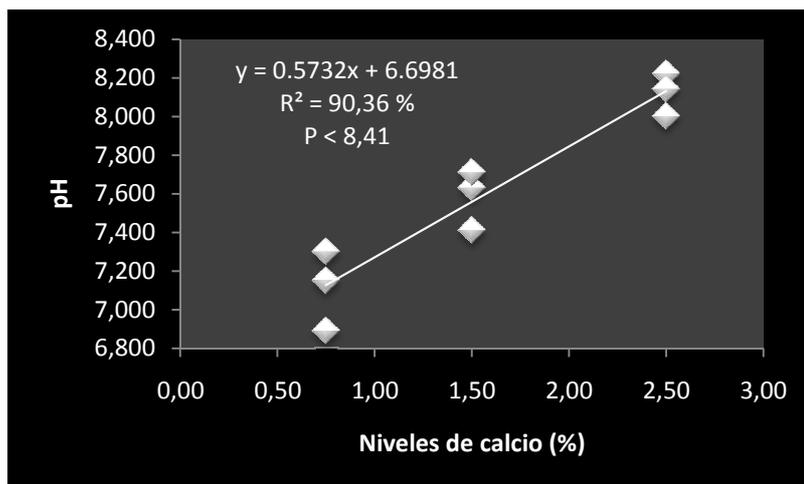


Gráfico 2 - 3 Potencial de Hidrógeno vs. Niveles de Carbonato de Calcio

Fuente: Ing. Luis Condo

Elaborado por: Andrés Cerón 2016

3.2.2 *Análisis y discusión de Resultados*

La Planta de potabilización de Agua Casigana de la EP-EMAPA-A consta de: Recepción de agua y control de caudal, Floculación Mecánica, Pre cloración, Floculación Hidráulica, Sedimentación, Filtración y Cloración. De todos estos procesos como resultado se tiene el agua potabilizada y como sub producto el lodo residual, al cual se le hizo su respectiva caracterización para buscar el tratamiento más óptimo.

Con la visita técnica que se realizó se pudo constatar que todos los procesos de la planta estén con un perfecto funcionamiento y se determinó los pasos de la potabilización en los cuales se genera el lodo residual, siendo estos: la sedimentación y la filtración.

Como el agua que se receipta en la plantaproviene del canal Huachi – Pelileo del río Ambato, esta agua tiene bastante turbiedad, por lo que utilizan una alta concentración de PoliCloruro de Aluminio como floculante, por este motivo, el personal encargado de la planta presumía que el lodo tenía una alta carga de Aluminio, lo cual se comprobó con los análisis de caracterización los cuales nos arrojaron una concentración de 108 mg/Kg de Al^{3+} en el suelo.

En este punto cabe decir que los suelos de Ecuador no tienen problemas de exceso de Aluminio, por tanto fue difícil encontrar información sobre este tema, más específicamente, parámetros en los cuales comparar los resultados de las pruebas de caracterización, es así que el estudio se guió en cuantificaciones encontradas en el “Manual Práctico de Riego” de Mujeriego R. el cual es un autor español. En este manual explica que la concentración permitida para el Aluminio en

el suelo es de 20 mg/Kg, lo que nos dejaba con un problema, el exceso de Al^{3+} que estaba 5 veces más por encima de los parámetros establecidos.

CasierraFanor y Aguilar Oscar en su artículo científico “Estrés por Aluminio en plantas: síntomas en vegetales y posibilidades de corrección” mencionan varios tratamientos para eliminar el exceso de Al^{3+} en el suelo, siendo el más accesible, de menor costo y de alta eficiencia el encalado del suelo, que no es otra cosa que adicionar cal agrícola (Carbonato de Calcio de 85% de pureza) al suelo para aumentar el pH, disminuir el Aluminio intercambiable del lodo y así eliminar la toxicidad de este residuo.

Para las pruebas de tratabilidad con cal realizaron tres tratamientos y tres repeticiones de cada tratamiento, entendiéndose por tratamiento las distintas concentraciones de Carbonato de calcio a aplicar. Se trató al suelo con distintos pesos de cal por cada 0.5 m^3 : 2.5 kg, 1.15 kg y 0.75 kg durante 8 y 15 días como dice la técnica, después se realizó los análisis de caracterización del suelo tratado y los resultados se analizaron de manera estadística de forma que sea mucho más confiable el tratamiento que se escogió y que nos dio el mejor resultado.

Para poder seleccionar el mejor tratamiento analizamos los parámetros de interés que fueron tanto la concentración de Al^{3+} en el suelo y el pH, así fue que con los resultados obtenidos pudimos escoger el tratamiento número 2 de 2.27 kg/m^3 lo que nos dio como efecto una concentración de aluminio de 1.02 mg/Kg y un pH de 7.41 que al compararlo con la literatura, observamos que estaba dentro de norma.

Conociendo el problema y la solución al mismo se pudo realizar el dimensionamiento del sistema de tratamientos, el cual consta de un tanque homogenizador para 6 días (una semana) de producción de lodo, después el lodo almacenado pasará a un segundo tanque (digestor) en el cual se le suministrará manualmente la dosis óptima de Carbonato de Calcio.

En este segundo tanque el lodo permanecerá los ocho días del tratamiento y después el lodo tratado pasará a un tercer tanque en donde reposará durante 3 meses en los cuales se dividirá la fase líquida del lodo y la fase sólida, haciendo mucho más fácil la extracción de la fase líquida la cual pasará a un segundo contenedor donde será tratada para su descarga al sistema de alcantarillado.

La parte sólida pasará a un tanque secador en donde se secará el lodo de manera natural al ambiente durante tres meses antes de que se recepte en este tanque 4 una nueva carga de lodo

para secar. El lodo seco se retirará con payloader y este servirá como relleno de terrenos para la agricultura.

El costo estimado para la construcción, instalación y mantenimiento del sistema de tratamiento es de \$ 67597.31.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización física-química del lodo, donde se determinó que el fango residual de la potabilización de agua presenta una alta carga de Aluminio Intercambiable Al^{3+} lo que se debe a que el agua captada por la planta para potabilizar contiene alta turbiedad y para disminuirla utilizar una gran concentración de Poli Cloruro de Aluminio (PAC). Este proceso nos deja como resultado que la concentración de Al^{3+} se encuentre fuera de los límites permisibles descritos en el Manual Práctico de Riego de Mujeriego R.
- ✓ Se buscaron varias alternativas para las pruebas de tratabilidad encontrando que el tratamiento con Carbonato de Calcio al 85% de pureza (cal agrícola o cal apagada) es el mejor y el de menor costo, solucionando así el problema de la alta concentración de Al^{3+} en el suelo y corrigiendo el pH que estaba dentro de norma pero el suelo tenía una tendencia un poco ácida por lo que fue muy conveniente elevar el pH.
- ✓ Con los resultados de las pruebas de tratabilidad se pudo hacer un correcto dimensionamiento del sistema de tratamiento más óptimo para los lodos residuales, es así que se diseñó de la siguiente manera: Un homogenizador y dos digestores con capacidad de 30 m^3 cada uno, dos contenedores: el primero de 360 m^3 , el segundo de 99.55m^3 ; y un secador con 270 m^3 de capacidad.
- ✓ Como alternativa para la disposición final del lodo residual se plantea: buscar terrenos con poca fertilidad a los cuales el lodo tratado pueda servir como aditivo nutricional para el suelo, es decir, el lodo serviría de relleno para suelos poco fértiles.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar nuevas pruebas de tratabilidad con PAC al ingreso del agua a la planta con el fin de corroborar que la dosificación es la correcta.
- ✓ Se recomienda implementar la planta de tratamiento lo más pronto posible, para mitigar los efectos tóxicos que tiene el Aluminio intercambiable Al^{3+} en el suelo y así que la planta cumpla con todos los parámetros de calidad estipulados en las normas ISO 14000.
- ✓ Contratar servicios profesionales para realizar el debido mantenimiento al sistema de tratamiento, para así alargar la vida útil del mismo.
- ✓ Ser estrictos en la dosificación del carbonato de calcio ya que si se mide mal la cantidad de cal, aplicar la misma puede afectar tanto la concentración de Al^{3+} como el pH.
- ✓ Para los lixiviados producidos en el proceso de separación del lodo tratado, se recomienda la implementación de una piscina humedal artificial en el cual serán sembradas las plantas fitodepuradoras llamadas totoras, las mismas que remediarán el agua, dejándola apta para su disposición final en cuerpos de agua como ríos, acequias, canales o alcantarillado.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION**, Calidad y Tratamiento del Agua., 5a. ed, Madrid – España, Editorial Mc. Graw Hill., 2000., Pp., 47-131.
2. **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**
<http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/Cation-Exchange-Capacity>
2016/06/06
3. **DENSIDAD REAL, APARENTE Y POROSIDAD DEL SUELO**
http://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO
2016/05/16
4. **HENRY, G; & HEINKE, G.**, Ingeniería Ambiental., 2a. ed., México., Prentice Hall., 1999., Pp. 179-183.
5. **LÓPEZ, E.**, Corrección de la acidez: encalado., 1a. ed., España, Reverte., 1995. p 7.
6. **MANUAL DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SUELOS APLICADAS A REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**
<http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/509.pdf>
2016/04/05
7. **MUJERIEGO, R.**, Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada., 3a. ed., Catalunya – España, Universidad Politécnica de Catalunya., 1990. Pp., 112 – 138.
8. **NORDEL, E.**, Tratamiento de Agua para industria y otros usos., México., Compañía Editorial Continental., SA., Pp: 247- 472
9. **SHEPHERD, G.**, Field Guide for Cropping and Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country., 2a. ed., Roma – Italia, Mc. Graw Hill., 2008., p 85.
10. **SKOOG, D; & WEST, D.**, Química Analítica., 6a. ed., México, Mc Graw-Hill., 1995. p 72.

11. **SMITH, J.**, Operaciones básicas de ingeniería química., 2ª. ed, Barcelona – España, Reverte., 1981., Pp., 400-498.

12. **STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATE.**, 11a. ed., México., Pp. 218-221.

ANEXOS

ANEXO A. ANALISIS DE LODO LABORATORIO UNACH ANTES DEL TRATAMIENTO

|  | LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES |  | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|-----------|------|------|-------------|-------|------|----|-------|--|--|
| INFORME DE ANALISIS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOMBRE: Sr. Andrés Cerón | INFORME N°: 019 – 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | N° SE: 019 – 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIRECCIÓN: 24 de Mayo y Alvarado | FECHA DE RECEPCIÓN: 03 – 08 – 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TELÉFONO: | FECHA DE INFORME: 11 – 08 – 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NÚMERO DE MUESTRAS: 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE MUESTRA: Lodo planta de tratamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IDENTIFICACIÓN: MS – 022-15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"><thead><tr><th>Código</th><th>pH</th><th>Carbono (%)</th><th>Conductividad Eléctrica (CE)</th><th>Nitrogeno (N) (mg/kg)</th><th>Fósforo (P) (mg/ kg)</th><th>Potasio (K) (mg/ kg)</th><th>Materia Orgánica (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>MS-022-15</td><td>8,03</td><td>9,41</td><td>239.0 µS/cm</td><td>4,6</td><td>0.22</td><td>32</td><td>16.23</td></tr></tbody></table> | Código | pH | Carbono (%) | Conductividad Eléctrica (CE) | Nitrogeno (N) (mg/kg) | Fósforo (P) (mg/ kg) | Potasio (K) (mg/ kg) | Materia Orgánica (%) | MS-022-15 | 8,03 | 9,41 | 239.0 µS/cm | 4,6 | 0.22 | 32 | 16.23 | | |
| Código | pH | Carbono (%) | Conductividad Eléctrica (CE) | Nitrogeno (N) (mg/kg) | Fósforo (P) (mg/ kg) | Potasio (K) (mg/ kg) | Materia Orgánica (%) | | | | | | | | | | | |
| MS-022-15 | 8,03 | 9,41 | 239.0 µS/cm | 4,6 | 0.22 | 32 | 16.23 | | | | | | | | | | | |
| RESULTADOS DE ANALISIS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"><thead><tr><th>Código</th><th>Cloruros solubles (mg/kg)</th><th>Aluminio (mg/ kg)</th><th>Hierro (mg/ kg)</th><th>Plomo (mg/ kg)</th><th>Humedad (%)</th><th>Densidad Real (DR) (g/cm3)</th></tr></thead><tbody><tr><td>MS-022-15</td><td>26.2</td><td>73,1</td><td>0,61</td><td>0,06</td><td>87,40</td><td>1,02</td></tr></tbody></table> | Código | Cloruros solubles (mg/kg) | Aluminio (mg/ kg) | Hierro (mg/ kg) | Plomo (mg/ kg) | Humedad (%) | Densidad Real (DR) (g/cm3) | MS-022-15 | 26.2 | 73,1 | 0,61 | 0,06 | 87,40 | 1,02 | | | | |
| Código | Cloruros solubles (mg/kg) | Aluminio (mg/ kg) | Hierro (mg/ kg) | Plomo (mg/ kg) | Humedad (%) | Densidad Real (DR) (g/cm3) | | | | | | | | | | | | |
| MS-022-15 | 26.2 | 73,1 | 0,61 | 0,06 | 87,40 | 1,02 | | | | | | | | | | | | |
| RESPONSABLES DEL ANÁLISIS: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dr. Juan Carlos Lara R. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  Dr. Juan Carlos Lara R. TECNICO L.S.A.  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <small>-Los resultados de este informe corresponden unicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.</small> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Página 1 de 1 | | FMC2101-01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.S.A. Campus Máster Edison Kiera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO B. ANALISIS DE LODO LABORATORIO ESPOCH ANTES DEL TRATAMIENTO

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés David Cerón Burgos

Fecha de Análisis: 07/12/2015

Tipo de muestras: Lodo Residual

Localidad: Planta de Potabilización de Agua Casigana.

Análisis Químico

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| pH | Und. | 4500-B | 6.63 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.02 |
| Conductividad | μSiems/cm | 2510-B | 318 |
| Sólidos Disueltos | mg/L | 2540-D | 215 |
| Cloruros | mg/Kg | 4500-Cl-B | 31.91 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 108.91 |

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS



ANEXO C. ANALISIS DE BASES EN LA MUESTRA DE LODO

| | | |
|---|--|--|
|  | CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL | LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE |
| | DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA) Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183 | ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008 |

INFORME DE ENSAYO No: 372
ST: 15 16 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: EP-EMAPA-A
Atn. Andrés Cerón
Dirección: 24 de Mayo y Alvarado
 Riobamba - Chimborazo

FECHA: 08 de Abril del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/03/28 - 10:34
FECHA DE MUESTREO: 2016/03/26 - 09:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/03/28 - 2016/04/08
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-S 034-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Tanque de lodos residuales de planta de potabilización de agua
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Andrés Cerón
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

| PARÁMETROS | MÉTODO /NORMA | UNIDAD | RESULTADO | INCERTIDUMBRE (k=2) | VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■) |
|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------|---------------------|-----------------------------|
| *Potasio | EPA 3050B-3051A/7610 | mg/Kg | 259,30 | - | - |
| *Calcio | EPA 3050B-3051A/7520 | mg/Kg | 245,38 | - | - |
| *Magnesio | EPA 3050B-3051A/7450 | mg/Kg | 1326,60 | - | - |
| *Sodio | EPA 3050B-3051A/7770 | mg/Kg | 640,06 | - | - |
| Potencial de Hidrógeno | PEE/LABCESTTA/24 EPA 9045 D | Unidades de pH | 6,92 | ±0,4 | - |

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
 E INSPECCION
 LAB - CESTTA
 ESPOCH

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
 MC01-23

Página 1 de 1
 Edición 1

ANEXO D. ANALISIS DE LODO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO A 8 DIAS

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS

Análisis solicitado por: Andrés David Cerón Burgos

Tipo de muestras: Lodo residual de potabilización de la EP-EMAPA-A

Localidad: Planta de Potabilización de Agua Casigana. Ambato

TRABAJO DE TITULACIÓN

MUESTRA 1-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.15 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.16 |

MUESTRA 2-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.63 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.55 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.98 |

MUESTRA 3-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 8 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.55 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.15 |

MUESTRA 4-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 6.89 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.40 |

MUESTRA 5-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.41 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.53 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.02 |

MUESTRA 6-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|----------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 8.22 |
| Densidad Real | g/cm3 | MS 022 | 1.53 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.11 |

MUESTRA 7-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|----------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.3 |
| Densidad Real | g/cm3 | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.10 |

MUESTRA 8-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|----------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.71 |
| Densidad Real | g/cm3 | MS 022 | 1.53 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.91 |

MUESTRA 9-8

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|----------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 8.14 |
| Densidad Real | g/cm3 | MS 022 | 1.55 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.12 |

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.


ESPOCH 
Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ANEXO E. ANALISIS DE LODO DESPUES DEL TRATAMIENTO A 15 DIAS

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS

Análisis solicitado por: Andrés David Cerón Burgos

Tipo de muestras: Lodo residual de potabilización de la EP-EMAPA-A

Localidad: Planta de Potabilización de Agua Casigana. Ambato

TRABAJO DE TITULACIÓN

MUESTRA 1-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.02 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.53 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.05 |

MUESTRA 2-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.11 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 1.037 |

MUESTRA 3-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.83 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.023 |

MUESTRA 4-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.54 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.53 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.66 |

MUESTRA 5-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.71 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.55 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.19 |

MUESTRA 6-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 8.12 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.55 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.054 |

MUESTRA 7-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.63 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.29 |

MUESTRA 8-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 7.9 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.11 |

MUESTRA 9-15

| Determinaciones | Unidades | *Método | Resultados |
|-----------------|-------------------|---------|------------|
| pH | Und. | 4500-B | 8 |
| Densidad Real | g/cm ³ | MS 022 | 1.54 |
| Aluminio | mg/Kg | Hach 10 | 0.057 |

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ANEXO F. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODO



ANEXO G. TABLA DE LÍMITES DE MICROELEMENTOS EN EL SUELO SEGÚN MUJERIEGO R.

De la siguiente tabla los valores:

La columna **A** constituyen los límites en mg/L a los que se deberían esperar efectos desfavorables en las plantas o en el suelo, cuando una zona determinada se riega con agua de esta calidad.

La columna **B** se refiere a las concentraciones máximas permisibles en mg/Kg que estos compuestos pueden tener en el suelo (textura fina y pH 6.0-8.5).

| MICROELEMENTO | A | B | OBSERVACIONES |
|---------------|------|------|---|
| Aluminio | 5.0 | 20.0 | Puede provocar falta de productividad en suelos ácidos, pH <5.5, aunque suelos más alcalinos precipitaran el ion y eliminaran cualquier toxicidad. |
| Arsénico | 0.1 | 2.0 | Su fitotoxicidad varía ampliamente, entre 12 mg/ l para la hierba del Sudán hasta menos de 0.5 mg/ l para el arroz. |
| Berilio | 0.1 | 0.5 | Su fitotoxicidad varía ampliamente entre 5 mg/ l para la col rizada hasta 0.5 mg/ l para las judías verdes. |
| Cadmio | 0.01 | 0.05 | Es tóxico para las judías, la remolacha y los nabos a concentraciones tan bajas como 0.1 mg/ l en disolución. Los límites recomendados son conservadores debido a su capacidad para acumularse en el suelo y en las plantas hasta concentraciones que pueden ser perjudiciales para las personas. |
| Cobalto | 0.05 | 5.0 | Es tóxico para la planta del tomate a una concentración de 0.1 mg/ l en disolución. Suele ser inactivado por suelos neutros o alcalinos. |
| Cromo | 0.1 | - | No está considerado como un elemento esencial para el crecimiento. Los límites recomendados son conservadores debido a los escasos conocimientos sobre su fitotoxicidad. |
| Cobre | 0.2 | 15.0 | Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0.1 y 1.0 mg/ l en disolución. |
| Flúor | 1.0 | 15.0 | Es inactivado por suelos neutros o alcalinos. |
| Hierro | 5.0 | 20.0 | No es tóxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y a la disminución del fósforo y molibdeno, elementos esenciales para las plantas. El riego por aspersión elevado puede dar lugar a depósitos desagradables en las plantas, los equipos y los edificios. |
| Litio | 2.5 | 2.5 | Es tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/ l; es un elemento móvil en el suelo. Es tóxico para los cítricos a concentraciones superiores a 0.075 mg/ l. Actúa de forma similar al boro. |

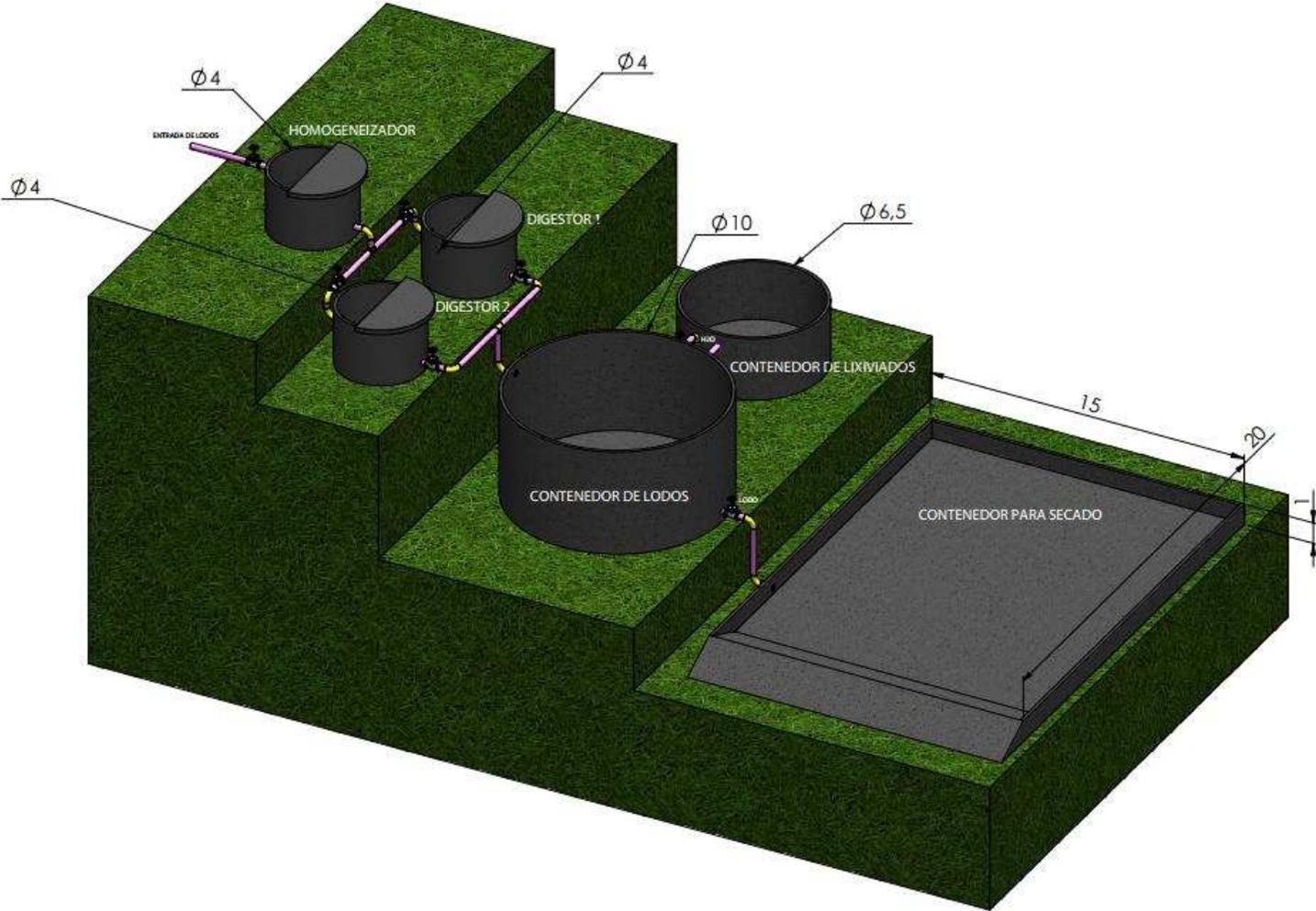
| | | | |
|------------------|------|------|---|
| Manganeso | 0.2 | 10.0 | Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre unas décimas y unos miligramos por litro, aunque principalmente en suelos ácidos. |
| Molibdeno | 0.01 | 0.05 | No es tóxico para las plantas a las concentraciones normalmente presentes en el suelo y en el agua. Puede ser tóxico para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con elevadas concentraciones de Molibdeno disponible. |
| Níquel | 0.2 | 0.2 | Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0.5 y 1.0 mg/ l; su toxicidad disminuye a pH neutro o alcalino. |
| Plomo | 5.0 | 10.0 | Puede inhibir el crecimiento de las células vegetales a concentraciones muy elevadas. |
| Selenio | 0.02 | 0.02 | Es tóxico para las plantas a concentraciones tan pequeñas como 0.025 mg/ l, y para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con niveles relativamente alto en selenio añadido. Es un elemento esencial para el crecimiento de los animales, pero en concentraciones muy pequeñas. |
| Estaño | - | - | Las plantas lo rechazan de forma eficaz; su tolerancia específica es desconocida. |
| Titanio | - | - | Comportamiento similar al estaño. |
| Tungsteno | - | - | Comportamiento similar al estaño. |
| Vanadio | 0.1 | 1.0 | Es tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas. |
| Zinc | 2.0 | 10.0 | Es tóxico para muchas plantas a concentraciones muy variables; su toxicidad disminuye a pH > 6.0 y en suelos con textura fina o de carácter orgánico. |

ANEXO H. TULSMA LIBRO VI ANEXO 2 TABLA 2

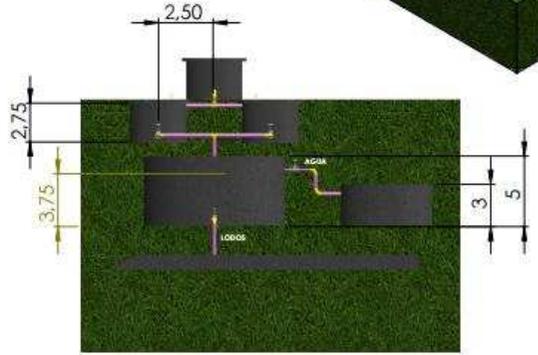
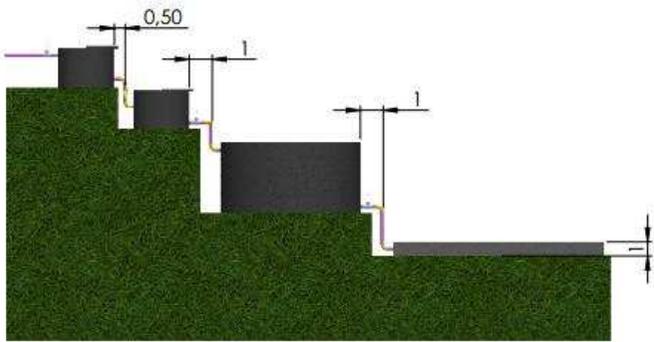
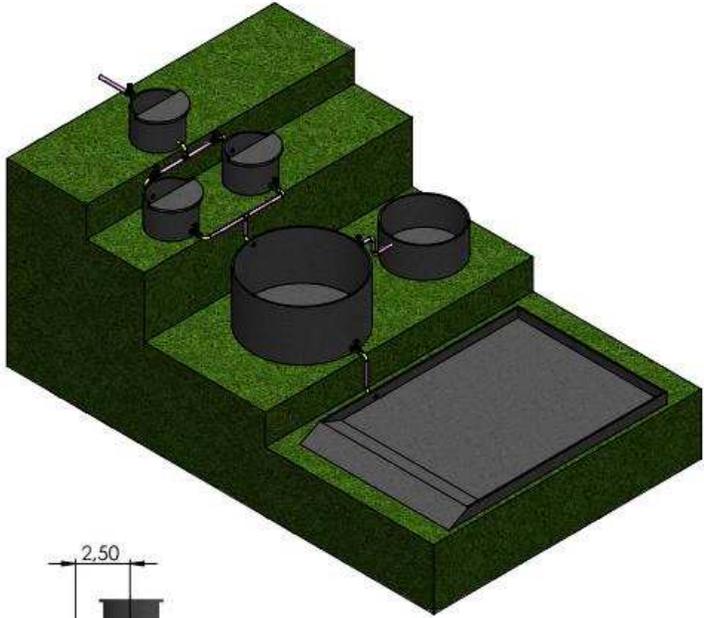
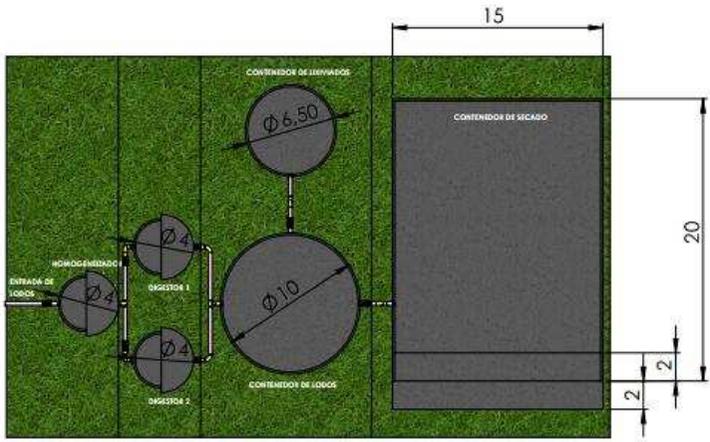
Tabla 2
Crterios de Calidad de Suelo

| Sustancia | Unidades (Concentraci3n en Peso Seco) | Suelo |
|---------------------------------------|---|-------|
| Parámetros Generales | | |
| Conductividad | mmhos/cm | 2 |
| pH | | 6 a 8 |
| Arsénico (inorgánico) | mg/kg | 5 |
| Azufre (elemental) | mg/kg | 250 |
| Bario | mg/kg | 200 |
| Boro (soluble en agua caliente) | mg/kg | 1 |
| Cadmio | mg/kg | 0.5 |
| Cobalto | mg/kg | 10 |
| Cobre | mg/kg | 30 |
| Cromo Total | mg/kg | 20 |
| Cromo VI | mg/kg | 2.5 |
| Cianuro (libre) | mg/kg | 0.25 |
| Estaño | mg/kg | 5 |
| Flúor (total) | mg/kg | 200 |
| Mercurio | mg/kg | 0.1 |
| Molibdeno | mg/kg | 2 |
| Níquel | mg/kg | 20 |
| Plomo | mg/kg | 25 |
| Selenio | mg/kg | 1 |
| Vanadio | mg/kg | 25 |
| Zinc | mg/kg | 60 |
| Parámetros Orgánicos | | |
| Benceno | mg/kg | 0.05 |
| Clorobenceno | mg/kg | 0.1 |
| Etilbenceno | mg/kg | 0.1 |
| Estireno | mg/kg | 0.1 |
| Tolueno | mg/kg | 0.1 |
| Xileno | mg/kg | 0.1 |
| PCBs | mg/kg | 0.1 |
| Clorinados Alifáticos (cada tipo) | mg/kg | 0.1 |
| Clorobencenos (cada tipo) | mg/kg | 0.05 |
| Hexaclorobenceno | mg/kg | 0.1 |
| hexaclorociclohexano | mg/kg | 0.01 |
| Fenólicos no clorinados (cada tipo) | mg/kg | 0.1 |
| Clorofenoles (cada tipo) | mg/kg | 0.05 |
| Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos | mg/kg | 0.1 |

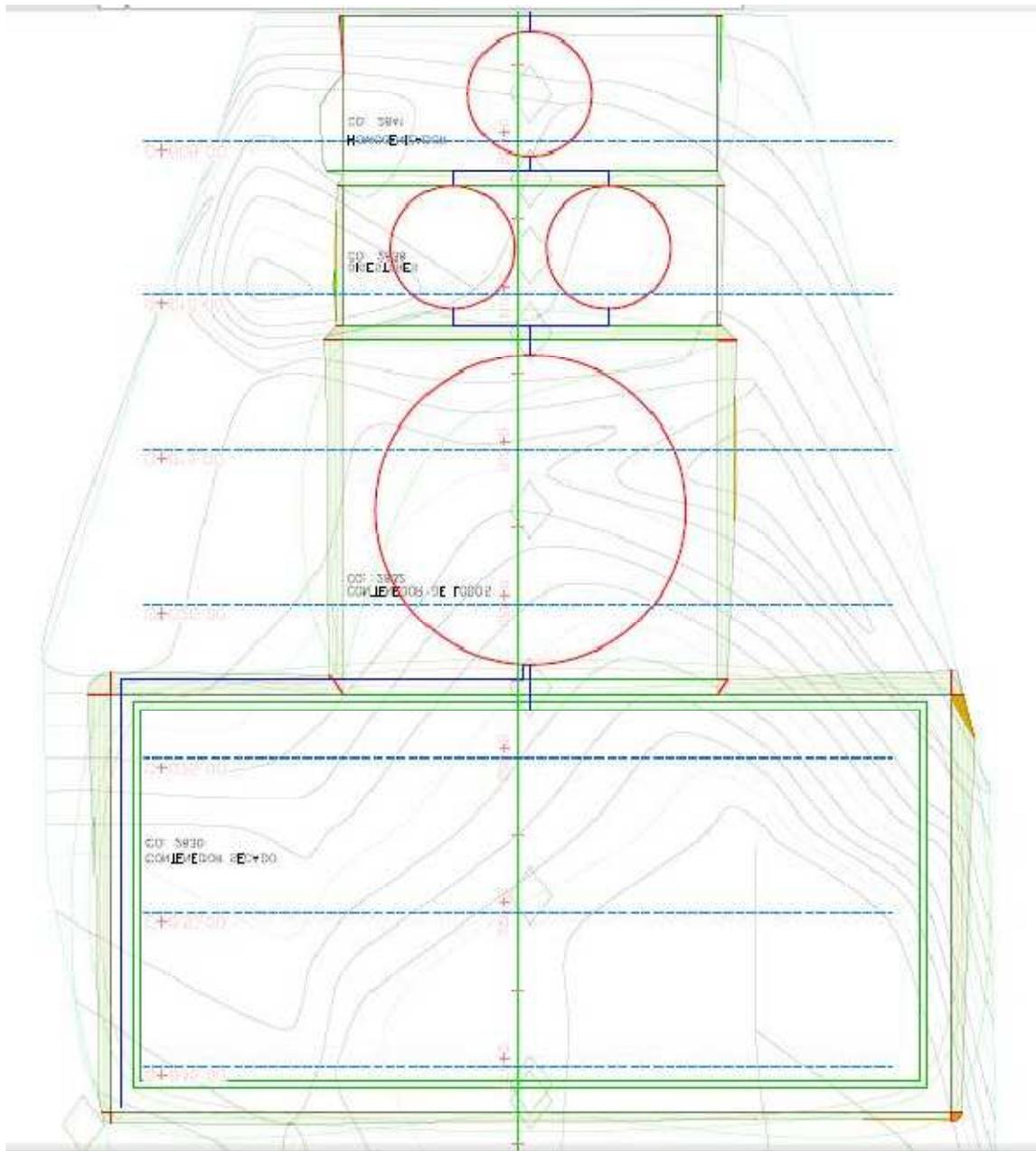
ANEXO I. ESQUEMA EN 3D DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODO



ANEXO J. VISTAS DE LA PANTA DE TRATAMIENTO DE LODO



ANEXO K. ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODO EN EL TERRENO



ANEXO LCOTAS TOMADAS PARA REALIZAR EL PERFIL DEL TERRENO

| Point Table | | | | |
|-------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| Point # | Elevation | Northing | Easting | Description |
| 1 | 2843.00 | 9858902.00 | 762402.00 | P1 |
| 2 | 2843.00 | 9858902.00 | 762412.00 | P2 |
| 3 | 2836.00 | 9858948.00 | 762403.00 | P3 |
| 4 | 2833.00 | 9858951.00 | 762418.00 | P4 |
| 5 | 2839.00 | 9858923.00 | 762399.00 | P5 |
| 6 | 2840.00 | 9858917.00 | 762418.00 | P6 |
| 7 | 2838.00 | 9858917.00 | 762409.00 | P7 |
| 8 | 2843.00 | 9858911.00 | 762402.00 | P8 |
| 9 | 2839.00 | 9858914.00 | 762418.00 | P9 |
| 10 | 2841.00 | 9858911.00 | 762409.00 | P10 |
| 11 | 2836.00 | 9858932.00 | 762403.00 | P11 |
| 12 | 2833.00 | 9858929.00 | 762418.00 | P12 |
| 13 | 2835.00 | 9858932.00 | 762403.00 | P13 |
| 14 | 2835.00 | 9858938.00 | 762403.00 | P14 |
| 15 | 2833.00 | 9858935.00 | 762418.00 | P15 |
| 16 | 2834.00 | 9858935.00 | 762406.00 | P16 |
| 17 | 2839.00 | 9858911.00 | 762399.00 | P17 |
| 18 | 2839.00 | 9858914.00 | 762402.00 | P18 |
| 19 | 2840.00 | 9858905.00 | 762402.00 | P19 |
| 20 | 2841.00 | 9858905.00 | 762412.00 | P20 |
| 21 | 2841.00 | 9858902.00 | 762402.00 | P21 |
| 22 | 2832.00 | 9858951.34 | 762402.86 | P22 |
| 23 | 2832.00 | 9858951.51 | 762400.15 | P23 |
| 24 | 2843.00 | 9858902.11 | 762418.92 | P24 |
| 25 | 2839.00 | 9858927.29 | 762425.48 | P25 |
| 26 | 2839.00 | 9858923.05 | 762395.08 | P26 |
| 27 | 2835.70 | 9858929.98 | 762395.21 | P27 |
| 28 | 2836.80 | 9858927.89 | 762403.94 | P28 |
| 29 | 2833.40 | 9858931.74 | 762422.35 | P29 |
| 30 | 2832.71 | 9858946.37 | 762425.80 | P30 |

ANEXO M. DISPOSICIÓN DE LA PLANTA RESPECTO AL PERFIL DEL TERRENO



