



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN MEDIO AMBIENTE.**

**TEMA:**

**ESTABILIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA  
POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP EN LA ESTANCILLA,  
MEDIANTE COMPOSTAJE.**

**AUTORES:**

**JAIME HUMBERTO LÓPEZ ESPINOZA.  
JONATHAN GABRIEL RIVAS CEVALLOS**

**TUTOR:**

**ING. CARLOS SOLORZANO**

**Calceta, Septiembre del 2013**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Jaime Humberto López Espinoza y Jonathan Gabriel Rivas Cevallos, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento

---

**JAIME H. LÓPEZ ESPINOZA**

---

**JONATHAN G. RIVAS CEVALLOS**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**ING. CARLOS SOLÓRZANO** certifico haber tutelado la tesis **ESTABILIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP EN LA ESTANCILLA, MEDIANTE COMPOSTAJE**, que ha sido desarrollada por Jaime Humberto López Espinoza y Jonathan Gabriel Rivas Cevallos, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. CARLOS SOLÓRZANO  
**TUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **ESTABILIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP EN LA ESTANCILLA, MEDIANTE COMPOSTAJE**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Jaime Humberto López Espinoza y Jonathan Gabriel Rivas Cevallos, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

---

Ing. Manuel Saltos Giler M. Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Carlos Villafuerte V.  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

---

Ing. Juan Luis Rodríguez Ph. D  
**SECRETARIO DEL TRIBUNAL**

## AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro creador por habernos dado la fe, la salud, la sabiduría y la perseverancia para culminar esta meta.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día; y

A nuestros padres por todo el apoyo brindado en nuestra vida universitaria.

---

**JAIME H. LÓPEZ ESPINOZA**

---

**JONATHAN.G RIVAS CEVALLOS**

## **DEDICATORIA**

Después de culminar otra etapa crucial en la formación de mi vida, quiero dedicar el presente trabajo como una muestra de haber alcanzado una de mis metas propuestas.

A mi Madre puesto que constituyen el pilar fundamental de mi existencia, por su amor, cariño, apoyo, comprensión, sacrificio y entrega total que me proporciona día a día, por infundir con perseverancia en mi mente el deseo de superación teniendo presente siempre los valores primordiales que todo ser humano debe poseer a cada paso de la vida.

---

**JAIME H. LÓPEZ ESPINOZA**

## **DEDICATORIA**

Este ha sido un camino de grandes retos y con muchos obstáculos, pero gracias a la ayuda de mis padres he logrado superarlos.

En esta oportunidad realizo esta dedicatoria a ellos, por ser la fuente de inspiración y un digno ejemplo a seguir en todo momento, dando siempre esas palabras de estímulo, sabiduría, entendimiento y apoyo para seguir siempre adelante con el objetivo propuesto.

---

**JONATHAN G. RIVAS CEVALLOS**

## CONTENIDO GENERAL

|   |      |
|---|------|
| CARATULA.....   | i    |
| DERECHOS DE AUTORÍA.....  | ii   |
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....   | iii  |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....                                       | iv   |
| AGRADECIMIENTO .....  | v    |
| DEDICATORIA .....   | vi   |
| DEDICATORIA .....   | vii  |
| CONTENIDO .....   | viii |
| CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS y FORMULAS.....                       | xi   |
| RESUMEN.....  | xii  |
| SUMARY.....   | xii  |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....                                       | 1    |
| 1.1.PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                   | 2    |
| 1.2.JUSTIFICACIÓN.....  | 3    |
| 1.3.OBJETIVOS.....  | 4    |
| 1.3.1.OBJETIVO GENERAL.....   | 4    |
| 1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                    | 4    |
| 1.4.HIPÓTESIS.....  | 5    |
| 2.1-MARCO CONCEPTUAL.....   | 6    |
| 2.1.1- LODOS GENERADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....           | 7    |
| 2.1.2- ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.....                   | 8    |
| 2.1.3- CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.....                            | 8    |
| 2.1.4.- RAZÓN DE LA REDUCCIÓN DE VOLUMEN.....                       | 9    |
| 2.2- ESTABILIZACIÓN DE LODOS.....                                   | 9    |
| 2.2.1-ESTABILIZACIÓN.....   | 10   |
| 2.2.2- ESTABILIZACIÓN CON CAL.....                                  | 11   |
| 2.2.3- PRETRATAMIENTO CON CAL.....                                  | 12   |
| 2.2.4- COMPOSTAJE.....  | 13   |
| 2.2.5- FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....       | 13   |
| 2.2.5.1- TEMPERATURA.....   | 14   |
| 2.2.5.2- HUMEDAD.....   | 15   |
| 2.2.5.3- pH.....  | 16   |
| 2.2.5.4- AIREACIÓN.....   | 16   |
| 2.2.5.5- RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO.....                            | 16   |
| 2.3- TÉCNICAS DE COMPOSTAJE.....                                    | 17   |
| 2.3.1- COMPOSTAJE EN PILAS ESTÁTICAS.....                           | 17   |
| 2.3.2- COMPOSTAJE EN PILAS ESTÁTICAS AIREADAS.....                  | 17   |
| 2.3.3- COMPOSTAJE EN PILAS DE VOLTEO.....                           | 17   |
| 2.4- MARCO REFERENCIAL.....   | 15   |
| 2.4.1- LODOS RESIDUALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA..... | 18   |



|   |    |
|---|----|
| 2.4.2- MEJORAMIENTO DEL POTENCIAL AGRÍCOLA DE LODOS DIGERIDOS ANAERÓBICAMENTE CON EL USO DE CAL.....  | 19 |
| 2.4.3- USO DE LODOS DIGERIDOS PROCEDENTES DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.....   | 20 |
| 2.4.4- DETERMINACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS LODOS GENERADOS POR UNA PLANTA POTABILIZADORA.....  | 20 |
| 2.4.5- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....   | 22 |
| 2.4.6- FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....  | 23 |
| 2.4.6.1- LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (Emitida por la Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental)..... | 23 |
| 2.4.6.2- NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.....   | 23 |
| 2.4.7- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE USO PECUARIO.....   | 25 |
| 2.4.8- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA CON FINES RECREATIVOS.....  | 26 |
| CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO.....  | 25 |
| 3.1.- UBICACIÓN.....  | 27 |
| 3.2- DURACIÓN DEL TRABAJO.....  | 27 |
| 3.3- VARIABLES.....   | 27 |
| 3.3.1-VARIABLE INDEPENDIENTE.....   | 27 |
| 3.3.1.1- VARIABLE DEPENDIENTE.....  | 27 |
| 3.3.1.2- FACTOR EN ESTUDIO.....   | 27 |
| 3.3.1.3- TRATAMIENTOS.....  | 28 |
| 3.3.1.4- DISEÑO EXPERIMENTAL.....   | 29 |
| 3.3.1.5- INDICADORES A MEDIR.....   | 30 |
| 3.3.1.6 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....   | 32 |
| 3.5- PROCEDIMIENTOS.....  | 33 |
| 3.6.1- TÉCNICAS Y MÉTODOS.....  | 40 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 41 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 51 |
| 5.1-CONCLUSIONES.....   | 55 |
| 5.2-RECOMENDACIONES.....  | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 60 |
| ANEXOS.....   | 65 |

## **CONTENIDO DE TABLAS, CUADROS, FIGURAS Y FÓRMULAS**

### **CONTENIDOS DE TABLAS**

|   |   |
|---|---|
| TABLA 2.1 Características de lodos de sulfato de aluminio | 8 |
| TABLA 2.2 Lodos tipos de Ablandamiento                    | 8 |

### **CONTENIDOS DE CUADROS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 2.1</b> Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola   | 22 |
| <b>CUADRO 2.2</b> .Criterios de calidad para aguas de uso pecuario   | 23 |
| <b>CUADRO 2.3</b> .Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos  | 24 |
| <b>CUADRO 2.4</b> Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario  | 24 |
| <b>CUADRO 3.1</b> COORDENADAS DE LA PLANTA EMAARS EP   | 25 |
| <b>CUADRO 3.2</b> DISEÑO EXPERIMENTAL  | 28 |
| <b>Cuadro 3.3</b> Esquema del anova en DBCA (anova de 2 vías)  | 29 |
| <b>Cuadro 3.4</b> Control de temperatura y pH  | 29 |
| <b>Cuadro 3.5</b> Análisis de varianza   | 29 |
| <b>Cuadro 3.6</b> Control del pH   | 30 |
| <b>Cuadro 3.7</b> Análisis de varianza de pH   | 30 |
| <b>Cuadro 3.8</b> Composición de tratamientos  | 34 |
| <b>Cuadro 3.9</b> Composición de las Camas   | 36 |
| <b>Cuadro 3.10</b> Complementos para el compost  | 37 |
| <b>CUADRO 4.1</b> DETERMINACIÓN DE TEXTURA   | 41 |
| <b>CUADRO 4.2</b> DETERMINACIÓN del % de limo+arcilla  | 41 |
| <b>CUADRO 4.3</b> DETERMINACIÓN del % de limo+arcilla 2 <sup>da</sup> muestra  | 42 |
| <b>CUADRO 4.4</b> PORCENTAJE DE LIMO   | 42 |
| <b>CUADRO 4.5</b> PORCENTAJE DE ARENA  | 42 |
| <b>CUADRO 4.6</b> Tabla de resultados de los análisis realizados por el Laboratorio “Lixiviados y Gases Consorcio ILM Las Iguanas” de la ciudad de Guayaquil   | 44 |
| <b>CUADRO 4.7</b> Comparación de resultados obtenidos con las tablas de límites máximos permisibles del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), para los distintos usos del agua | 45 |
| <b>CUADRO 4.8</b> Día # 1  | 46 |
| <b>CUADRO 4.9</b> Día # 2  | 48 |
| <b>CUADRO 4.10</b> Día # 3   | 49 |
| <b>CUADRO 4.11</b> Día # 4   | 50 |
| <b>CUADRO 4.12</b> Día # 5   | 51 |
| <b>CUADRO 4.13</b> control de temperatura y sus repeticiones   | 52 |
| <b>CUADRO 4.14</b> Análisis de Varianza temperatura  | 52 |
| <b>CUADRO 4.15</b> Control del pH  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| <b>CUADRO 4.16</b> Análisis DE VARIANZA AL ph  | 53 |
| <b>CUADRO 4.17</b> Análisis realizados por el laboratorio “LIXIVIADOS Y GASES<br>CONSORCIO ILM LAS IGUANAS                           |    |
| <b>CUADRO 4.18</b> Resultado control de los indicadores temperatura ph y relación<br>carbono nitrógeno en la elaboración del compost | 56 |
| <br><b>CONTENIDOS DE FIGURAS</b>   |    |
| <b>FIGURA 4.1</b> Triangulo de textura   | 41 |
| <br><b>CONTENIDOS DE GRÁFICOS</b>  |    |
| <b>Grafico 4.1</b> DETERMINACIÓN DE TEXTURA  | 41 |
| <b>Grafico 4.2</b> DETERMINACIÓN del % de limo+arcilla   | 44 |
| <b>Grafico 4.3</b> Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 1   | 47 |
| <b>Grafico 4.3</b> Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 2   | 48 |
| <b>Grafico 4.4</b> Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 3   | 49 |
| <b>Grafico 4.5</b> Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 4   | 50 |
| <b>Grafico 4.6</b> Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 5   | 51 |
| <br><b>CONTENIDOS DE FÓRMULAS</b>  |    |
| 3.1 Fórmula para calcular el coeficiente variación de la temperatura   | 30 |
| 3.2 Fórmula para calcular el coeficiente variación del pH  | 31 |
| 3.3 Fórmula para calcular la prueba de tukey   | 31 |
| 3.4 Fórmula para calcular la prueba de tukey (temperatura)   | 31 |
| 3.5 Fórmula para calcular la prueba de tukey (Sy)  | 31 |
| 3.6 Fórmula para calcular la prueba de tukey (pH)  | 32 |
| 3.7 Fórmula para calcular la prueba de tukey (Sy)  | 32 |
| 3.7 Fórmula para calcular la R. C. N.  | 38 |
| 3.7 Fórmula para calcular el porcentaje de Materia orgánica  | 38 |

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue buscar la dosis adecuada para estabilizar los lodos generados en los sedimentadores, de la planta potabilizadora de agua, La Estancilla-Manabí para elaborar compost orgánico, lo cual reducirá el foco de contaminación que se está causando en la cuenca del río Carrizal; para lo que se previó implementar un diseño de bloques completamente al azar con Intervalos de secuencia [20%(4:1), 40%(3:2), 60%(2:3), y 80%(1:4)] en las mezclas de lodo y cal respectivamente con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados de los objetivos indicaron inicialmente en su caracterización que el tipo de material generado en los sedimentadores es franco-limoso, dentro de los análisis químicos del lodo previo a estabilizar, se determinó que los parámetros químicos del lodo como son los metales (aluminio, cadmio, plomo y mercurio) exceden los límites máximos permisibles para descargas de aguas hacia un cuerpo receptor como los indica el TULAS, e igual sucede con los análisis bacteriológicos; para la estabilización de los lodos la dosis idónea fue la del 20% (4kg de lodo y 1 kg de cal) por que la disminución de temperatura a lo largo del proceso ayuda a la estabilización y el aumento del pH superiores a 12 permite reducir agentes patógenos, no obstante la reducción de metales pesados no alcanzó niveles significativos, aunque en los análisis microbiológicos fue altamente efectivo en la reducción de coliformes. Se determinó que, se puede elaborar compost orgánico, a partir del lodo generado en los sedimentadores previa estabilización aunque los niveles de metales pesados fueron muy elevados.

## PALABRAS CLAVES

Lodos, estabilización, sedimentador, permisible, compost orgánico

## **SUMMARY**

The purpose of this research was to find the right dose to stabilize the sludge generated by the settlers, the water treatment plant, The Estancilla-Manabi to make organic compost, which will reduce the source of pollution that is causing Basin Carrizal river, for what was planned to implement a complete block design with random sequence intervals [20% (4:1), 40% (3:2), 60% (2:3) and 80% (1 : 4)] in the lime mud mixtures respectively with four replicates per treatment. The results of the objectives initially indicated in his characterization that the type of material generated in the settlers is silt loam, in chemical analysis of the sludge prior to stabilization, we determined that the sludge chemical parameters such as metals (aluminum, cadmium, lead and mercury) exceeding the maximum permissible limits for discharges to a receiving body as indicating the TULAS, and the same goes for bacteriological analysis, for stabilization of sludge suitable dose was 20% (4kg mud and 1 kg of lime) because the temperature drop along the stabilization process helps to increase pH and greater than 12 to reduce pathogens, despite the reduction of heavy metals not reach significant levels, although in microbiological analysis was highly effective in reducing coliform. It was determined that can produce organic compost, from sludge generated in the following stabilization settlers although heavy metal levels were very high.

## **KEY WORDS**

Sludge stabilization, sedimentation, Permissible, Organic Compost.

## I. ANTECEDENTES

En el mundo, la utilización de los lodos residuales va en ascenso pues existen varias alternativas: recuperación de los aditivos colocados en el proceso de coagulación, mejorador de las propiedades del suelo, ya que puede reemplazar parcialmente el uso de fertilizantes comerciales, además de favorecer la asimilación de nutrientes incrementando la retención de agua. Esta es una alternativa tanto económica como ecológica de grandes beneficios, que puede contribuir en gran medida al saneamiento del entorno en el lugar de trabajo, ayudando así a disminuir los efectos nocivos que estos lodos producen al ser dispuestos a la intemperie (Mujica, et.al., 2009).

En el Ecuador existen un sin número de plantas potabilizadoras de agua, las mismas que generan una gran cantidad de lodos residuales que son almacenados y descargados a los ríos produciendo la contaminación del ecosistema.

En la actualidad existe un mayor interés en la conservación del medio ambiente, es así que la Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ha emitido leyes y normativas, como el Art. 16 de la LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL que prohíbe “descargar sin sujetarse a las correspondientes normas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos las aguas residuales que contengan contaminación que sean nocivas a la salud humana, a la fauna y a las propiedades”(AIDIS, 2009).

La EMAARS “EP”, situada en la Parroquia Ángel Pedro Giler “La Estancilla” de la provincia de Manabí, la planta potabilizadoras de agua generan una gran cantidad de lodos provenientes del proceso de potabilización, donde el volumen de dichos lodos representa una gran cantidad de sólidos y de reactivos adicionados, tal es el caso del policloruro de aluminio que, por sus componentes como son las sales de aluminio, puede afectar en la mayoría de los casos a los suelos ácidos, ya que las altas

concentraciones de Aluminio en la solución del suelo, puede inhibir la absorción de calcio y magnesio por parte de las plantas (Bernier, et. al, 2006).

Con este documento entonces se busca ofrecer una alternativa que permita entender la problemática y abrir las puertas a las posibles soluciones con respecto al manejo de este tipo de residuos de una manera adecuada y amigable con el medio ambiente tomando como base los recursos existentes y la información resultado de las investigaciones realizadas.

### **1.1.1.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Lo expuesto permite formular la siguiente interrogante: ¿Cómo estabilizar los lodos generados en los sedimentadores en la planta potabilizadora EMAARS- EP mediante compostaje?

## 1.2.-JUSTIFICACIÓN

Las empresas potabilizadoras de agua no tienen un mecanismo para la utilización o biorremediación de los lodos residuales, por esta razón es importante buscar opciones para su uso ya que en la actualidad su disposición final se realiza básicamente en rellenos sanitarios o sobre cuerpos de agua, causando un alto impacto en el ambiente dada su naturaleza química (Hernández, et.al., 2006).

En Ecuador no se registran muchos estudios realizados de este tipo, por lo que urge tener mayor conocimiento sobre la situación actual en la mayoría de las plantas potabilizadoras de agua del país respecto al envío de sus vertidos fangosos directamente a cuerpos receptores de agua sin ningún tipo de tratamiento previo, afectando de esta manera principalmente las características naturales de los cuerpos de agua, a los seres humanos que se abastecen del líquido, en gran parte a los animales que la consumen y de forma indirecta a la producción agrícola.

En el ámbito local, se cuenta con la planta de potabilización de agua ubicada en La Estancilla, donde se trata un volumen diario de 28000 m<sup>3</sup>/día, que provee a cinco cantones de la provincia (Bolívar, Junín, Tosagua, Sucre y San Vicente) del líquido vital y, dado que en la actualidad la planta no abastece adecuadamente las necesidades debido al crecimiento demográfico que se suscita en éstos cantones así como también por el ya cumplimiento de su tiempo de vida útil; con lo cual, el manejo de sus vertidos fangosos no es el adecuado ya que se descarga directamente al caudal del Río Carrizal, asumiendo un contenido de sulfato de aluminio y otras sustancias muy elevada con lo que se afecta la salud y a el hábitat de los seres vivos que se abastecen de este fluido.

El presente estudio se enfoca en el desarrollo de un método alternativo para el uso de los lodos generados al final del proceso de potabilización de agua de la planta de



tratamiento EMAARS "EP" mediante su estabilización para la elaboración del compost orgánico.

Con la estabilización de los lodos generados en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua EMAARS- EP se elaborara el compostaje, lo cual reducirá de manera parcial el nivel de contaminación que actualmente se está causando en la cuenca del río Carrizal.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Estabilizar los lodos generados en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua EMAARS-EP, mediante el compostaje

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los lodos generados en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua EMAARS- EP
- Estabilizar químicamente, los lodos generados en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua EMAARS-EP de La Estancilla.
- Establecer el mejor tratamiento para la elaboración del compost orgánico.
- Socializar los resultados logrados en la investigación a los miembros del tribunal

### **1.4. HIPÓTESIS, PREMISA Y/O IDEAS A DEFENDER**

Con la estabilización de los lodos provenientes de los sedimentadores de la planta de agua potable EMAARS-EP se puede elaborar compost orgánico para su posible uso.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1-MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1.1- LODOS GENERADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

El proceso de potabilización del agua emplea diferentes dosis de sulfato de aluminio como coagulante. La dosificación del sulfato de aluminio depende del contenido de sólidos que el agua presenta al ingresar a la planta potabilizadora y cuya aplicación genera una importante cantidad de residuos semisólidos, generados en el proceso coagulación - floculación, sedimentación y retrolavado de los filtros, genéricamente conocidos como lodos residuales ricos en aluminio (Panizza; et. al., 2008).

#### **2.1.2- ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS**

Los lodos se acumulan en los decantadores y lechos de filtrado y están constituidos principalmente de:

- Materias finas o coloidales en suspensión como partículas de arena, arcilla y limo, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, plancton y otros organismos microscópicos causantes de la turbiedad.
- Los residuos de los productos químicos utilizados para el proceso de tratamiento.

Estos lodos tienen un gran volumen, el cual está compuesto principalmente por agua, y son tixotrópicos, es decir, tienen características gelatinosas en reposo pero líquidas en movimiento. Además, son compresibles y resistentes al espesamiento y deshidratación, especialmente aquellos generados con aguas de baja turbiedad.

El volumen de lodo generado en los decantadores representa de un 0,06 a un 0,25% del volumen de agua tratada por la planta. Su DBO varía entre 30 y 300 mg/l, su

DQO entre 30 y 5,000 mg/l y la razón DQO/DBO es del orden de 15:1, indicando una baja proporción de materia orgánica biodegradable. La fracción de sólidos volátiles es alrededor del 30% de los sólidos totales, guardando relación con la razón DQO/DBO. La remoción del lodo puede ser manual (intermitente) o mecanizada (continua), con accionamiento manual o automático (Diario Oficial de la Federación. 1996)

En el caso de limpieza manual, la unidad se vacía, cada 30 a 120 días, dependiendo de la turbiedad del agua, por medio de un desagüe en el fondo. La concentración de los lodos varía apreciablemente durante el desagüe y arrastre de fondo, en un rango de 0,2 a 2%. Terminado el desagüe, los bancos de lodo depositados en el fondo del decantador (concentraciones de 4 a 13%) son removidos con maquinarias y agua a presión. Cuando la limpieza es mecanizada, esta se realiza por bombeo o sifonamiento, con concentraciones que varían entre 0,1 y 6%, dependiendo de la frecuencia de lavado, requiriendo además una limpieza periódica manual (Garcés *et al.*, 1992).

### **2.1.3- CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS**

Las características químicas de los lodos de alúmina varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año. Sin embargo, poseen características físicas similares: fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y otra materia orgánica, siendo esencial el conocimiento de estas características para determinar su tratamiento y su disposición final (Sandoval; *et. al.*, 2009).

Según Weber, W. (2003) que las características de los lodos de plantas potabilizadoras varían en función de la calidad del agua, del tipo de proceso

empleado, del tipo y cantidad de coagulante utilizado y, del resto de los compuestos químicos utilizados para el tratamiento.

La caracterización de lodos de sulfato de aluminio puede ubicarse en los siguientes valores de orden:

**Tabla # 1** Características de los lodos de sulfato de aluminio

|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l | 30 a 300      |
| Demanda química de oxígeno, mg/l    | 30 a 5000     |
| pH, unidades                        | 6 a 8         |
| Sólidos totales, %                  | 0,1 a 4       |
| Óxido de aluminio, %                | 15 a 40       |
| Sílice e inertes, %                 | 35 a 70       |
| Materia orgánica, %                 | 15 a 25       |
| Aluminio disuelto, mg/l             | 0,024 a 0,450 |
| Aluminio total, mg/l                | 808,3 a 2567  |
| Manganeso disuelto, mg/l            | 1,66 a 7,28   |
| Manganeso total, mg/l               | 46.5 a 73.9   |
| Hierro total, mg/l                  | 100 a 222     |
| Hierro disuelto, mg/l               | 3,5 a 6,47    |
| Carbón orgánico total, mg/l         | 22,9 a 245    |

La alta concentración de hierro se debe a las impurezas del sulfato de aluminio que se utiliza como coagulante.

Los lodos típicos de ablandamiento tienen las siguientes características:

**Tabla # 2** Lodos típicos de ablandamiento

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Carbonato de calcio, %   | 85 a 93 |
| Hidróxido de calcio, %   | 0 a 1   |
| Hidróxido de magnesio, % | 0,5 a 8 |
| Sílice e inertes, %      | 2 a 5   |

#### **2.1.4.- RAZÓN DE LA REDUCCIÓN DE VOLUMEN**

La reducción del volumen de los lodos generados en las plantas potabilizadoras es el objetivo principal del tratamiento de los mismos, ya que la reducción de su volumen facilita las operaciones de transporte y de disposición final, así como también disminuiría los posibles impactos al ambiente dadas las circunstancias y los volúmenes de lodos a veces inmanejables por la no reducción (Maldonado, V. c2000)

Los métodos más usados para la reducción del volumen de lodos son los siguientes:

- Espesamiento
- Centrifugación
- Prensado
- Secado en lechos de secado
- Secado en lagunas

### **2.2- ESTABILIZACIÓN DE LODOS**

#### **2.2.1-ESTABILIZACIÓN**

El termino estabilización es el conjunto de proceso que dan como producto final un lodo con características tales que después puedan ser usado sin comprometer, la salud pública o al medio ambiente. La estabilización de lodos se lleva acabo principalmente para reducir patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de microorganismo patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permitan que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del mismo. (Butler, 2001).

### **2.2.2- ESTABILIZACIÓN CON CAL**

Durante este proceso se añade suficiente cal a los lodos para elevar el pH arriba de 12, condiciones a las cuáles los microorganismos no mantienen sus funciones metabólicas, como consecuencia de ello, mientras se mantenga este valor de pH, los lodos no desprenderán olores, no serán vectores infecciosos y se eliminará su potencial de putrefacción. El proceso de estabilización con cal puede ser previo a un proceso de deshidratación o posterior a, el y se utiliza tanto cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), como cal viva ( $\text{CaO}$ ). (Butler, 2001).

### **2.2.3- PRETRATAMIENTO CON CAL**

Para este proceso es necesario aplicar una cantidad mayor de cal por peso unitario del lodo tratado, que la requerida para la deshidratación, este excedente es necesario para mantener un pH alto, así mismo es necesario suficiente tiempo de contacto para obtener un alto porcentaje de eliminación de patógeno. La estabilización con cal no destruye la materia orgánica de manera que se debe aplicar un exceso de cal al ser evacuado o desechados antes que el pH disminuya. El exceso puede llegar hasta el 1,5 veces la cantidad necesaria para mantener el pH en 12. (Metcalf y Eddy, 2003).

### **2.2.4- COMPOSTAJE**

El compostaje se define como un proceso de degradación microbiana aeróbico de residuos ricos en materia orgánica, efectuado por distintas poblaciones de microorganismos que entrega un producto final estabilizado, higiénico, libre de olores y sin microorganismos patógenos, rico en sustancias húmicas, fácil de almacenar y comercializar como enmienda orgánica, abono o sustrato (Grubeetl, 2006).

Durante el compostaje parte de la materia orgánica es mineralizada generando dióxido de carbono, agua y calor, mientras que la otra parte es transformada en sustancias húmicas que son estructuralmente muy similares a las presentes en el suelo (Zbytniewski y Buszewski, 2005).

El compostaje es esencialmente un proceso microbiológico que depende, altamente, de las fluctuaciones de la temperatura en la pila. La temperatura dentro de la masa de compostaje determina la velocidad a la que muchos de los procesos biológicos toman lugar y juegan un rol selectivo en la evolución y sucesión de las comunidades microbianas (Abdenauceret, 2001)

En el proceso de compostaje se distinguen dos fases. Una primera fase o “fase activa”, dada principalmente por el desarrollo de reacciones de degradación, la materia orgánica disuelta es utilizada como fuente de carbono y energía por los microorganismos para su metabolismo, está caracterizada por una intensa actividad microbiana y altas temperaturas, lo que conlleva una rápida descomposición de la materia orgánica y asegura la estabilidad del material. La segunda fase o “fase de maduración”, comienza cuando el suministro de materia orgánica fácilmente disponible es limitante, esta fase se caracteriza por un lento proceso de mineralización y humificación (Tognettiet. 2007)

#### **2.2.5- FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Considerando que el proceso de compostaje es fundamentalmente biológico, todos los factores que influyen, directa o indirectamente, en el metabolismo microbiano le afectan. Los principales factores en el control de un proceso de compostaje incluye parámetros ambientales (temperatura, contenido de humedad, pH, aireación), y parámetros relacionados con la naturaleza del sustrato (relación C/N, tamaño de partícula, contenido de nutrientes, porosidad del material). Todos ellos, en mayor o menor grado, afectan el crecimiento microbiano y por ende, determinan la velocidad y eficiencia del proceso (Gea, 2007).



### **2.2.5.1- TEMPERATURA**

La temperatura es un parámetro útil para seguir la evolución del proceso de compostaje, ya que se obtiene de forma instantánea, además, determina la eficiencia del proceso debido a su influencia en la actividad y diversidad de los microorganismos involucrados (Miyatake y Iwabuchi, 2006).

Una disminución de la temperatura es indicador de una disminución en la actividad microbiana por falta de aireación, deficiencia de agua o de disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, un aumento de temperatura refleja una óptima actividad microbiana (Baeta-Hall. 2002).

### **2.2.5.2- HUMEDAD**

El contenido de agua juega un rol importante en la regulación del metabolismo Microbiano. El agua funciona como medio para el movimiento de bacterias, ayuda en el transporte de sustratos y nutrientes solubilizados hacia el interior de la célula y facilita la remoción de productos de desechos metabólicos (Hogan, 1998).

La humedad es un parámetro que está estrechamente relacionado con la aireación, y su valor ideal fluctúa entre el 40%-60% (Costa.1995). Si la humedad es baja, inhibe la actividad metabólica de los microorganismos. Si por el contrario, la humedad es alta, el agua desplaza el aire de los poros produciéndose zonas con anaerobiosis, limitando el intercambio de oxígeno y aumentando la inestabilidad de la pila (Trois y Polster. 2007).

### **2.2.5.3- pH**

El compostaje puede desarrollarse dentro de un amplio rango de pH, se consideran como óptimos los valores de pH comprendidos entre 5 y 8 (Costa *et al*, 1995). Los cambios en el pH durante el proceso, se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato. En general, se presenta un descenso en la fase

inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y luego tiende a la estabilización en un pH cercano a la neutralidad hacia el final del proceso (Castrillón, 2006).

#### **2.2.5.4- AIREACIÓN**

El contenido de oxígeno dentro de la pila debería ser del 10-15%, para mantener condiciones aeróbicas, regular la temperatura y efectuar una eficiente remoción de calor y CO<sub>2</sub> desde la pila de compostaje (Trois y Polster, 2007). El mayor problema con la aireación es la distribución no homogénea de oxígeno en la pila. Si la dispersión de oxígeno no es homogénea o insuficiente, provoca acumulación de CO<sub>2</sub> y condiciones anaeróbicas dentro de la pila, por ende producción de malos olores (Kulcu y Yaldiz, 2007). Por el contrario, un exceso de aireación puede enfriar la masa compostada reduciendo la actividad metabólica de los microorganismos.

#### **2.2.5.5- RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO**

La velocidad de degradación de la materia orgánica está determinada principalmente por las cantidades relativas de carbono y nitrógeno presentes en la mezcla. El Carbono es utilizado como fuente de energía por los microorganismos, en tanto el Nitrógeno es utilizado para síntesis proteica (Sztern y Pravia, 1999). La relación C/N puede variar entre un sustrato y otro, pero se ha establecido que una relación 25:1 a 30:1 es adecuada para un buen desarrollo del proceso de compostaje. Bajo estos valores hay pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, a relaciones superiores el nitrógeno resulta ser un nutriente limitante, provocando un retardo en el proceso de compostaje (Costa, 1995)

La relación C/N desciende durante el proceso de compostaje independiente de la técnica de compostaje que se utilice. Una relación final C/N de 15 es considerada estable para un compost, sin embargo, esta puede estabilizarse mucho antes de terminar el proceso, además no se puede generalizar, debido a que la relación C/N final depende de la composición de los materiales iniciales (Zmora- Nahumet, 2005).

## **2.3- TÉCNICAS DE COMPOSTAJE**

Para llevar a cabo el proceso de compostaje existen variadas técnicas las que se ajustan a diferentes necesidades; la elección de una técnica u otra depende, entre otras cosas, de la cantidad y tipo de material a procesar, inversión, disponibilidad de terreno, complejidad operacional y del producto final que se quiere obtener (INTEC, 1999). Los distintos sistemas están determinados por los mecanismos de aireación que se utilizan en el proceso, generalmente los podemos agrupar en: aireación pasiva, aireación forzada, y aireación por volteos del material.

### **2.3.1- COMPOSTAJE EN PILAS ESTÁTICAS**

Se forman pilas de reducida altura, que se dejan sin movimiento, ventilándose naturalmente por un proceso de convección térmica natural (Ecoamérica, 2001).

### **2.3.2- COMPOSTAJE EN PILAS ESTÁTICAS AIREADAS**

Consiste en airear de manera forzada la materia que se está compostando. La pila se construye sobre una red de tuberías, donde se suministra o extrae aire frecuentemente para proporcionar un medio aeróbico. (INTEC, 1999).

### **2.3.3- COMPOSTAJE EN PILAS DE VOLTEO**

Este sistema de compostaje es el más utilizado, y considera el volteo manual o mecánico. En este método se amontona el material, se mezcla y voltea periódicamente, evitando así la compactación y entregando oxígeno al sistema (INTEC, 1999).

## **2.4- MARCO REFERENCIAL**

### **2.4.1- LODOS RESIDUALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

La potabilización de agua es la aplicación de una serie de procesos de tratamiento para producir agua que no contenga contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no cause efectos nocivos al ser humano. Las fuentes de aguas superficiales son, por lo general, más turbias que las aguas subterráneas y contienen un mayor número de sólidos suspendidos y bacterias, por lo que es necesario aplicar coagulantes para remover los contaminantes en suspensión, generando como resultado residuos o lodos, que, en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas y de los suelos, afectando los ecosistemas del área de disposición. (Cerón, et. al, 2010).

En la potabilización del agua, específicamente en el proceso coagulación-floculación, sedimentación y el retrolavado de los filtros, se genera una gran cantidad de lodos residuales que son desechados afectando el entorno ambiental de la zona. Los lodos al ser tratados se pueden disponer adecuadamente, utilizándolos como acondicionador de suelos por sus potenciales concentraciones de nutrientes como lo son: fósforo, nitrógeno, hierro, manganeso y zinc, los mismos que pueden ser de gran utilidad en el área agrícola, pues el nitrógeno es indispensable para la vida de las plantas, particularmente cuando se desea favorecer el desarrollo de hojas, por lo tanto es de gran valor para fertilizar pastos y lechugas. El fósforo es vital para muchas de las etapas de desarrollo en vegetales; ya que acelera la madurez y fortalece las raíces; también aumentan su capacidad de retención de agua, mejorando la calidad del cultivo, haciendo posibles las labores agrícolas en suelos pesados, además que disminuyen la erosión de los mismos (Mujica, et.al., 2009).

## **2.4.2. ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

Frecuentemente abreviada como **ETAP**, o **Estación Potabilizadora de Agua (EPA)**; existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

- a) Combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de potabilización) para alcanzar bajas condiciones de riesgo.
- b) Tratamiento integrado para producir el efecto esperado.
- c) Tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento; por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta. Además, se deben tomar en cuenta los residuos generados en el proceso de potabilización y se debe contar con un sistema de tratamiento para tales productos (Duhigg, C. c2009).

## **2.4.3- MEJORAMIENTO DEL POTENCIAL AGRÍCOLA DE LODOS DIGERIDOS ANAERÓBICAMENTE CON EL USO DE CAL**

El tratamiento del lodo tiene básicamente dos objetivos: reducir el volumen (reducción de humedad) y reducir el nivel de materia orgánica (estabilización). Desde el punto de vista de reducción del volumen, son estrategias adecuadas el espesamiento (concentración), la deshidratación o el tratamiento térmico. La estabilización se consigue con alternativas como la digestión aerobia o anaerobia, la estabilización alcalina o el compostaje. (Metcalf y Eddy, 2003).

La estabilización permite reducir patógenos, eliminar olores ofensivos e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción. Los medios para minimizar estas condiciones son principalmente métodos biológicos de reducción del contenido volátil, tratamientos térmicos o la adición de químicos para crear condiciones desfavorables a la sobrevivencia de microorganismos. La digestión biológica es adecuada, en particular, para mitigar o estabilizar los efectos relacionados a la putrefacción y al potencial de olor, mientras que la estabilización alcalina es eficiente en la remoción o reducción de patógenos. (Metcalf y Eddy, 2003).

Los lodos digeridos o estabilizados contienen grandes cantidades de agua. El método de deshidratación en lechos de secado es muy usado en los países tropicales por ser un proceso sencillo y de bajo costo. En el momento en que el lodo es dispuesto en el lecho de secado, se inician dos procesos: la percolación o infiltración del agua, con lixiviación de nutrientes, y la evaporación; el primero ocurre en las primeras horas y es la operación más importante, y la segunda, la evaporación, es responsable del agrietamiento de la capa superior del lecho. Dependiendo de la región y de sus condiciones climáticas de temperatura y viento, el lodo se va secando y pasa de la forma líquida a la pastosa y de la pastosa a la sólida, granular o en polvo.

(Ilhenfeld ,1999).

La disposición final del lodo dependerá del tratamiento que haya recibido y de la posibilidad de aplicarlo en usos definidos. Algunos de los usos potenciales –previa higienización– son la aplicación agrícola como fertilizante, acondicionador o mejorador de las características naturales del suelo, recuperador de la capa superficial de suelo y compostaje (Barros, 1996)

#### **2.4.4- USO DE LODOS DIGERIDOS PROCEDENTES DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES**

Al utilizar lodos de una depuradora como abono de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L*), y ser comparado con testigos sometido a abono estándar, se duplica el peso individual de la planta, lo que se traduce en una duplicación del rendimiento por hectárea. Desde el primer muestreo las plantas abonadas con lodos tienen un crecimiento significativamente mayor en altura respecto a las plantas de las parcelas testigo. Esta diferencia aumenta a lo largo de la evolución del cultivo, hasta que finalmente en el muestreo previo a la recolección, la altura de las plantas que han dispuesto de 60.000 kg/ha de lodos de depuradora es significativamente mayor que el resto, no siendo muy marcada la diferencia entre las dosis intermedias de 20.000 y 40.000 kg/ha. La cantidad de metales pesados en el tejido vegetal aumenta a medida que la dosis de fango aplicada es mayor (Mañas, et.al., 2009).

#### **2.4.5- DETERMINACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS LODOS GENERADOS POR UNA PLANTA POTABILIZADORA**

Para llevar a cabo una evaluación completa de la contaminación del agua, los estudios referentes a la toxicidad son necesarios, ya que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los efectos potenciales sobre la vida acuática y terrestre, es por ello que se pretende evaluar los efectos tóxicos inherentes a la descarga de los lodos originados a partir de una planta potabilizadora en la cual se generan lodos con alta concentración de aluminio. Éste proviene de los procesos de coagulación que se llevan a cabo dentro de dicha planta (CNA, c1998).

Estas plantas al realizar los procesos de coagulación utilizan principalmente sulfato de aluminio como coagulante, y dicho compuesto es desechado junto con los lodos, los cuales generalmente son vertidos en los suelos, posteriormente alcanzan a los

ríos corriente abajo sin ningún proceso posterior para remoción de contaminantes, ya que según las normas actuales se consideran no tóxicos para el medio ambiente.

Dentro de la ingeniería ambiental ha sido necesario implantar técnicas para el análisis de las aguas superficiales con referencia a los contaminantes, y existe actualmente en el ámbito internacional la tendencia de combinar y complementar los análisis fisicoquímicos con pruebas biológicas o bioensayos de toxicidad, por lo que se han desarrollado un amplio número de investigaciones en diversos países, pero en México los ensayos con organismos son poco conocidos y las publicaciones son escasas (Mendoza, C. y Cortés, M. c1994).

En países de Latinoamérica la evaluación de la toxicidad de los contaminantes en el ambiente, está enfocada únicamente a los parámetros físico-químicos, determinándose sólo de manera cualitativa y, en contadas ocasiones de manera cuantitativa, dado que esta información sólo puede ser generada a partir de pruebas de toxicidad específicas, las cuales pueden cubrir y complementar algunos aspectos desventajosos de los análisis físico-químicos. Estas pruebas permiten obtener respuestas del daño a la biota y a los ecosistemas de manera rápida, aun cuando las miles de sustancias químicas potencialmente tóxicas contenidas en los efluentes puedan o no ser detectadas por los análisis rutinarios, ya que la gran diversidad, extensión y complejidad de los mismos hacen casi imposible su caracterización completa. Asimismo, ayudan a monitorear el ambiente, incluso cuando es difícil predecir el efecto conjunto que se produce con la interacción de las sustancias o de los factores como el pH, la dureza, el carbono orgánico disuelto, etc. (Gherardi, G. c1983).

#### **2.4.6- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

El enfoque que orienta a la presente investigación se basa en un paradigma Positivista según:



Reichart y Cook (1986), este paradigma tiene como escenario la investigación de laboratorio a través de un diseño pre-estructurado y esquematizado; su lógica de análisis está orientado a lo confirmatorio, reduccionista, verificación, inferencial e hipotético deductivo mediante el respectivo análisis de resultados.

Kolakowski (1988), el positivismo es un conjunto de reglamentaciones que rigen el saber humano y que tiende a reservar el nombre de “ciencia” a las operaciones observables en la evolución de las ciencias modernas de la naturaleza.

Por consiguiente, el positivismo supone que la realidad está dada y que puede ser conocida de manera absoluta por el sujeto cognoscente, y por tanto es válido para “descubrir” esa realidad

#### **2.4.7- FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Hasta la expedición de la actual Constitución, los elementos de la naturaleza eran vistos únicamente como recursos supeditados de la explotación humana. Por consiguiente, eran valorados desde el punto de vista estrictamente económico. La Carta Magna da un giro radical en este ámbito, por lo que se entenderá el concepto de garantía de derechos de la naturaleza señalada en este objetivo en el marco del Capítulo II, Título VII, del Régimen del Buen Vivir de la Constitución de la República. Comprometido con el Buen Vivir de la población, el Estado asume sus responsabilidades con la naturaleza. Asimismo, desde el principio de corresponsabilidad social, las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades, los diversos sectores privados, sociales comunitarios y la población en general deben cuidar y proteger la naturaleza (SENPLADES, 2009).

La ley que orienta a la presente investigación se cita a continuación:

##### **2.4.7.1- LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (Emitida por la Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).**

**Art. 16.** Se prohíbe “descargar sin sujetarse a las correspondientes normas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos

naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos las aguas residuales que contengan contaminación que sean nocivas a la salud humana a la fauna y a las propiedades”.

**Art. 17** Ministerios de Defensa según el caso, “elaborará proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas residuales de acuerdo con la calidad de agua que deberá tener el cuerpo receptor.”

**Art. 18** le otorga al Ministerio de Salud Pública el mandato de “fijar el grado de tratamiento que deban tener los residuos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen” (AIDIS, 2009).

#### 2.4.8- CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA O DE RIEGO

Se entiende por agua de uso agrícola, aquella agua empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación:

**Cuadro 2.1** Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

| Parámetros         | Expresado como                    | Unidad | Límite máx. permisible |
|--------------------|-----------------------------------|--------|------------------------|
| Aluminio           | Al                                | mg/l   | 5,00                   |
| Arsénico (total)   | As                                | mg/l   | 0,10                   |
| Bario              | Ba                                | mg/l   | 1,00                   |
| Berilio            | Be                                | mg/l   | 0,10                   |
| Boro (total)       | B                                 | mg/l   | 1,00                   |
| Cadmio             | Cd                                | mg/l   | 0,01                   |
| Carbamatos totales | Concentración total de carbamatos | mg/l   | 0,10                   |
| Cianuro (total)    | CN <sup>-</sup>                   | mg/l   | 0,20                   |
| Cobalto            | Co                                | mg/l   | 0,05                   |
| Cobre              | Cu                                | mg/l   | 2,00                   |
| Cromo hexavalente  | Cr <sup>+6</sup>                  | mg/l   | 0,10                   |
| Fluor              | F                                 | mg/l   | 1,00                   |

| Parámetros  | Expresado como                            | Unidad   | Límite máx. permisible |
|---|---|----------|------------------------|
| Hierro  | Fe  | mg/l     | 5,00                   |
| Litio   | Li  | mg/l     | 2,50                   |
| Materia flotante                                  | <b>Visible</b>                            |          | <b>Ausencia</b>        |
| Manganeso   | Mn  | mg/l     | 0,20                   |
| Molibdeno   | Mo  | mg/l     | 0,01                   |
| Mercurio (total)                                  | Hg  | mg/l     | 0,001                  |
| Níquel  | Ni  | mg/l     | 0,20                   |
| Organofosforados (totales)                        | Concentración de organofosforados totales | mg/l     | 0,10                   |
| Organoclorados (totales)                          | Concentración de organoclorados totales.  | mg/l     | 0,20                   |
| Plata   | Ag  | mg/l     | 0,05                   |
| Potencial Hidrógeno                               | Ph  |          | 6-9                    |
| Plomo   | Pb  | mg/l     | 0,05                   |
| Selenio   | Se  | mg/l     | 0,02                   |
| SST   |   | mg/l     | 3000,0                 |
| Transparencia del agua medida con el disco secchi |   |          | Mínimo 2,00 m          |
| Vanadio   | V   | mg/l     | 0,10                   |
| Aceites y grasas                                  | Sustancias solubles en Hexano             | mg/l     | 0,30                   |
| Coliformes Totales                                | nmp/100 ml                                |          | 1 000                  |
| Huevos de parásitos                               |   | huevos/l | Cero                   |
| Zinc  | Zn  | mg/l     | 2,00                   |

Fuente: (TULAS. libro VI - Anexo 1)

#### 2.4.9- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE USO PECUARIO

Se entiende como aguas para uso pecuario a aquellas empleadas para el abrevadero de animales, así como otras actividades conexas y complementarias que establezcan los organismos competentes.

Las aguas destinadas a uso pecuario deberán cumplir con los siguientes criterios de calidad:

CUADRO 2.2 .Criterios de calidad para aguas de uso pecuario

| Parámetros           | Expresado como                      | Unidad | Valor máx. permisible |
|----------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------|
| Aluminio             | Al                                  | mg/l   | 5,0                   |
| Arsénico (total)     | As                                  | mg/l   | 0,2                   |
| Bario                | Ba                                  | mg/l   | 1,0                   |
| Boro (total)         | B                                   | mg/l   | 5,0                   |
| Cadmio               | Cd                                  | mg/l   | 0,05                  |
| Carbamatos (totales) | Concentración de carbamatos totales | mg/l   | 0,1                   |
| Cianuro (total)      | CN-                                 | mg/l   | 0,2                   |

| Parámetros  | Expresado como                            | Unidad | Valor máx. permisible    |
|---|---|--------|--------------------------|
| Cinc  | Zn  | mg/l   | 25,0                     |
| Cobre   | Cu  | mg/l   | 0,5                      |
| Cromo hexavalente                                 | Cr <sup>+6</sup>                          | mg/l   | 1,0                      |
| Hierro  | Fe  | mg/l   | 1,0                      |
| Litio   | Li  | mg/l   | 5,0                      |
| Materia flotante                                  | Visible                                   |        | Ausencia                 |
| Manganeso   | Mn  | mg/l   | 0,5                      |
| Molibdeno   | Mo  | mg/l   | 0,005                    |
| Mercurio (total)                                  | Hg  | mg/l   | 0,01                     |
| Nitratos + nitritos                               | N   | mg/l   | 10,0                     |
| Nitritos  | N-nitrito                                 | mg/l   | 1,0                      |
| Níquel  | Ni  | mg/l   | 0,5                      |
| Oxígeno disuelto                                  | O.D.                                      | mg/l   | 3,0                      |
| Organofosforados (totales)                        | Concentración de organofosforados totales | mg/l   | 0,1                      |
| Organoclorados (totales)                          | Concentración de organoclorados totales.  | mg/l   | 0,2                      |
| Potencial de hidrógeno                            | pH  |        | 6-9                      |
| Plata   | Ag  | mg/l   | 0,05                     |
| Plomo   | Pb  | mg/l   | 0,05                     |
| Selenio   | Se  | mg/l   | 0,01                     |
| Sólidos disueltos totales                         |   | mg/l   | 3 000                    |
| Transparencia del agua medida con el disco secchi |   |        | mínimo 2,0 m             |
| Vanadio   | V   | mg/l   | 10,0                     |
| Coliformes fecales                                | nmp por cada 100 ml                       |        | Menor a 1 000            |
| Coliformes totales                                | nmp por cada 100 ml                       |        | Promedio mensual < 5 000 |

Fuente:(TULAS. Libro VI-anexo 1)

#### 2.4.10- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA CON FINES RECREATIVOS

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe:

- a) Contacto primario, como la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales.
- b) Contacto secundario, como en el caso de los deportes náuticos y pesca.

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario se presentan a continuación:

**CUADRO 2.3.** Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos

| <b>Parámetros</b>                              | <b>Expresado como</b>                                   | <b>Unidad</b> | <b>Límite máx. permisible</b>                                   |
|--|---|---------------|---|
| Coliformes fécales                             | nmp por cada 100 ml                                     |               | 200   |
| Coliformes totales                             | nmp por cada 100 ml                                     |               | 1 000   |
| Compuesto fenólicos                            | Expresado como fenol                                    | mg/l          | 0,002   |
| Oxígeno disuelto                               | O.D.  | mg/l          | No menor al 80% de Concentración saturación y no menor a 6 mg/l |
| Materia flotante                               | Visible   |               | Ausencia  |
| Potencial de hidrógeno                         | pH  |               | 6,5 – 8,5   |
| Metales y otras sustancias tóxicas             |   | mg/l          | Cero  |
| Organofosforados y carbamatos (totales)        | Concentración de organofosforados y carbamatos totales. | mg/l          | 0,1 (para cada compuesto detectado)                             |
| Organoclorados (totales)                       | Concentración de organoclorados totales.                | mg/l          | 0,2 (para cada compuesto detectado)                             |
| Residuos de petróleo                           | Visibles  |               | Ausencia  |
| Tensoactivos                                   | Sustancias activas al azul de metileno.                 | mg/l          | 0,5   |
| Grasas y aceites                               | Sustancias solubles en hexano                           | mg/l          | 0,3   |
| Transparencia del agua medida con disco secchi |   |               | Mínimo 2,0 m.   |
| Relación hidrógeno - fósforo orgánico          |   |               | 15:1  |

Fuente:(TULAS. Libro VI-Anexo 1)

**CUADRO 2.4** Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario

| <b>PARÁMETROS</b>                       | <b>Expresado como</b>                                   | <b>UNIDAD</b> | <b>Valor máx. permisible</b>                   |
|---|---|---------------|--|
| Coliformes totales                      | nmp/100 ml  |               | 4 000  |
| Coliformes fécales                      | nmp/100 ml  |               | 1 000  |
| Compuestos fenólicos                    | Expresado como fenol                                    | mg/l          | 0,002  |
| Oxígeno disuelto                        | O.D.  | mg/l          | No menor al 80% de Concentración de saturación |
| Potencial de hidrógeno                  | pH  |               | 6,5 – 8,5                                      |
| Metales y otras sustancias tóxicas      |   | mg/l          | Cero   |
| Organofosforados y carbamatos (totales) | Concentración de organofosforados y carbamatos totales. | mg/l          | 0,1  |
| Organoclorados (totales)                | Concentración de organoclorados totales.                | mg/l          | 0,2  |
| Residuos de petróleo                    |   |               | AUSENCIA                                       |
| Tensoactivos                            | Sustancias activas al azul de metileno.                 | mg/l          | 0,5  |
| Grasas y aceites                        | Sustancias solubles en hexano                           | mg/l          | 0,3  |
| Sólidos flotantes                       | VISIBLE   |               | AUSENCIA                                       |
| Relación hidrógeno, fósforo orgánico    |   |               | 15:1   |

Fuente:(TULAS. Libro VI-anexo 1)

### III. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente estudio se enmarcó en la normativa institucional de la ESPAM-MFL (2012), para lo cual se realizó una investigación de tipo **descriptivo**, apoyada en investigación documental, antes, durante y al final de la misma. El método que se empleó fue el “**Científico Experimental**”, mediante el cual se aplicaron los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios.

#### 3.1.- UBICACIÓN

La Empresa Municipal de Alcantarillado, Residuos Sólidos y Agua potable EMAARS, se encuentra localizada en la Provincia de Manabí en el cantón Tosagua, Parroquia Ángel Pedro Giler, La Estancilla que está a un nivel de: 25 msnm.

**CUADRO 3.1** COORDENADAS DE LA PLANTA EMAARS EP

|             |               |             |              |
|-------------|---------------|-------------|--------------|
| COORDENADAS | NORTE 9909019 | ESTE 587619 | Altitud 53 m |
|-------------|---------------|-------------|--------------|

#### 3.1.2 - CLIMA

Es cálido seco, con temperaturas de 25°C aunque tienen máximas relativas que pueden llegar a 36°C. Durante el verano se soporta intenso frío en las noches y sofocante calor durante el día (GPM, 2007).

##### 3.1.2.1- PRECIPITACIÓN

Nubes de niveles bajos prevalecen en el área, las lluvias se presentan en forma ocasional y puntual, especialmente frente al perfil costanero de Manabí. En el cantón Tosagua la precipitación media anual corresponde a 1 300 mm al año (GPM, 2007).

### **3.1.3- CARACTERÍSTICAS BIÓTICAS**

- FAUNA

Dentro de la fauna del cantón Tosagua existen variedades de especies como el ardillas, monos, armadillos, pericos, culebras, tarántulas, zarigüeya, aves, entre otros (GPM, 2007).

- FLORA

El cantón Tosagua cuenta con una gama de árboles de varias especies como: cedro, laurel, caoba, guachapelí, moral fino, moral bobo, cedro de castillo, caimito, caracas, higuera, beldaco, mata palo, guayacán, tillo fino, naranjillo, balsa, zapan de paloma, come fino, guachapelí prieto, amarillo, algarrobo, pachaco, teca, pechiche y caimitillo (GPM, 2007).

### **3.1.4- CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS**

En cuanto a los aspectos económicos, Manabí contribuye en mayor medida al PIB primario del país en el sector de la agricultura caza y pesca. Esta notable contribución al PIB del sector primario se debe al sector pesquero extractivo-industrial, pesquero artesanal y camaronero (que genera más del 50% del PIB primario manabita) (ODM, 2006).

En lo que concierne a la zona norte de Manabí, las mujeres tienen destreza en la confección de bolsos, petates, hamacas, alfombras de paja mocora y algodón. En la región se cosecha café, cacao, plátano, paja mocora y árboles frutales, así como se crían ganado bovino, caballar y aves de corral (Barrera *et al.*, 2010)

### **3.2- DURACIÓN DEL TRABAJO**

El Estudio tuvo una duración de nueve meses (Diciembre/2012 – Agosto/2013)

### **3.3- VARIABLES**

#### **3.3.1- VARIABLE INDEPENDIENTE**

Lodos provenientes de los sedimentadores de la planta de agua potable para darle un uso aprovechable.

##### **3.3.1.1- VARIABLE DEPENDIENTE**

Características Físico-Químico y Bacteriológicos de los lodos que se generan en la planta de agua potabilizadora.

##### **3.3.1.2- FACTOR EN ESTUDIO**

**A1-**Lodos provenientes de los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua.

##### **3.3.1.2.1- NIVELES**

Porcentajes de cal para ver la dosis exacta en la estabilización.

**B1-** 20% de cal

**B2-** 40% de cal

**B3-** 60% de cal

**B4-** 80% de cal

##### **3.3.1.3- TRATAMIENTOS**

La combinación de los niveles de los factores dará cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y tendremos un testigo (lodos sin cal)

T1.- A1 x B1 (lodos + 20% de cal)

T2.-A1 x B2 (lodos + 40% de cal)

T3.- A1 x B3 (lodo + 60% de cal)



T.4- A1 x B3 (lodo + 80% de cal)

T.5- (lodo sin cal) **testigo**

### 3.3.1.4- DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño de bloques completamente al azar

ADEVA  
CUADRO 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

| FUENTE DE VARIACIÓN | GRADOS DE LIBERTAD |
|---------------------|--------------------|
| TOTAL               | 15                 |
| REPETICIONES        | 4                  |
| TRATAMIENTOS        | 4                  |
| ERROR EXPERIMENTAL  | 8                  |

Prueba de tukey al 5%

### 3.3.1.5- INDICADORES A MEDIR

Los indicadores a medir que se analizaron fueron:

- Temperatura
- ph

### 3.3.1.6 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron analizados estadísticamente bajo los siguientes parámetros:

- ANOVA: Se lo realizó para determinar la existencia de diferencia significativa estadística entre tratamientos en estudio.

**Cuadro 3.3** Esquema del Anova en DBCA (anova de 2 vías)

| FUENTE DE VARIACION | GI         | SC                    | CM               | F CALCULADO        |
|---------------------|------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| TOTAL               | $rt - 1$   | $\sum y_i^2 / j - Fc$ |                  |                    |
| BLOQUES             | $r - 1$    | $\sum y_i^2 / t - Fc$ | SCB/GI B         | CMB / CM error     |
| TRATAMIENTO         | $t-1$      | $\sum y_i^2 / r - Fc$ | SC trat/ GI trat | CM trat / CM error |
| ERROR EXPERIM       | Diferencia | Diferencia            | SCe / GI error   |                    |

**CUADRO 3.4.** Control de temperatura y sus repeticiones

| Tratamientos       | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Y <sub>i</sub>         | Ȳ <sub>i</sub>          |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| lodos + 20% de cal | 27,6           | 33,2           | 36,5           | 39,05          | 136,35                 | 34,0875                 |
| lodos + 40% de cal | 29,8           | 32,6           | 39,5           | 41,09          | 142,99                 | 35,7475                 |
| lodo + 60% de cal  | 30,3           | 34,4           | 39,3           | 42,00          | 146,00                 | 36,5                    |
| lodo + 80% de cal  | 30,6           | 35,09          | 38,2           | 43,00          | 146,89                 | 36,7225                 |
| Y <sub>j</sub>     | 118,3          | 135,29         | 153,5          | 165,14         | $\sum Y_{ij} = 572,23$ | $\bar{Y}_i = 35,764375$ |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

**CUADRO 3.5** Análisis de Varianza Temperatura

| Fuente de variación | GI | SC         | CM          | F. Calculado      | F. tabla |
|---------------------|----|------------|-------------|-------------------|----------|
| Total               | 15 | 34,099039  | 105,829205  |                   |          |
| Bloques             | 3  | 317,487615 | 5,695121667 | **                |          |
| Tratamientos        | 3  | 17,085365  | 0,713045555 | 148,4185747<br>** | 3,86     |
| Error Experimental  | 9  | 6,41741    |             | 7,987037612       | 3,86     |

CV = 2,36 %

Elaborado por: López y Rivas (2013)

$$CV = \sqrt{\frac{CM_{error}}{\bar{Y}}} \times 100 \quad [3.1]$$

$$CV = \sqrt{\frac{0,713045555}{35,764375}} \times 100$$

$$CV = 2,3610653 \%$$

CUADRO 3.6 Control del pH

| Tratamientos       | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Y <sub>i</sub>            | Ȳ <sub>i</sub>             |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| Lodos + 20% de cal | 13,8           | 13,20          | 13,12          | 13,18          | 53,3                      | 13,325                     |
| lodos + 40% de cal | 13,10          | 13,13          | 13,09          | 13,07          | 52,39                     | 13,0975                    |
| lodo + 60% de cal  | 13,03          | 13,16          | 13,09          | 13,08          | 52,36                     | 13,09                      |
| lodo + 80% de cal  | 13,07          | 13,13          | 13,09          | 13,04          | 52,33                     | 13,0825                    |
| Y <sub>j</sub>     | 53,00          | 56,62          | 52,39          | 52,37          | ΣY <sub>ij</sub> = 210,38 | Ȳ <sub>i</sub> = 35,764375 |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

CUADRO 3.7 Análisis de Varianza al pH

| Fuente de variación | GI | SC       | CM          | F. Calculado       | F. tabla |
|---------------------|----|----------|-------------|--------------------|----------|
| Total               | 15 | 0,485175 |             | N s                |          |
| Bloques             | 3  | 0,064325 | 0,021441666 | 0,757581703        | 3,86     |
| Tratamientos        | 3  | 0,166125 | 0,055375    | N s<br>1,956521793 | 3,86     |
| Error Experimental  | 9  | 0,254725 | 0,028302777 |                    |          |

CV = 1,27 % Elaborado por: López y Rivas (2013)

$$CV = \sqrt{\frac{CMerror}{\bar{Y}}} \times 100 \quad [3.2]$$

$$CV = \sqrt{\frac{0,28302777}{13,14875}} \times 100$$

$$CV = 1,279469851 \%$$

- Tukey: Permite determinar la magnitud de las diferencias entre tratamientos. Se analizó al 5% de probabilidad, de acuerdo a los grados de libertad (GL) del error.

### PRUEBA DE TUKEY

$$T = Q(\alpha, p, v) (S\bar{y}) \quad [3.3]$$

Q= Es un valor tomado de las tablas de rango estudentizada (ver Anexo)

$\alpha$ = nivel de significación

$p$ = números de medio de tratamientos

$v$ = grados de libertad del error experimental

$$T = Q(\alpha, p, v) (S\bar{y}) \quad [3.4]$$

$$T = Q(0,05, 4, 9) (S\bar{y})$$

$$T = 4,42 (0,422210123)$$

$$T = 1,866168744$$

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{CMerror}{n}} \quad [3.5]$$

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{0,713045555}{4}}$$

$$S\bar{y} = 0,422210123$$

$$T = Q(r, p, v) (S\bar{y}) \quad [3.6]$$

$$T = Q(0,05, 4, 9) (S\bar{y})$$

$$T = 4,42 (0,084117145)$$

$$T = 0,37179778$$

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{CMerror}{n}} \quad [3.7]$$

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{0,028302777}{4}}$$

$$S\bar{y} = 0,084117145$$

### 3.5- PROCEDIMIENTO

El presente proyecto de tesis se desarrolló en 4 etapas:

#### 3.5.1- ETAPA 1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LOS LODOS GENERADOS EN LOS SEDIMENTADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP

##### 3.5.1.2- ACTIVIDAD 1

Para el desarrollo de esta etapa se tomó primeramente muestras compuestas de los lodos que se generan en la planta potabilizadora de agua, esta actividad se realizó al momento del vaciado de los sedimentadores. (Ver Anexo #1)

La toma de muestra se la realizó con ayuda de un recipiente de 0,02 m<sup>3</sup> con lodos provenientes del sedimentadores de la planta potabilizadora.

##### 3.5.1.3- ACTIVIDAD 2

Una vez que obtuvimos las muestras se procedió al desarrollo de los análisis de laboratorio para obtener los resultados.

Los análisis que se realizaron fueron los siguientes:

- **Físico-químicos:** pH, textura (porcentaje de arena - limo – arcilla – humedad)
- **Sulfatos.**
- **Metales:** aluminio, hierro.

- **Metales pesados:** cadmio, mercurio, plomo.
- **Microbiológicos:** Coliformes fecales.

#### **3.5.1.3.1- DETERMINACIÓN DE TEXTURA**

En esta etapa primeramente se tomaron muestras de fangos para ser llevadas a deshidratación natural con el propósito de realizar análisis físico (textura) al producto generado en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua. El proceso de deshidratación de fango tuvo una duración de 25 días a partir del momento en que se tomó la muestra; luego se llevaron las muestras a los laboratorios de la ESPAM-MFL, con la asistencia técnica de la Lic. Cruz Pinargote, mediante el empleo de la técnica de Pipeta de Robinson se determinó la textura. (Ver Anexo #2)

Para obtener los resultados del tipo de suelo generado en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

- ✓ Trituración de la muestra
- ✓ Macerado de la muestra
- ✓ Mezclado de muestra
- ✓ Pesado de cápsulas y colocación de muestras
- ✓ Deshidratación en estufa
- ✓ Obtención y análisis de resultados

#### **3.5.1.3.2- DETERMINACIÓN DE SULFATOS, METALES Y METALES PESADOS Y COLIFORMES FECALES.**

Para la realización de los análisis de sulfato, mercurio, cadmio, plomo, hierro, aluminio y Coliformes fecales se procedió a tomar una muestra de 500 gr de fango previamente deshidratado procedente del sedimentador de la planta potabilizadora de agua para posteriormente enviado al laboratorio contratado (“Lixiviados y Gases Consorcio ILM Las Iguanas”) en la ciudad de Guayaquil.. (Ver Anexo #3)

### 3.5.2- ETAPA 2 ESTABILIZAR QUÍMICAMENTE, LOS LODOS GENERADOS EN LOS SEDIMENTADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP DE LA ESTANCILLA.

#### 3.5.2.1- ACTIVIDAD 1

Para su desarrollo de esta primera actividad de esta segunda etapa se tomó muestras compuestas de los lodos que se generan en la planta potabilizadora de agua, esta actividad se realizó al momento del vaciado de los sedimentadores.

Para la toma de muestra se la realizó con ayuda de un recipiente de 0,02 m<sup>3</sup> con lodos provenientes del decantador de la planta potabilizadora se estimó un volumen de 100 kg de lodo (Ver Anexo #4)

#### 3.5.2.2- ACTIVIDAD 2

En esta actividad se elaboró el diseño experimental de Bloque Completos al azar, con un intervalo de secuencia [20%(4:1), 40%(3:2), 60%(2:3), y 80%(1:4)] con cuatro repeticiones por tratamiento, y los indicadores que se midieron son temperatura y pH se probaron para ver la dosis más favorable para la estabilización de los lodos. (Ver Anexo #5)

Se procedió a realizar el pesado del lodo (Ver Anexo #6), para distribuirlo en los diferentes tratamientos, estos fueron combinados con cal en las siguientes proporciones:

**CUADRO 3.8** COMPOSICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

| Tratamientos       | % de lodo | % de cal |
|--------------------|-----------|----------|
| lodos + 20% de cal | 4 kg      | 1kg      |
| lodos + 40% de cal | 3 kg      | 2 kg     |
| lodos + 60% de cal | 2 kg      | 3 kg     |
| lodos + 80% de cal | 1 kg      | 4 kg     |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

### 3.5.2.3- ACTIVIDAD 3

Se llevó un control del indicador Temperatura, y pH para establecer el mejor tratamiento para la estabilización de los lodos generados en la planta potabilizadora de agua de en la Estancilla con frecuencia de tres días en un período de dos semanas.

#### 3.5.2.3.1- DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y pH

Los análisis de pH se realizaron en el laboratorio de la ESPAM-MFL, con la asistencia técnica del Ing. Mario López, para obtener los resultados se procedió a realizar el siguiente procedimiento: (Ver Anexo #7)

- Se pesaron 50 gr de muestra en la balanza digital
- Se colocó 150 ml de agua destilada en un vaso de precipitación
- Se mezcló 50 gr de la muestra con el agua destilada en el vaso de precipitación
- Se procedió a colocar una bala magnética dentro del vaso de precipitación
- Se colocó en la plancha agitadora magnética el vaso de precipitación con 250 r/s durante 5 minutos

Los análisis de temperatura se realizaron in situ, donde se realizó el diseño experimental, se realizó con ayuda con un termómetro de bolsillo y para obtener los resultados se procedió a realizar el siguiente procedimiento: (Ver Anexo #8)

- Se realizó un orificio de 6 cm en la pila.
- Se procedió a introducir el termómetro en el orificio durante un minuto
- Se registró el resultado obtenido del termómetro.



### 3.5.3- ETAPA 3 ESTABLECIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL COMPOST ORGÁNICO.

#### 3.5.3.1- ACTIVIDAD 1.

Una vez realizado todas las actividades para la estabilización del lodo, se procedió a elegir el mejor tratamiento producto de la aplicación del diseño experimental. Con el mejor tratamiento se procedió a elaborar el compost orgánico. El cual fue la dosificación al 20% (4:1) por los resultados favorablemente obtenidos.

#### 3.5.3.2- ACTIVIDAD 2.

Se envió 500 gr de lodo estabilizado de la dosificación 20% al laboratorio contratado (“Lixiviados y Gases Consorcio ILM Las Iguanas”) en la ciudad de Guayaquil para ver la reducción de los parámetros medidos en la caracterización. (Ver Anexo #11)

#### 3.5.3.3- ACTIVIDAD 3

Se elaboró cuatro pilas, con cuatro tratamientos diferentes partiendo del lodo estabilizado usando materia orgánica como:

- (aserrín)
- (mezcla de casco de cacao + lechuguin)
- (casco de cacao)
- (lechuguin)

**CUADRO 3.9** Composición de las camas

| Camas | Composición                                 | Lodo a tratar |
|-------|---|---------------|
| 1 A   | 50% M.O (Aserrín)                           | 50%           |
| 2 B   | 50% M.O (mezcla de casco cacao + lechuguin) | 50%           |
| 3 C   | 50% M.O (casco de cacao)                    | 50%           |
| 4 D   | 50% M.O (lechuguin)                         | 50%           |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

**CUADRO 3.10** Complementos necesarios para la realización del compost

| Camas | AIREACION Y VOLTEO | RIEGO              |
|-------|--------------------|--------------------|
| 1 A   | Una vez por semana | Una vez por semana |
| 2 B   | Una vez por semana | Una vez por semana |
| 3 C   | Una vez por semana | Una vez por semana |
| 4 D   | Una vez por semana | Una vez por semana |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

#### **3.5.3.4- ACTIVIDAD 4**

Se realizó el voltaje y la humectación (riego) manualmente con ayudas de palas y baldes, esta actividad se la realizó semanalmente, durante la realización del proceso de compost orgánico que estuvo dentro de las 8 semanas. (Ver Anexo #12)

#### **3.5.3.5- ACTIVIDAD 5**

Se llevó un control de los indicadores Temperatura y ph por semana para la elaboración del compost orgánico.

Los análisis de pH se realizaron en el laboratorio de la ESPAM-MFL, con la asistencia técnica del Ing. Mario López, para obtener los resultados se procedió a realizar el siguiente procedimiento: (Ver Anexo #13)

- Se pesaron 5 gr de muestra en la balanza digital
- Se colocó 30 ml de agua destilada en un vaso de precipitación
- Se mezcló 5 gr de la muestra con el agua destilada en el vaso de precipitación
- Se procedió a colocar una bala magnética dentro del vaso de precipitación

- Se colocó en la plancha agitadora magnética el vaso de precipitación con 250 r/s durante 5 minutos

Los análisis de temperatura se realizaron in situ, donde se realizó el diseño experimental, se realizó con ayuda con un termómetro de bolsillo y para obtener los resultados se procedió a realizar el siguiente procedimiento: (Ver Anexo #14)

- Se realizó un orificio de 6 cm en la pila.
- Se procedió a introducir el termómetro en el orificio durante un minuto
- Se registró el resultado obtenido del termómetro.

#### 3.5.3.6- ACTIVIDAD 6

Se realizó el análisis de la relación carbono – nitrógeno ya que son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica para obtener un compost de buena calidad es importante que exista un relación equilibrada entre ambos. (Ver Anexo #15)

Par a determinar la relación carbono nitrógeno se realizó la siguiente ecuación:

$$R C - N = \% M.O * 0,05 \quad [3.8]$$

Para la determinación del % de materia orgánica se lo hizo por pérdida de IGNICION, se realizó con la siguiente formula:

$$\%M.O = \frac{M2}{M1} x 100\% \quad [3.9]$$

%M.O = Porcentaje de materia orgánica

$M_2$ = Muestra seca

$M_1$ = Muestra húmeda

#### -Materiales y Equipos

- Crisoles
- Desecador
- Estufa
- Balanza analítica (SANTORIUS, BASICS. MODELO BA210S).
- Mufla

#### -Procedimiento

- Colocar el crisol en la mufla por 30 minutos.
- Luego procedemos a colocar en el desecador durante 20 minutos
- Luego colocar el crisol en la balanza analítica y pesar 2.0600 gramos de la muestra
- Llevar el crisol con la muestra a la estufa por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 130 grados centígrados
- Luego llevar al desecador por 20 minutos.
- Pesamos el crisol y anotamos la lectura que hace la balanza.
- El siguiente paso es llevar a la mufla a una temperatura de 360 grados centígrados por un tiempo de dos horas.
- Procedamos a pesar el crisol y anotamos los resultados que nos indique la balanza analítica.

### **3.5.3.7- ACTIVIDAD 7**

Se redactó un artículo científico cumpliendo con lo establecido con la normativa institucional (ESPAM MFL, 2012) en la investigación realizada, se lo envió a la revista ESPAMCIENCIA para su respectiva aprobación

## **3.6- ETAPA 4 SOCIALIZAR LOS RESULTADOS LOGRADOS EN LA INVESTIGACIÓN.**

### **3.6.1- ACTIVIDAD 1.**

Una vez terminada la investigación se sociabilizaran los resultados a los miembros del tribunal y autoridades de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.

### **3.6.1- TÉCNICAS Y MÉTODOS**

Las técnicas que se utilizaron para la ejecución de este proyecto son las siguientes:

- **Entrevistas a informantes claves** (técnicos de la planta) para determinar los procesos que se realizan para la potabilización
- **Observación** en el sitio de estudio, para que sea verificable y reproducible el estudio.

La presente investigación tuvo un enfoque científico experimental, la parte científica será a través del análisis de síntesis como el proceso de datos estadísticos y la parte experimental será de investigación, análisis de laboratorio que se realicen en el estudio del tema postulado

El método científico permitió realizar una investigación bibliográfica o documental de artículos y temas (internet, libros y revistas) relacionados con la temática a investigar, lo cual sirvió para fundamentar el marco teórico y conocer de manera específica la importancia del estudio del proyecto.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LOS LODOS GENERADOS EN LOS SEDIMENTADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP

#### ❖ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

CUADRO 4.1 DETERMINACIÓN DE TEXTURA

| DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA       |            |
|-------------------------------------|------------|
| Peso de capsula # 1                 | 37.0905 g  |
| Peso de capsula # 2                 | 204.4971 g |
| Peso de capsula # 1 + muestra # 1   | 38.1186 g  |
| Peso de capsula # 2 + muestra # 2   | 204.6500 g |
| Factor de corrección de NaOH al 10% | 0.050 g    |

#### Desarrollo:

##### 1) Determinación del % de limo+arcilla (primera muestra)

CUADRO 4.2 DETERMINACIÓN del % de limo+arcilla

|   |                 |
|---|-----------------|
| Peso de capsula #1 + muestra # 1                    | 38.1186 g       |
| Peso de capsula # 1                                 | 37.0905 g       |
| <b>Peso de la muestra # 1 (diferencia de pesos)</b> | <b>1.0282 g</b> |
| Peso de la muestra # 1 (diferencia de pesos)        | 1.0282g         |
| Factor de corrección del NaOH al 10 %               | 0.050 g         |
|   | <b>0.9787 g</b> |

Luego 0.9787g se lo multiplica por 2 para llevarlo a 100ml = 1.9564g y por 40 para llevarlo a 1000ml = **78.256% de limo + arcilla**

## 2) Determinación del % de arcilla (segunda muestra)

CUADRO 4.3 DETERMINACIÓN del % de limo+arcilla 2<sup>da</sup> muestra

|   |                 |
|---|-----------------|
| Peso de capsula # 2 + muestra # 2                   | 204.6500 g      |
| Peso de capsula # 2                                 | 204.4971 g      |
| <b>Peso de la muestra # 2 (diferencia de pesos)</b> | <b>0.1529 g</b> |
| Peso de la muestra # 2 (diferencia de pesos)        | 0.1529g         |
| Factor de corrección del NaOH al 10 %               | 0.050 g         |
|   | <b>0.1029 g</b> |

Luego 0.1029 se lo multiplica por 80 para llevarlo a 1000ml = 8.232% **de arcilla.**

CUADRO 4.4 PORCENTAJE DE LIMO

| PORCENTAJE DE LIMO        |                |
|---------------------------|----------------|
| Limo + arcilla            | 78.256 %       |
| Arcilla                   | 8.232 %        |
| <b>Porcentaje de limo</b> | <b>70.024%</b> |

CUADRO 4.5 PORCENTAJE DE ARENA

| PORCENTAJE DE ARENA        |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Total                      | 100 %           |
| % de arcilla + arcilla     | 78.256 %        |
| <b>Porcentaje de arena</b> | <b>21.744 %</b> |

### Resultados Generales De Limo, Arcilla y Arena.

Una vez obtenido los resultados en porcentajes se procedieron a determinar el tipo de suelo, utilizando el siguiente triángulo de textura. Donde se determina que el

material que se genera en los sedimentadores de la planta potabilizadora de agua es de tipo **FRANCO-LIMOSO**

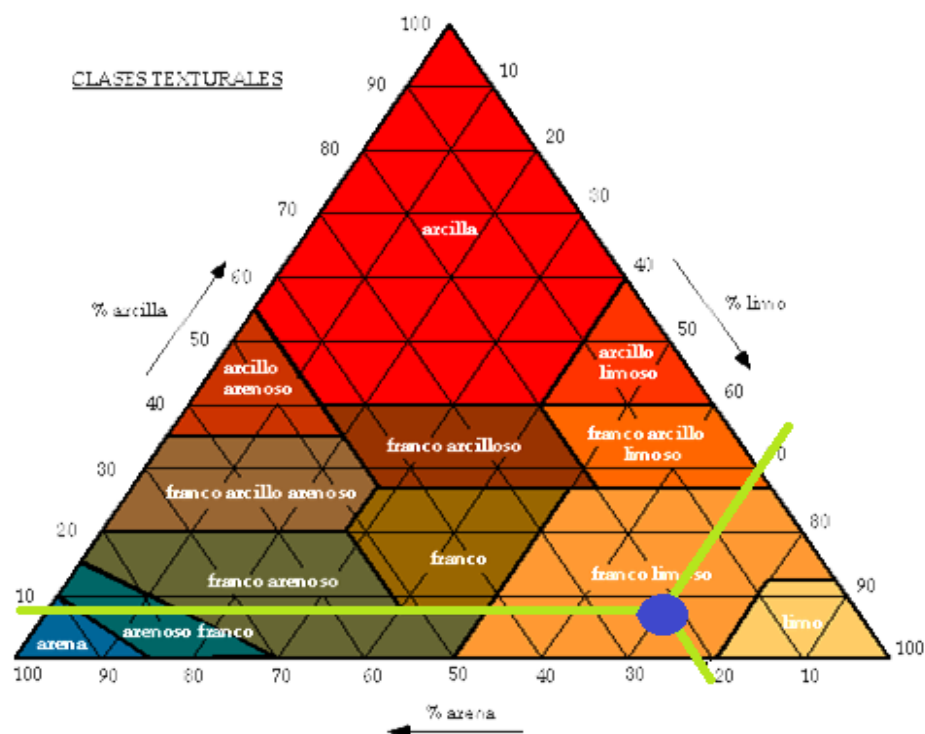
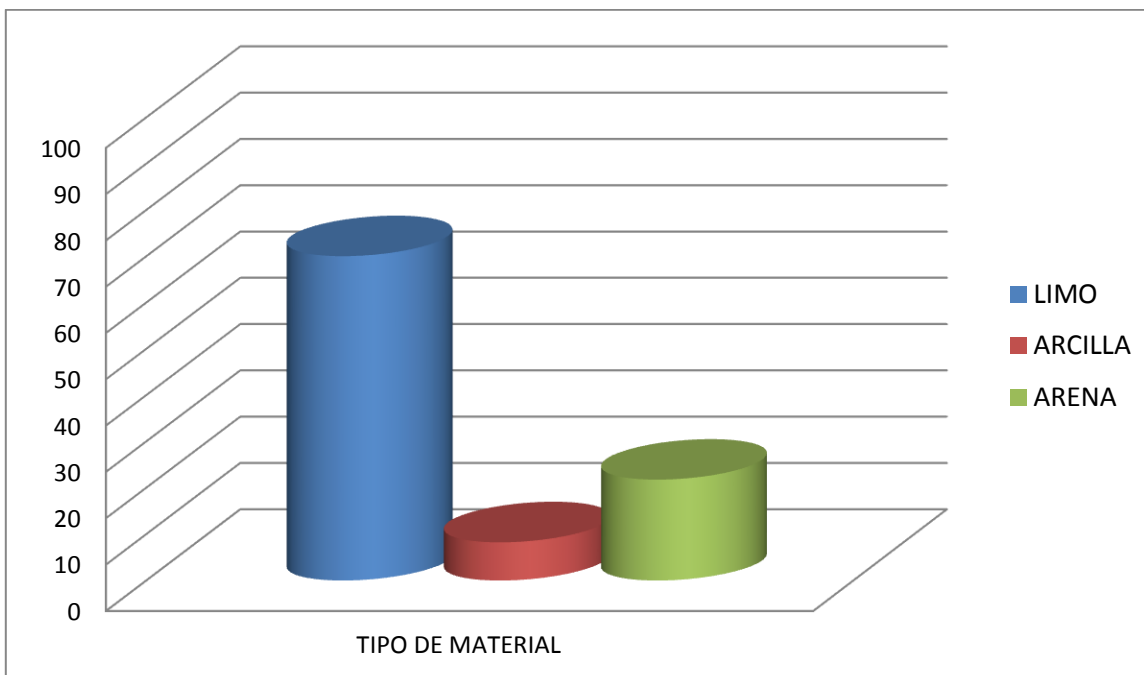


Figura 4.1 Triángulo de textura

**Textura Franco limosa:** es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo. En estado seco tienen apariencia aterronada, al moler o triturar el material se siente cierta suavidad y a la vista se aprecia polvoriento. Ya sea seco o húmedo los moldes formados persistirán al manipularlos libremente, pero al apretarlo entre el pulgar y el resto de los dedos no formarán una "cinta" continua.





**GRÁFICO 4.1** Porcentaje de limo arcilla y arena

Las pruebas y análisis realizados para determinar la textura del lodo proveniente de los decantadores de la planta potabilizadora EMMARS-EP brindaron resultados favorables para el estudio, en vista de que la textura del lodo es de tipo Franco Limoso y esto lo hace versátil para realizar distintas actividades como la deshidratación del lodo y el manejo a la hora de la mezcla y el volteo en el proceso de estabilización del lodo con cal tal como lo recomienda Metcalf y Eddy Inc., 2003.

#### ❖ CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

**CUADRO 4.6** Tabla de resultados de los análisis realizados por el Laboratorio “Lixiviados y Gases Consorcio ILM Las Iguanas” de la ciudad de Guayaquil.

| PARÁMETROS             | UNIDADES     | ACTUAL | MÉTODO DE REFERENCIA           |
|------------------------|--------------|--------|--------------------------------|
| Potencial de Hidrógeno | Unidad de pH | 6,5    | EPA 150.1 PEE-01( $\pm 0.03$ ) |
| *Hierro                | mg/l         | 0,08   | SM XXI (edición) 3500FeB       |
| *Plomo                 | mg/l         | 16,0   | SM XXI (edición) 3500PbD       |
| *Cadmio                | mg/l         | 0,32   | SM XXI (edición) 3500CdD       |

|                           |          |               |                            |
|---------------------------|----------|---------------|----------------------------|
| <b>*Sulfatos</b>          | mg/l     | 35,78         | SM XXI (edición) 4500SO4 E |
| <b>*Aluminio</b>          | mg/l     | 20813,5       | Espectrofotometría         |
| <b>*Mercurio</b>          | mg/l     | < 0,01        | ICP (subcontratación)      |
| <b>Coliformes Totales</b> | nmp/100m | 1600nmp/100ml | NMP                        |

Fuente: Laboratorio "Lixiviados y Gases ILM Las Iguanas"

Este fue el primer análisis realizado al lodo proveniente de los decantadores de la planta potabilizadora EMAARS-EP, cuyos resultados son de mucha importancia para la investigación ya que permite conocer las condiciones iniciales en el que se encuentra el lodo antes de llevarlo al proceso de estabilización con Cal. Los Resultados fueron emitidos por el Laboratorio de Lixiviados y Gases Consorcio ILM-Las Iguanas, laboratorio acreditado que describe de manera detallada parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos como lo muestra el (ANEXO #3).

**CUADRO 4.7** Comparación de resultados obtenidos con las tablas de límites máximos permisibles del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), para los distintos usos del agua:

| <b>PARÁMETROS</b>         | <b>Resultados de laboratorio</b> | <b>Tabla 1. Agua de uso agrícola</b> | <b>Tabla 2. Agua de uso pecuario</b> | <b>Tabla 3. Criterio de calidad de agua para fines recreativos</b> | <b>Tabla 4. Criterio de calidad de agua para fines recreativos de contacto secundario</b> |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| <b>Hierro</b>             | 0,08 mg/l                        | 5.0 mg/l                             | 1.0 mg/l                             | ----   | ----  |
| <b>Plomo</b>              | 16,mg/l                          | 0.05 mg/l                            | 0.05 mg/l                            | ----   | ----  |
| <b>Cadmio</b>             | 0,32mg/l                         | 0.01 mg/l                            | 0.05 mg/l                            | ----   | ----  |
| <b>Sulfatos</b>           | 35,78mg/l                        | ----                                 | ----                                 | ----   | ----  |
| <b>Aluminio</b>           | 20813,5mg/l                      | 5.0 mg/l                             | 5.0 mg/l                             | ----   | ----  |
| <b>Mercurio</b>           | < 0,119 mg/l                     | 0.001 mg/l                           | 0.01 mg/l                            | ----   | ----  |
| <b>Coliformes Totales</b> | 1600 NMP/<br>100ml               | 1000<br>nmp/100ml                    | < 5000<br>nmp/100ml                  | 1000<br>nmp/100ml  | 4000 nmp/100ml  |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

De acuerdo a las comparaciones realizadas se determina que para el caso del parámetro Hierro no excede los límites máximos permisibles establecidos en cualquiera de las tablas aplicadas; el Plomo está sobre pasando limite permisible de manera considerable; en el caso del Cadmio el resultado indica que para la tabla 1 (**Agua de uso agrícola**) y la tabla 2 (**Agua de uso pecuario**) se sobre pasa el limite permisible de manera considerable; posteriormente el Aluminio se encuentra en un nivel muy elevado; en comparación con la tabla 1 (**Agua de uso agrícola**) y la tabla 2 (**Agua de uso pecuario**) el Mercurio supera el límite permisible establecido por la norma; finalmente para el parámetro de Coliformes Totales se muestra que en las tablas 1 y 3 (**Agua de uso agrícola - Criterio de calidad de agua para fines recreativos**) respectivamente se supera el límite máximo permisible establecido en el TULAS.

#### 4.2- ESTABILIZAR QUÍMICAMENTE, LOS LODOS GENERADOS EN LOS SEDIMENTADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA EMAARS-EP DE LA ESTANCILLA.

Realizado el muestreo de los indicadores, temperatura y ph al diseño experimental se obtuvieron los siguientes resultados:

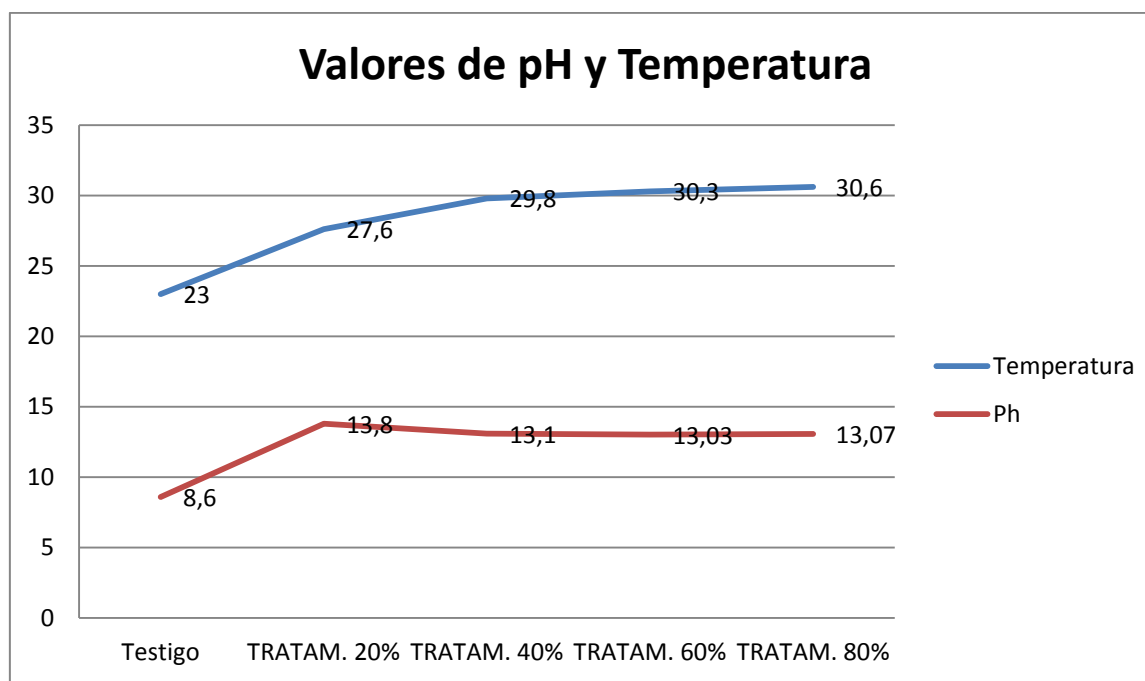
CUADRO 4.8 Día # 1

| PARÁMETROS  | TESTIGO           | TRATAMIENTO<br>20% | TRATAMIENTO<br>40% | TRATAMIENTO<br>60% | TRATAMIENTO<br>80% |
|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura | 42 C <sup>0</sup> | 40 C <sup>0</sup>  | 40 C <sup>0</sup>  | 41 C <sup>0</sup>  | 41 C <sup>0</sup>  |
| pH          | 8,6               | 13,8               | 13,10              | 13,03              | 13,07              |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

Se realizó el control y monitoreo de los parámetros Físicos: temperatura y pH. El monitoreo de la primer semana sirvió de mucho para ver la reacción que tiene la

cal al combinarlo con el lodo respectivamente deshidratado. Se presentaron las reacciones que se esperaban al mantener la temperatura en un rango considerable que permite acondicionar al lodo para el tratamiento a seguir dentro del estudio y además el nivel de pH se incrementó de manera radical, estos efectos son positivos para seguir adelante con el tratamiento tal como lo recomienda un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia; 2005.



**GRÁFICO 4.2** Porcentaje de ph. Y Temperatura

El grafico 4.2 indica que al añadir cal al lodo previamente deshidratado en los diferentes tratamientos [20%(4:1), 40%(3:2), 60%(2:3), y 80%(1:4)] de cal respectivamente se presentaron cambios en el pH tomando como punto de referencia el tratamiento testigo que es el lodo deshidratado puro sin otro reactivo y la temperatura permaneció en un nivel normal.

El efecto fue positivamente visible en pocos minutos al incrementar el nivel de pH del lodo de 8,6 hasta mantenerse en un rango de 13 en los otros tratamientos,

viéndose un aumento diferencial en el tratamiento de 20%(4:1) de cal que fue de 13,8 casi llegando al máximo nivel de alcalinidad. Este cambio es favorable según estudios realizados por Metcalf y Eddy Inc., 2003 en vista de que sus estudios indican que el aumento del pH permite reducir patógenos, eliminar olores ofensivos e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción.

CUADRO 4.9 DÍA # 2

| PARÁMETROS  | TESTIGO             | TRATAMIENTO<br>20%  | TRATAMIENTO<br>40%  | TRATAMIENTO<br>60%  | TRATAMIENTO<br>80%  |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Temperatura | 28,1 C <sup>0</sup> | 27,6 C <sup>0</sup> | 29,8 C <sup>0</sup> | 30,3 C <sup>0</sup> | 30,6 C <sup>0</sup> |
| pH          | 8,36                | 13,20               | 13,13               | 13,16               | 13,13               |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

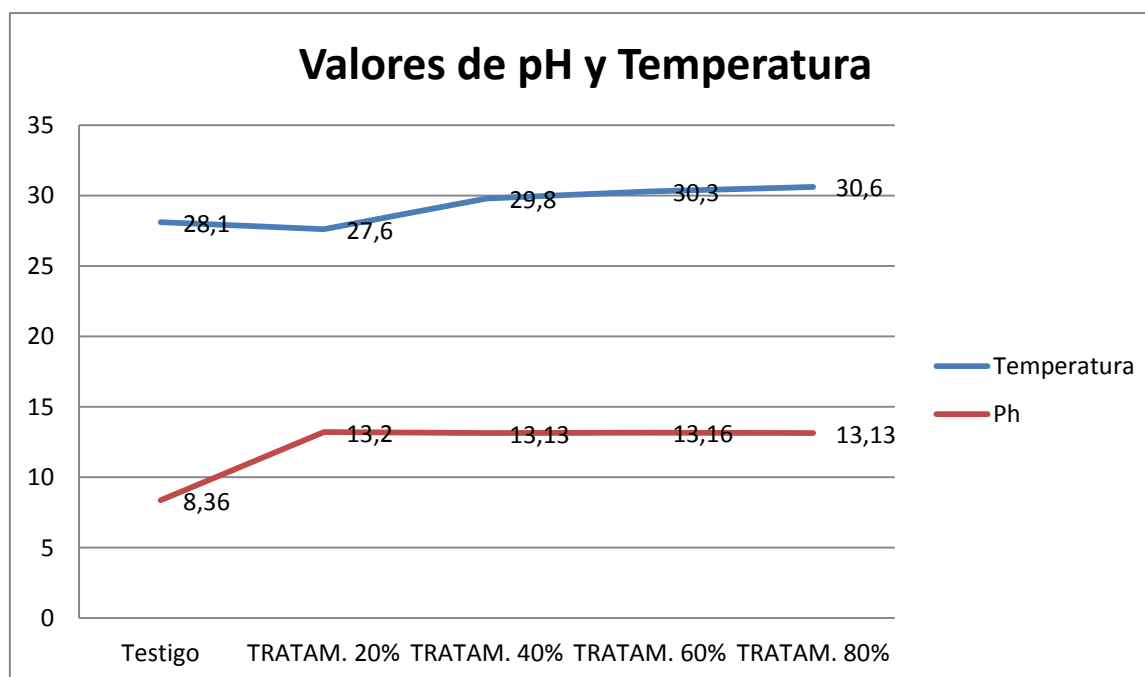


GRÁFICO 4.3 Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 2

En el segundo día de monitoreo equivalente a la segunda semana del proceso de estabilización del lodo, se observó un pequeño decreciente en la temperatura con

relación al primer día de monitoreo DIA 1. La temperatura se mantuvo en relación al nivel de la temperatura ambiente de  $28,1\text{ C}^{\circ}$  -  $30,6\text{ C}^{\circ}$  , mientras que el pH comenzó a marcar diferencia en el tratamiento de 20% de cal al tener mayor nivel de pH que en los otros tratamientos.

Una disminución de la temperatura es indicador de una disminución en la actividad microbiana por falta de aireación, deficiencia de agua o de disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, un aumento de temperatura refleja una óptima actividad microbiana tal como lo confirma el científico Baeta-Hall; 2002.

CUADRO 4.10 DÍA # 3

| PARÁMETROS  | TESTIGO             | TRATAMIENTO<br>20%  | TRATAMIENTO<br>40%  | TRATAMIENTO<br>60%  | TRATAMIENTO<br>80%   |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Temperatura | 32,7 C <sup>0</sup> | 33,2 C <sup>0</sup> | 32,6 C <sup>0</sup> | 34,4 C <sup>0</sup> | 35,09 C <sup>0</sup> |
| pH          | 8,40                | 13,12               | 13,09               | 13,09               | 13,09                |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

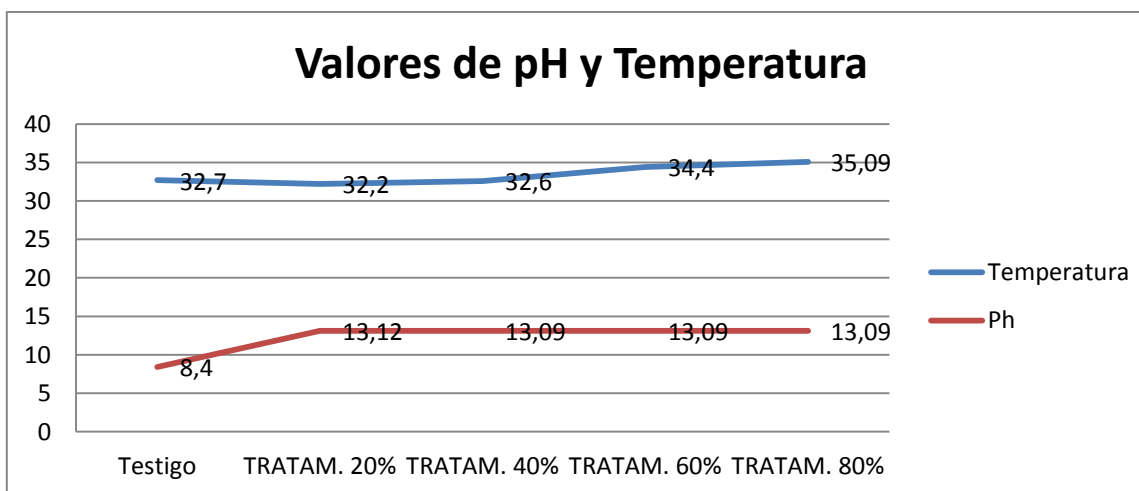


GRÁFICO 4.4 Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 3

El tercer día de monitoreo empezó a confirmar la eficacia que tenía el tratamiento con el 20% (4:1) de cal, ya que la temperatura era inferior a los otros tratamientos y el pH era superior al de los demás. El tratamiento del 20% de cal sobresale eficazmente entre los otros tratamientos ya que le temperatura es inferior y esto indica la disminución de actividad microbiana basado en los estudios de Baeta-Hall;2002 y en el parámetro de pH también favorece a este tratamiento por tener un nivel de pH mayor a los demás y esto es beneficioso para el tratamiento ya que el incremento del pH a niveles iguales o superiores a 12 unidades durante el tiempo de contacto suficiente para alcanzar un alto nivel de reducción de patógenos (al menos 2 h) y para suministrar suficiente alcalinidad residual que lo mantenga varios días por encima de 11 unidades, confirmado por (Water Environmental Federation [WEF], 1998).

CUADRO 4.11 Día # 4

| PARÁMETROS  | TESTIGO             | TRATAMIENTO<br>20%  | TRATAMIENTO<br>40%  | TRATAMIENTO<br>60%  | TRATAMIENTO<br>80%  |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Temperatura | 35,8 C <sup>0</sup> | 36,5 C <sup>0</sup> | 39,5 C <sup>0</sup> | 39,3 C <sup>0</sup> | 38,2 C <sup>0</sup> |
| pH          | 8,38                | 13,18               | 13,07               | 13,08               | 13,04               |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

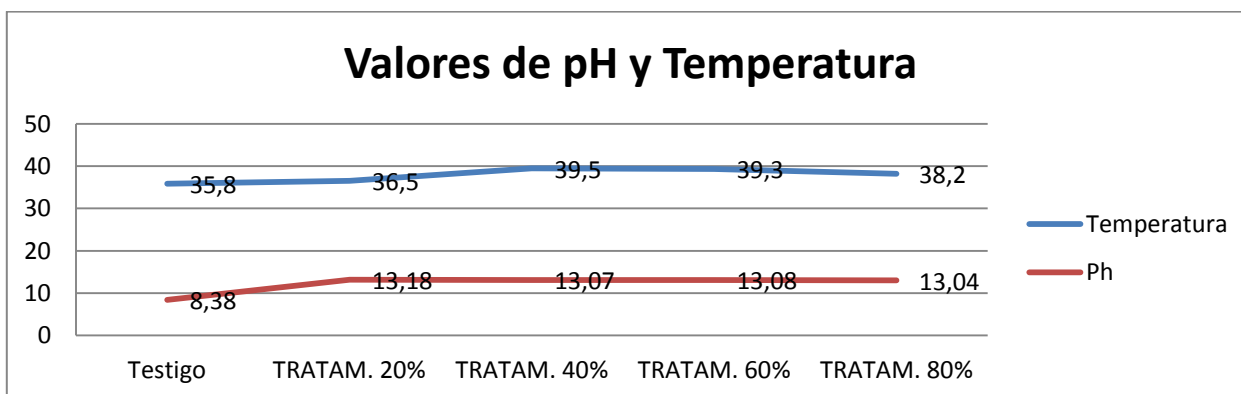


GRÁFICO 4.5 Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 4

El cuarto día de monitoreo no presentó ninguna novedad respecto a los monitores realizados en las semanas anteriores, confirmándose que la mezcla de lodo con el 20% (4:1) de cal era el tratamiento que mejores resultados presentaba debido a que la temperatura era inferior a los demás y el pH superior a los otros tratamientos. Resultados favorables y necesarios para la correcta estabilización del lodo.

CUADRO 4.12 DÍA # 5

| PARÁMETROS  | TESTIGO | TRATAMIENTO<br>20%   | TRATAMIENTO<br>40%   | TRATAMIENTO<br>60% | TRATAMIENTO<br>80% |
|-------------|---------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura | 28,1    | 39,05 C <sup>0</sup> | 41,09 C <sup>0</sup> | 42 C <sup>0</sup>  | 43 C <sup>0</sup>  |
| pH          | 8,56    | 13,24                | 13,17                | 13,12              | 13,12              |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

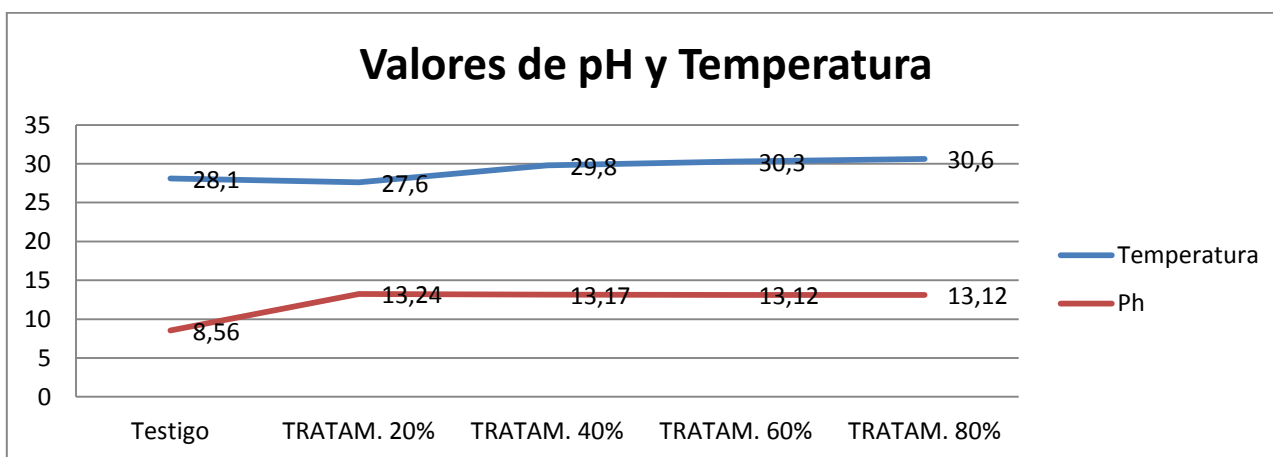


GRÁFICO 4.6 Porcentaje de ph. Y Temperatura día # 5

El día 5 se realizó el ultimo monitoreo correspondiente a la actividad del proceso de estabilización del lodo; los valores de pH y temperatura seguían favoreciendo al tratamiento del 20% de cal al mantener los grados de temperaturas inferior y las unidades de pH superior en relación con los otros tratamientos.



Realizado este último monitoreo ya se obtuvieron todos los datos necesarios para realizar una tabulación de los mismos y obtener como resultado la elección del mejor tratamiento del lodo estabilizado para utilizarlo en el estudio y elaborar el compost orgánico.

#### 4.2.1- ESTABLECIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL COMPOST ORGÁNICO.

CUADRO 4.13 Control de temperatura y sus repeticiones

| Tratamientos       | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Y <sub>i</sub>            | Ȳ <sub>i</sub>             |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| lodos + 20% de cal | 27,6           | 33,2           | 36,5           | 39,05          | 136,35                    | 34,0875                    |
| lodos + 40% de cal | 29,8           | 32,6           | 39,5           | 41,09          | 142,99                    | 35,7475                    |
| lodo + 60% de cal  | 30,3           | 34,4           | 39,3           | 42,00          | 146,00                    | 36,5                       |
| lodo + 80% de cal  | 30,6           | 35,09          | 38,2           | 43,00          | 146,89                    | 36,7225                    |
| Y <sub>j</sub>     | 118,3          | 135,29         | 153,5          | 165,14         | ΣY <sub>ij</sub> = 572,23 | Ȳ <sub>i</sub> = 35,764375 |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

CUADRO 4.14 Análisis de Varianza Temperatura

| Fuente de variación | Gl | SC         | CM          | F. Calculado      | F. tabla |
|---------------------|----|------------|-------------|-------------------|----------|
| Total               | 15 | 34,099039  | 105,829205  | **                |          |
| Bloques             | 3  | 317,487615 | 5,695121667 | 148,4185747<br>** | 3,86     |
| Tratamientos        | 3  | 17,085365  | 0,713045555 | 7,987037612       | 3,86     |
| Error Experimental  | 9  | 6,41741    |             |                   |          |

CV = 2,36 %  
TUKEY =1,86%

Elaborado por: López y Rivas (2013)

\*\* Altamente significativo, \*Significativo, NS no significativo

Al realizar el análisis de varianza al factor de la temperatura a los diferentes tratamientos [20%(4:1), 40%(3:2), 60%(2:3), y 80%(1:4)] existen diferencias

altamente significativas entre tratamientos y esto se lo comprobó estadísticamente con la prueba de tukey.

Según Baeta-Hall un aumento de temperatura refleja una óptima actividad microbiana en particular, para mitigar o estabilizar los efectos relacionados a la putrefacción y al potencial de olor, debido a que la temperatura era inferior a los demás tratamientos y el pH superior tal como lo recomienda Metcalf y Eddy

**CUADRO 4.15** Control del pH

| Tratamientos       | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> | Y <sub>i</sub>            | Ȳ <sub>i</sub>             |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| Lodos + 20% de cal | 13,8           | 13,20          | 13,12          | 13,18          | 53,3                      | 13,325                     |
| lodos + 40% de cal | 13,10          | 13,13          | 13,09          | 13,07          | 52,39                     | 13,0975                    |
| lodo + 60% de cal  | 13,03          | 13,16          | 13,09          | 13,08          | 52,36                     | 13,09                      |
| lodo + 80% de cal  | 13,07          | 13,13          | 13,09          | 13,04          | 52,33                     | 13,0825                    |
| Y <sub>j</sub>     | 53,00          | 56,62          | 52,39          | 52,37          | ΣY <sub>ij</sub> = 210,38 | Ȳ <sub>i</sub> = 35,764375 |

**CUADRO 4.16** de Análisis de Varianza al pH

| Fuente de variación | GI | SC       | CM          | F. Calculado       | F. tabla |
|---------------------|----|----------|-------------|--------------------|----------|
| Total               | 15 | 0,485175 |             |                    |          |
| Bloques             | 3  | 0,064325 | 0,021441666 | N s<br>0,757581703 | 3,86     |
| Tratamientos        | 3  | 0,166125 | 0,055375    | N s<br>1,956521793 | 3,86     |
| Error Experimental  | 9  | 0,254725 | 0,028302777 |                    |          |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

\*\* Altamente significativo, \*Significativo, NS no significativo

CV = 1,27

TUKEY = 0,37

Al realizar el análisis de varianza al factor del pH a los diferentes tratamientos [20%(4:1), 40%(3:2), 60%(2:3), y 80%(1:4)] no existen diferencias significativas entre tratamientos y esto se lo comprobó estadísticamente con la prueba de tukey.

Según estudios realizados por Metcalf y Eddy Inc. indican que el aumento del pH permite la remoción o reducción de patógenos. ya que el incremento del pH a niveles iguales o superiores a 12 unidades durante el tiempo de contacto suficiente para alcanzar un alto nivel de reducción de patógenos (al menos 2 h) y para suministrar suficiente alcalinidad residual que lo mantenga varios días por encima de 11 unidades, confirmado por (Water Environmental Federation [WEF], 1998)

#### **4.3.1 - DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO**

De acuerdo a las variables a medir temperatura y pH se logró determinar como mejor tratamiento la combinación de cal y lodo la del (20%) es el que se mantuvo dentro de los rangos permitidos en base al cumplimiento de referencias pertinentes es el más adecuado para utilizarlo en la elaboración del compost orgánico.

Las referencias permanentes al elegir este tratamiento fueron las siguientes.

- La disminución de la temperatura a lo largo del proceso de estabilización ayuda a la reducción de la actividad microbiana. Baeta-Hall; 2002.
- El aumento del pH iguales o superiores a 12 unidades, permite reducir patógenos, eliminar olores ofensivos e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción. Metcalf y Eddy Inc; 2003.
- Al ser el tratamiento con menor porcentaje de cal utilizado, reduce los costos en la elaboración del proceso de estabilización y además permite utilizar en mayor grado el lodo que proveniente de los decantadores de la planta potabilizadora EMMARS-EP, favoreciendo a la reducción del índice de contaminación de los mismos. Redalyc; 2002.

### 4.3.2- ANÁLISIS AL MEJOR TRATAMIENTO

CUADRO 4.17 Análisis realizados por el laboratorio "LIXIVIADOS Y GASES CONSORCIO ILM LAS IGUANAS"

| PARAMETROS         |                | UNIDADES | MÉTODO DE REFERENCIA                 |
|--------------------|----------------|----------|--------------------------------------|
| <b>Resultados</b>  |                |          |                                      |
| Humedad            | %              | 2,7      | Gravimétrico                         |
| Aluminio           | mg/Kg          | 10611,3  | Absorción atómica                    |
| Mercurio           | mg/Kg          | 0,117    | Absorción atómica                    |
| pH                 | Unidades de pH | 10,4     | EPA 150.1                            |
| Hierro             | mg/Kg          | < 0,02   | Método de 8008 Hach                  |
| Plomo              | mg/Kg          | 12,0     | SM XXI 3500-Pb D<br>Método 8033 Hach |
| Cadmio             | mg/Kg          | 0,12     | SM XXI 3500-Cd D<br>Método 8017 Hach |
| Sulfatos           | mg/Kg          | < 2,0    | EPA 375.4<br>Método 8051 Hach        |
| Coliformes Totales | UFC/g          | < 1      | Petrifilm                            |
| Coliformes Fecales | UFC/g          | < 1      | Petrifilm                            |

Fuente: Laboratorio "Lixiviados y Gases ILM Las Iguanas"

Estos resultados pertenecen al segundo análisis realizado al lodo estabilizado, y se muestran diferencias en comparación con el primer análisis realizado al lodo proveniente del decantador o testigo (Lodo sin estabilizar). En los parámetros Físicos, el porcentaje de humedad presenta un gran cambio en vista de que la primera muestra contenía una gran cantidad de líquido y la segunda muestra el lodo pasó por el proceso de deshidratación y estabilización con Cal es por esto que el porcentaje de Humedad decreció a gran escala y el nivel de pH aumentó gracias a la reacción de la Cal viva con el lodo tal como lo muestra el (Anexo 3).

Los parámetros Químicos incluyen metales pesados, los cuales la mayoría se logró reducir en una escala menor. Los metales más representativos como el Aluminio y el Plomo demostraron una gran reducción al pasar por el proceso de estabilización con Cal, esta reacción ayuda al acondicionamiento del lodo para elaborar compost orgánico, estos cambios pueden ser visualizados en comparación con el (Anexo 3).

Finalmente en el parámetro microbiológico tenemos los Coliformes Totales, los cuales no se mantuvieron estables en vista de que el proceso de estabilización con Cal reacciona sobre ellos eficientemente

**CUADRO 4.18** Resultado control de los indicadores temperatura ph y relación carbono nitrógeno en la elaboración del compost

| PARAMETRO   | COMPOST (aserrín) | COMPOST (lechuguin) | COMPOST (casco de cacao) | COMPOST (mezcla de casco de cacao + lechuguin) |
|-------------|-------------------|---------------------|--------------------------|--|
| % M.O       | 59,22 %           | 48,54 %             | 50,48%                   | 52,42%   |
| TEMPERATURA | 25                | 23                  | 26                       | 26   |
| ph          | 10,14             | 9,41                | 10,14                    | 8,91   |
| R C-N       | 2,96              | 2,42                | 2,52                     | 2,62   |

Elaborado por: López y Rivas (2013)

El resultado en el control de los indicadores temperatura, ph, y relación carbono en el proceso del compost comprueba nuestra hipótesis que si se puede elaborar compost con los lodos generados en los sedimentadores de la planta de tratamiento EMAARS EP previamente estabilizado. (Ver Anexo # 16)

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

**De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye:**

- Los metales pesados exceden los límites máximos permisibles para los parámetros (plomo, cadmio, aluminio y mercurio), excepto el hierro que no excede los límites permitidos para agua, según el TULAS.
- La estabilización de lodos con cal es una de las alternativas más viables en comparación con la aplicación de tratamientos químicos, ya que permite utilizar en mayor grado el lodo proveniente de los decantadores de la planta potabilizadora EMMARS-EP y además reduce los costos en la elaboración del proceso de estabilización.
- La mezcla del lodo (4Kg) y (1Kg) (4:1) cal fue la dosis idónea para la estabilización de los lodos por que la disminución de temperatura a lo largo del proceso ayuda a la estabilización y el aumento del ph superiores a 12 unidades permite reducir patógenos
- Los resultados de los análisis de los metales pesado (aluminio, mercurio, plomo, cadmio y hierro) establece que la reducción de estos en comparación con la caracterización inicial si reduce los niveles de contaminación, pero no obstante los parámetros se encuentran en alto grado de permanencia; y de los análisis microbiológicos al mejor tratamiento, indican la reducción de Coliformes fecales y totales

- Los indicadores, temperatura, ph y relación carbono nitrógeno del compost elaborado, determinaron que se puede elaborar compost orgánico a partir del lodo generado en los sedimentadores de la planta de agua potable EMAARS-EP, previo a la estabilización aunque los niveles de metales pesados son muy elevados

## **5.2. RECOMENDACIONES**

**En base a las conclusiones, se recomienda:**

- Realizar controles y registros del pH de los lodos que genera la planta de agua para facilitar futuras investigaciones.
- A la planta de agua potable EMAARS-EP que aproveche este residuo (lodo) a través de compostaje, previa estabilización de los mismo
- Reducir las concentraciones de Coliformes totales de los lodos provenientes de los sedimentadores a través del incremento de la temperatura con la estabilización con cal
- Aplicar planes de reforestación con instituciones encargadas en el cuidado de las cuencas hidrográficas para disminuir el nivel de turbidez en las aguas del río.
- Realizar una investigación específica para la eliminación o reducción a mayor escala de los metales pesados dentro del parámetro químico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdenaucer, H., Kaouala, B., Naceur, J., Ameer, Ch., Mohamed, Ch., Abdellatif, B. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 217: 217-225.
- Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). 2009  
LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL. (D. S. 374 de Mayo de 1976. Modificada por la Ley de  
Gestión Ambiental, aprobada el 22 de julio de 1999).
- Baeta-Hall, L., Saagua, M.C., Bartolomeu, M.L., Anselmo, A.M., Rosa, M.F. (2002).  
Acompostagem como processo de valorização dos resíduos produzidos na  
estacção de azeite em contínuo. *Boletín de Biotecnología*. 72: 31-37.
- Barros, R; Chernicharo, C; Heller, L; y von Sperling, M; 1996. Manual de saneamento  
e proteção ambiental para os municípios. Vol. 2. Saneamento. Universidade  
Federal de Minas Gerais (UFMG). Ed. Segrac, Brasil. 221 p.
- Butler, T.A., Sikora, L.J., Steinhilber, P.M., Douglas, L.W. (2001). Compost age and  
sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal  
Environmental Quality*. 30: 2141-2148.
- Castillo, F. y Pérez, A. 2009. Viabilidad técnica de uso de lodos de Estaciones de  
Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) en la fabricación de materiales  
cerámicos para la construcción. AITEMIN-Centro Tecnológico; Dpto. de  
Materiales de Construcción, C/Río Cabriel, s/n; 45007 Toledo.
- Castrillón, O., Bedoya, O., Montoya, D. (2006). Efecto del pH sobre el crecimiento de  
microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de  
compost. *Producción+Limpia*. Volumen1. Nº 2: 87-98. (En línea). EC.  
Consultado el 02 de Agosto del 2012. Formato (PDF).



- Cegarra, J. (1994). Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. Memorias VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Bucaramanga, Colombia.
- Cerón, O; Millán, S; Espejel, F; Rodríguez, A; y Ramírez, R. 2007. Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar materiales de construcción. Instituto de Ingeniería, UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental, Edif. 5, Ciudad Universitaria. Coyoacán CP. 04510 México, D.F.
- Costa, F., García, C., Hernández, T., Polo, A. (1995). Residuos orgánicos urbanos: manejo y utilización. 2ª Ed., Ed. CSIC, España.
- Diario Oficial de la Federación (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamiento al que debe someterse para su potabilización
- Duhigg, Charles (2009-12-16). "That Tap Water Is Legal but May Be Unhealthy". New York Times: p. A1.
- Ecoamérica: Tecnologías limpias para el nuevo milenio, (2001). Compostaje: creciendo en calidad. Chile. Ed. N°9: 14-15.
- Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM-MFL), Manual del Sistema de Investigación Institucional Segunda edición, 2012
- Gea, T., Barrena, R., Artola, A., Sánchez, A. (2007). Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting. *Waste Management*. 27:1108-1116.
- GRANDIN, S. Deshidratación de Lodos Producidos en Estaciones de Tratamiento de Agua. 17º Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Vol. 2. 19 al 23 de Septiembre de 1993.

- Gobierno Provincial de Manabí (GPM) 2007. Cantón Tosagua. (En Línea).EC. Consultado, 2010 formato (base de datos). Disponible en; <http://www.manabi.gov.ec/cantones.php?id=5>;  
<http://www.visitaecuador.com/costa>
- Grube, M., Lin, J.G., Lee P.H., Kokorevicha, S. (2006) Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy. *Geoderma*. 130: 324-333.
- Hernández, D; Villegas, J; Castaño, J; y Paredes, 2006. Incidencia de los Pretratamientos en medios porosos en el tratamiento de agua químicamente coagulada. Tesis de Maestría. Universidad del Valle.
- Herrera, S. "Eliminación De Lodos De Una Edar". Febrero 2003.
- Hogan, J. (1998). Composting. Pp. 357-383. In: G. Lewandowski and L. De Filippi (ed.). *Biological Treatment of Hazardous Wastes*, New York, Estados Unidos.
- Ilhenfeld, R; Andreoli, C; y de Lara, A. 1999. Higienização do lodo de esgoto. pp. 34-45. En: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Brasil. 97p.
- INTEC (1999). Manual de compostaje. Corporación de investigación tecnológica de Chile.
- Liang, Y., Leonard, J.J., Feddes, J.J.R., McGill, W.B. (2006). Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting. *Bioresource Technology*. 97:748-761.
- Mendonça, S.R. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego. McGraw-Hill, Colombia. 370 p.

- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. Fourth edition. McGraw-Hill, USA. 1771 p.
- Metcalf & Eddy, INC. (1995). Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Vol. II, 3ª Ed., Mc Graw-Hill, España
- Miyataki, F., Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Bioresource Technology*. 97: 61-65.
- Mujica, Viky; PÉREZ, Cathy; LEDEZMA, Gaudy; ORTEGA, Mario. 2009 Propuesta Técnica para el Tratamiento y Disposición Final de los Lodos Provenientes de una Planta Potabilizadora. Venezuela [http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/VE05190\\_Mujica.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/VE05190_Mujica.pdf)
- ODM. 2004. (Objetivos de Desarrollo del Milenio). Tomada del Plan de Desarrollo Provincial de Manabí 2004. CONCOPE (Consortio de Consejos Provinciales del Ecuador). 25 p.
- RUIZ A. 1999. Los residuos procedentes de las potabilizadoras y su Valorización agrícola: Regulación. Universidad de Navarra. 26 pp.
- Tognetti, C., Mazzarino, M.J., Laos, F. (2007 b). Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*. 98: 1067-1076.
- Trois, C., Polster, A. (2007). Effective pine bark composting with the Dome Aeration Technology. *Waste Management*. 27: 96-105.
- Texto Único de la Legislación Ambiental Secundaria (2008); Libro Sexto, Anexo Uno. (TULAS. libro VI-anexo 1

Water Environmental Federation (WEF). 1998. Design of wastewater treatment plants. Fourth edition. Manual of practice 3(8). Water Environmental Federation, USA.

Zbytniewski, R., Buszewski, B. (2005). Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. *Bioresource Technology*. 96: 471-478.

Zmora-Nahum, S., Markovitch, O., Tarchitzky, J., Chen, Y. (2005). Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology & Biochemistry*. 37:2109- 2116

# **ANEXOS**

### ANEXO # 1



1-A Toma de muestra al vaciado del sedimentador

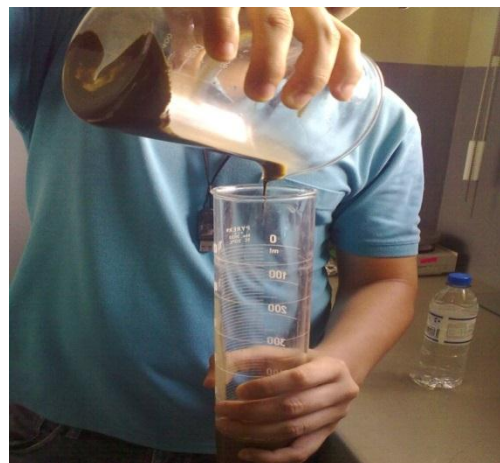


1-B Muestra para el envío al laboratorio

### ANEXO # 2




2-A Análisis de textura



2-B Análisis de textura

## ANEXO # 3

  
Laboratorio de lixiviados y gases  
Km. 14.5 vía a Daule

**LABORATORIO DE  
ENSAYOS**  
No. QJE LEC 18 - 015

**INFORME DE RESULTADOS**  
058-12


| DATOS DEL CLIENTE |                  |
|-------------------|------------------|
| Nombre:           | Jonathan Rivas   |
| Dirección:        | Cacabá - Vianchi |
| Teléfono:         | 099532102        |
| Solicitado por:   | Jonathan Rivas   |

| DATOS DE LA MUESTRA               |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Tipo de muestra:                  | Fango     |
| Cantidad:                         | 2.000 ml. |
| Identificación:                   | 110712    |
| Muestreo realizado por el cliente |           |

| CONDICIONES AMBIENTALES             |                         |                           |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Temperatura:                        | 21- 22 °C               | Humedad:                  | 44-52 %                 |
| Fecha de Inicio del Análisis:       | 08 de Noviembre de 2012 | Fecha Recepción muestra:  | 08 de Noviembre de 2012 |
| Fecha de Finalización del Análisis: | 10 de Noviembre de 2012 | Fecha de emisión Informe: | 12 de Noviembre de 2012 |


| PARÁMETROS             | UNIDADES     | Actual       | Método de Referencia     |
|------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| Potencial de Hidrógeno | Unidad de pH | 6,5          | SPA 150.1 PSC-01 (40.02) |
| Nitro                  | mg/l         | 0,08         | SN 100 (edición) 2002#0  |
| Nitro                  | mg/l         | 10,0         | SN 100 (edición) 2002#0  |
| Cadmio                 | mg/l         | 0,32         | SN 100 (edición) 2002#0  |
| Sulfato                | mg/l         | 35,75        | SN 100 (edición) 4502#04 |
| Aluminio               | mg/l         | 20313,5      | Espectrofotometría       |
| Mercurio               | mg/l         | <0,01        | ICP (subcontratación)    |
| Coliformes totales     | mp/100ml     | 1000mp/100ml | NUP                      |

FORPDS 10-01 Rev. 02 Página 1 de 2

  
Laboratorio de lixiviados y gases  
Km. 14.5 vía a Daule

**NOTAS:**

- Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
- No se debe Reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- Los valores máximos permisibles han sido obtenidos Del TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION AMBIENTAL ECUATORIANA.
- Los Análisis subcontratados serán identificados mediante doble asterisco.
- Los parámetros no acreditados serán identificados mediante un asterisco.

  
KATHERINE PIZA ORELLANA  
Jefe de Laboratorio  
Laboratorio de Lixiviados y Gases  
Consortio ILM Las Iguanas

FORPDS 10-01 Rev. 02 Página 2 de 2

**3-A Resultado del análisis del laboratorio**  
**Lixiviados y Gases Consorcio ILM Las Iguanas**

**ANEXO # 4**  
**TOMA DE MUESTRAS**



**4-A Toma de muestra**



**4-B Llegada de la muestra**



**4- C Vaciado de la muestra**



**4- D Muestra homogenizada**



**ANEXO # 5**  
**ELABORACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL**



**5- A Señalización del proyecto**



**5-B Preparación del terreno**



**5- C Camas Con Diferentes Tratamientos después**



**5- D Diferentes tratamientos semanas**

## ANEXO # 6

Pesado de la muestra



6-A PESADO DE MUESTRA SECA



6- B PESADO DEL LODOD ESTABILIZADO

## ANEXO # 7

### Análisis de pH



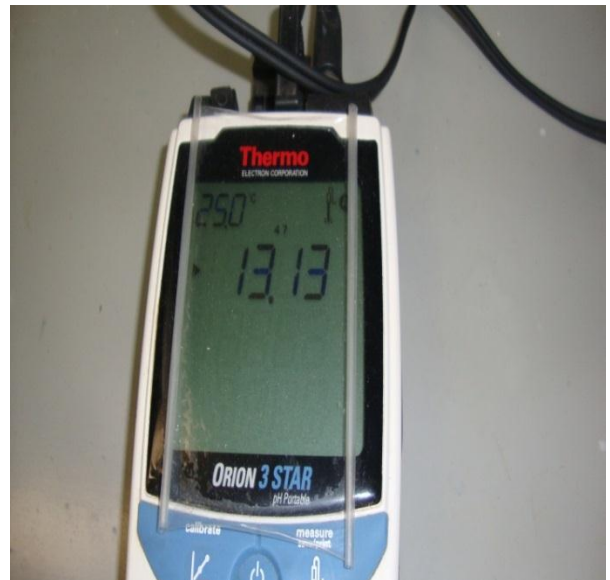
7-A Análisis de ph



7-B Análisis de ph



7-C Análisis de ph



7-D Análisis de ph

**ANEXO # 8**  
**Análisis de temperatura**



**8-A Análisis de Temperatura**



**8-B Análisis de Temperatura**



**8-C Análisis de Temperatura**



**8-D Análisis de Temperatura**

## ANEXO # 9

### Formulas

#### ESQUEMA DEL ANOVA EN DBCA (ANOVA DE 2 VIAS)

| FUENTE DE VARIACION | GI         | SC                        | CM               | F CALCULADO        |
|---------------------|------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| TOTAL               | rt - 1     | $\sum \sum y_{ij}^2 - Fc$ |                  |                    |
| BLOQUES             | r - 1      | $\sum y_i^2 / t - Fc$     | SCB/GI B         | CMB / CM error     |
| TRATAMIENTO         | t-1        | $\sum y_j^2 / r - Fc$     | SC trat/ GI trat | CM trat / CM error |
| ERROR EXPERIM       | Diferencia | Diferencia                | SCe / GI error   |                    |

$$CV = \sqrt{\frac{CMerror}{\bar{Y}}} \times 100$$

Coefficiente de variación

$$FC = (\sum \sum y_{ij})^2 / N$$

F. Calculado

$$T = Q(\alpha, p, v) (S\bar{y})$$

Prueba de tukey

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{CMerror}{n}}$$

## ANEXO # 10

### Monitoreo de temperatura al compost

| PARAMETRO   | COMPOST<br>(aserrín) | COMPOST<br>(lechuguin) | COMPOST<br>(casco de<br>cacao) | COMPOST<br>(mezcla de<br>casco de<br>cacao +<br>lechuguin) |
|-------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|--|
| TEMPERATURA | 27                   | 27                     | 28                             | 28   |
| TEMPERATURA | 29                   | 28                     | 30                             | 33   |
| TEMPERATURA | 35                   | 34                     | 32                             | 39   |
| TEMPERATURA | 39                   | 40                     | 36                             | 41   |
| TEMPERATURA | 45                   | 41                     | 40                             | 39   |
| TEMPERATURA | 31                   | 43                     | 43                             | 44   |
| TEMPERATURA | 29                   | 33                     | 40                             | 41   |
| TEMPERATURA | 23                   | 28                     | 29                             | 31   |

Elaborado por: López y Rivas (2013)


### Monitoreo del pH al compost

| PARAMETRO | COMPOST (aserrín) | COMPOST (lechuguín) | COMPOST (casco de cacao) | COMPOST (mezcla de casco de cacao + lechuguín) |
|-----------|-------------------|---------------------|--------------------------|--|
| pH        | 10,45             | 10,68               | 10,72                    | 10,91  |
| pH        | 10,22             | 10,87               | 10,52                    | 10,71  |
| pH        | 10,11             | 10,52               | 10,32                    | 10,60  |
| pH        | 10,00             | 10,30               | 10,27                    | 10,55  |
| pH        | 9,00              | 10,34               | 10,23                    | 10,40  |
| pH        | 9,00              | 10,00               | 10,19                    | 9,81   |
| pH        | 8,97              | 9,41                | 10,14                    | 8,91   |



Elaborado por: López y Rivas (2013)

## ANEXO # 11

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

| INFORME DE RESULTADOS  |  |                           |                                      |
|--|--|---------------------------|--------------------------------------|
| 022-13   |  |                           |                                      |
| <br>Laboratorio de Lixiviados y gases<br>Km. 14.6 vía a Daule |  |                           |                                      |
| DATOS DEL CLIENTE  |  |                           |                                      |
| Nombre:  | Jonathan Rivas   |                           |                                      |
| Dirección:   | Ricaurte y Zuera,<br>Carabela - Manabí   |                           |                                      |
| Teléfono:  | 0926362709   |                           |                                      |
| Solicitado Por:  | Jonathan Rivas   |                           |                                      |
| DATOS DE LA MUESTRA  |  |                           |                                      |
| Tipo de muestra:   | Lodos activados  | Cantidad:                 | 500 gramos                           |
| Identificación:  | 152313   | Hora de muestreo:         | 15h00                                |
| Lugar de Toma:   | Pilas de compostaje ubicadas en el área del centro de reciclaje de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPPAM) | Punto de Muestreo:        | Pilas de compostaje                  |
| Fecha de muestreo:   | 05 de Marzo de 2013  |                           |                                      |
| CONDICIONES AMBIENTALES  |  |                           |                                      |
| Temperatura:   | 21- 23 °C  | Humedad:                  | 44-52 %                              |
| Fecha de Inicio del Análisis   | 05 de Marzo de 2013  | Fecha Recepción muestra:  | 05 de Marzo de 2013                  |
| Fecha de Finalización del Análisis   | 23 de Marzo de 2013  | Fecha de Emisión Informe: | 12 de Abril de 2013                  |
| PARAMETROS   | UNIDADES   | Resultados                | Método de Referencia                 |
| Humedad  | %  | 2,7                       | Gravimétrico                         |
| Aluminio   | mg/Kg  | 10611,3                   | Absorción atómica                    |
| Mercurio   | mg/Kg  | 0,117                     | Absorción atómica                    |
| pH   | Unidades de pH   | 10,4                      | EPA 150.1                            |
| Hierro   | mg/Kg  | < 0,02                    | Método de 8008 Hach                  |
| Plomo  | mg/Kg  | 12,0                      | SM XXI 3000-Pb D<br>Método 8033 Hach |
| Cadmio   | mg/Kg  | 0,12                      | SM XXI 3000-Cd D<br>Método 8017 Hach |
| Sulfatos   | mg/Kg  | < 2,0                     | EPA 375.4<br>Método 8051 Hach        |
| Coliformes Totales   | UFC/g  | < 1                       | Petrifilm                            |
| Coliformes Fecales   | UFC/g  | < 1                       | Petrifilm                            |

FOR-PGS-10-01 Rev. 02 Página 1 de 2

| INFORME DE RESULTADOS  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| 022-13   |  |  |  |
| <br>Laboratorio de Lixiviados y gases<br>Km. 14.6 vía a Daule   |  |  |  |
| <p><b>NOTAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.</li> <li>No se debe Reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio</li> <li>Los valores máximos permisibles han sido obtenidos Del TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION AMBIENTAL ECUATORIANA.</li> <li>Los Análisis subcontratados serán identificados mediante doble asterisco.</li> <li>Los parámetros no acreditados serán identificados mediante un asterisco.</li> </ul> |  |  |  |
| <br><b>KATHERINE PIÑA ORELLANA</b><br>Jefe de Laboratorio<br>Laboratorio de Lixiviados y Gases<br>Consorcio ILM-Las Iguazas   |  |  |  |

FOR-PGS-10-01 Rev. 02 Página 2 de 2

### 11-A Análisis de Laboratorio



## ANEXO # 12 VOLTEO Y HUMECTACIÓN



12 -A Humectación



12 -B Volteo

## ANEXO # 13

### Análisis de pH del compost



## ANEXO # 14

### Medición de la temperatura del compost



14- A Control de la temperatura



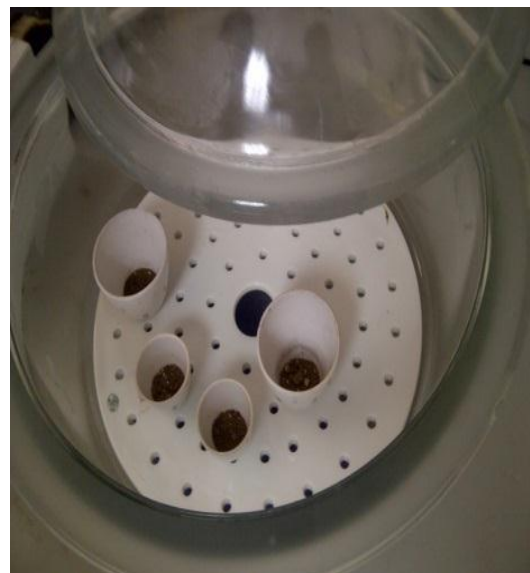
14- B Control de la temperatura

## ANEXO # 15

### Análisis de Relación Carbono Nitrógeno



15- A CRISOLES EN LA MUFLA



15- B CRISOLES EN EL DESECADOR

## ANEXO # 16

### PRODUCTO FINAL



Compost orgánico Elaborado