



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE  
TECNOLOGÍA**

**CENTRO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE MAGISTER EN: SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA:** EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA E IDENTIFICACIÓN MICROBIOLÓGICA DE *SALMONELLA SP.*, *SHIGELLA SP.*, Y *ESCHERICHIA COLI* DEL COMPOSTAJE PRODUCIDO POR EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO (GAD) DE LA CIUDAD DE CUENCA.

**AUTOR: TUTILLO LARREA, ANGEL GABRIEL**

**DIRECTOR: Ph D. IZQUIERDO ROMERO, ANDRES RICARDO**

**SANGOLQUÍ,**

**2018.**



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "*EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA E IDENTIFICACIÓN MICROBIOLÓGICA DE SALMONELLA Sp, SHIGELLA Sp, Y ECHERICHIA COLI DEL COMPOSTAJE, PRODUCIDO POR EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO (GAD) DE LA CIUDAD DE CUENCA*" fue realizado por el Señor *Tuttillo Larrea, Angel Gabriel* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, a 20 de Julio de 2018.

---

**Andrés Ricardo Izquierdo Romero, Ph.D**

C.C.: 171447950-6



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Tutillo Larrea, Angel Gabriel*, con cedula de ciudadanía n° 170942704-9, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Evaluación fisicoquímica e identificación microbiológica de Salmonella spp., Shigella spp., y Escherichia Coli del compostaje, producido por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la ciudad de Cuenca”*, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, a 20 de Julio de 2018.



**Angel Gabriel Tutillo Larrea.**  
C.C.: 170942704-9



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

#### AUTORIZACIÓN

Yo, *Tutillo Larrea, Angel Gabriel*, con cedula de ciudadanía n° 170942704-9, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *“Evaluación fisicoquímica e identificación microbiológica de Salmonella spp., Shigella spp., y Escherichia Coli del compostaje, producido por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la ciudad de Cuenca”*, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, a 20 de Julio de 2018.



Angel Gabriel Tutillo Larrea.  
C.C.: 170942704-9

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres: Cecilia y Gilberto (†), ya que ellos han sido el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de formación y valores como hijo, hermano y padre.

De manera especial quiero dedicar este logro a mis hermanos: María Augusta y Marco por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo para llegar a la culminación de esta tesis. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Por último, dedico este Título obtenido con todo mi amor y mi cariño a mis hijas: Priscila, Gabriela y Cristina; que este logro personal sea ejemplo de superación, que vean que con esfuerzo y dedicación se pueden cumplir los retos que uno se propone en la vida.

*Angel Gabriel Tuttilo Larrea.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, a su Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental, al laboratorio de Microbiología de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología, a mi Director de Tesis Ph D Andrés Izquierdo Romero quien me brindó su valioso tiempo para guiarme durante el desarrollo de la investigación, a la EMAC EP por permitirme visitar sus instalaciones, facilitarme toda la información necesaria para la consecución de este trabajo de investigación realizado.

*Angel Gabriel Tutillo Larrea.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	2
1.1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Marco Teórico .....	6
1.4.1 Marco Legal.....	7
1.4.1.1 Normativa Ambiental Nacional .....	7
1.4.1.2 Normatividad Ambiental Internacional.....	8
1.4.1.3 Norma EPA 503. ....	8
1.4.2 Marco Biológico. ....	9
1.4.2.1 Factores que condicionan el proceso de compostaje.....	10
1.4.2.2 Materia prima necesaria para realizar el proceso de compostaje. ....	13
1.4.3 Marco Conceptual.....	15
1.4.3.1 Aprovechamiento de residuos sólidos.....	15
1.4.3.2 Tipos de abonos orgánicos.....	16
1.4.3.2.1 Compostaje.....	16
1.4.3.2.2 Takakura. ....	18
1.4.3.2.3 Lombricultura. ....	19
1.4.3.2.4 Bioabono.....	19
1.4.4 Etapas biológicas del compostaje. ....	20
1.4.5 Calidad del abono orgánico. ....	21
1.4.5.1 Factores microbiológicos. ....	22
1.4.5.2 Familia Enterobacteriaceae. ....	22
1.4.5.3 Enfermedades causadas por bacterias encontradas en el compost.....	23
1.4.6 Presencia de metales pesados. ....	24
1.4.7 Pruebas de Fitotoxicidad.....	25

1.5 Hipótesis planteada en el trabajo de Investigación.....	25
CAPITULO II .....	26
MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
2.1 Participantes .....	26
2.2 Zona de estudio .....	26
2.2.1 Trabajo de campo.....	27
2.2.2 Trabajo de laboratorio.....	28
2.3 Periodo de tiempo de investigación.....	29
2.3.1 Recolección de la muestra en Planta.....	29
2.3.1.1 Descripción del proceso de compostaje e infraestructura existente.....	32
2.3.2 Fase de Laboratorio. ....	39
2.3.2.1 Análisis Microbiológico.....	39
2.3.3 Fase analítica.....	40
2.3.3.1 Aislamiento e identificación de la bacteria <i>Salmonella sp</i> .....	40
2.3.3.2 Aislamiento e identificación de la bacteria <i>Shigella sp.</i> ....	43
2.3.3.3 Aislamiento e identificación de la bacteria <i>Escherichia Coli y Coliformes</i> ....	46
2.3.4 Identificación bioquímica y confirmación con pruebas API. ....	49
2.4 Análisis fisicoquímico del compost. ....	51
2.4.1 Análisis de la muestra de suelo investigada.....	52
2.4.1.1 Preparación de la muestra en Laboratorio.....	53
2.4.2 Determinación de las características fisicoquímicas del compost. ....	53
2.5 Prueba de Fitotoxicidad en el compost producido por la EMAC EP.....	54
CAPITULO III .....	59
RESULTADOS .....	59
3.1 Resultados microbiológicos del compost en Laboratorio. ....	59
3.1.1 Resultados y análisis microbiológico del compost.....	59
3.1.1.1 Resultados obtenidos con el aislamiento de las bacterias. ....	60
3.1.1.2 Resultados obtenidos del análisis bioquímico.....	65
3.1.1.2.1 Prueba confirmativa con medios Petrifilm 3M y conteo de colonias.....	67
3.1.1.3 Descripción macroscópica celular.....	72
3.1.2 Prueba confirmativa de bacteria <i>Escherichia Coli</i> con el método rápido API.....	75
3.2 Resultados fisicoquímicos del compost. ....	78
3.2.1 Características fisicoquímicas del compost analizado.....	79



3.2.2 Características fisicoquímicas de la gallinaza. ....	80
3.3 Resultados obtenidos de la prueba de fitotoxicidad. ....	83
CAPÍTULO IV .....	85
DISCUSIÓN .....	85
4.1 Análisis microbiológico de la muestra de compost estudiada. ....	85
4.2 Análisis fisicoquímico de la muestra de compost estudiada. ....	86
4.3 Análisis fitotóxico de la muestra de compost estudiada. ....	87
CAPÍTULO V .....	89
CONCLUSIONES .....	89
CAPÍTULO VI .....	91
RECOMENDACIONES .....	91
CAPÍTULO VII .....	94
BIBLIOGRAFÍA .....	94
ANEXOS .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Límites de población de microorganismos establecidos por la norma EPA .....	21
<b>Tabla 2</b> Límites permisibles de metales pesados establecidos por la EPA en la norma 503. 24	
<b>Tabla 3</b> Tamaño del lote y toma del número de muestras para el análisis.....	31
<b>Tabla 4</b> Batería de pruebas API 20E, para identificar presencia de Enterobacteriáceae .....	50
<b>Tabla 5</b> Parámetros fisicoquímicos analizados en la muestra en Laboratorio de Agrocalidad	54
<b>Tabla 6</b> Características desarrolladas por las bacterianas en diferentes medios selectivos .	62
<b>Tabla 7</b> Claves bibliográficas para la identificación y presencia de las bacterias .....	66
<b>Tabla 8</b> Parámetros de metales pesados óptimos para el compost según la EPA.....	78
<b>Tabla 9</b> Límites permisibles de parámetros fisicoquímicos del compost, varios autores .....	79
<b>Tabla 10</b> Características fisicoquímicas del compost en estudio (lote 15).....	80
<b>Tabla 11</b> Características fisicoquímicas de la gallinaza comercializada en Cuenca.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> , Entrada a la Planta de Compostaje y Humus, EMAC EP - Cuenca .....	7
<b>Figura 2</b> , Área de Compostaje, EMAC EP – GAD de Cuenca.....	17
<b>Figura 3</b> , Área Administrativa y depósito de herramientas Planta de Compost. ....	25
<b>Figura 4</b> , Logo de la Empresa Municipal de aseo de calles – EMAC EP.....	26
<b>Figura 5</b> , Entrada Laboratorio de Agrocalidad, Tumbaco – Quito .....	27
<b>Figura 6</b> , Área de maduración del Compost, EMAC EP – Cuenca .....	28
<b>Figura 7</b> , Propiedades físicas de la muestra de compost (Lote No. 15).....	28
<b>Figura 8</b> , Trabajo de Investigación en Laboratorio de la ESPE.....	29
<b>Figura 9</b> , Recolección de muestra de compost y pesaje en balanza.....	30
<b>Figura 10</b> , Muestreo del abono orgánico producido en la Planta de compostaje.....	32
<b>Figura 11</b> , Fases biológicas de maduración del compost.....	32
<b>Figura 12</b> , Obtención del compost en la planta de compostaje.....	34
<b>Figura 13</b> , Selección y clasificación de residuos orgánicos.....	35
<b>Figura 14</b> , Máquina de trituración de los residuos orgánicos gruesos.....	35
<b>Figura 15</b> , Uso de máquina Bob Cat para formar la Biopila.....	36

<b>Figura 16</b> , Volteo de la Biopila con ayuda de mini cargadora.....	37
<b>Figura 17</b> , Fase de secado del compost en planta. ....	38
<b>Figura 18</b> , Ensacado del compost producido por la EMAC EP.....	39
<b>Figura 19</b> , Muestreo del abono orgánico producido en la Planta de compostaje.....	39
<b>Figura 20</b> , Preparación de medios de cultivo para identificar bacterias y coliformes .....	40
<b>Figura 21</b> , Medio de cultivo para aislamiento de bacteria <i>Salmonella</i> . ....	40
<b>Figura 22</b> , Caja Petri con incubación de bacteria <i>Salmonella</i> sp. ....	42
<b>Figura 23</b> , Inoculación de bacteria <i>Salmonella</i> sp., en tubos inclinado con agar nutriente. ...	43
<b>Figura 24</b> , Preparación de medio de cultivo para aislamiento de bacteria <i>Shigella</i> .....	44
<b>Figura 25</b> , Caja Petri con incubación de bacteria <i>Shigella</i> sp. ....	45
<b>Figura 26</b> , Preparación de medio de cultivo para aislamiento de bacteria <i>E. Coli</i> . ....	47
<b>Figura 27</b> , Caja Petri con incubación de bacteria <i>Escherichia coli</i> . ....	48
<b>Figura 28</b> , Placa de pruebas miniaturizada API 20E. ....	49
<b>Figura 29</b> , Preparación de muestra de compost para análisis fisicoquímico. ....	52
<b>Figura 30</b> , Toma de muestra en laboratorio para calcular la humedad. ....	53
<b>Figura 31</b> , Preparación de extracto de muestra con una dilución 1:5 .....	55
<b>Figura 32</b> , Semillas de quinua para realizar prueba de fitotoxicidad.....	55
<b>Figura 33</b> , Resumen de semillas de quinua germinadas para el cálculo del IG.....	56
<b>Figura 34</b> , Conteo de raíces de quinua que han germinado, para el cálculo del IG.....	56
<b>Figura 35</b> , Valores de elongación de radículas de semillas, para el cálculo del IG.....	57
<b>Figura 36</b> , Caldo Verde Brillante, Caldo Tetrionato, Medio Selenito, Medio Hajna. ....	60
<b>Figura 37</b> , Caldo Verde Brillante inoculado con muestra de compost .....	60
<b>Figura 38</b> , Caldo de Tetrionato inoculado con muestra de compost.....	61
<b>Figura 39</b> , Celenito Cistina inoculado con muestra de compost.....	61
<b>Figura 40</b> , Hajna inoculado con muestra de compost. ....	61
<b>Figura 41</b> , EC inoculado con muestra de compost en estudio. ....	62
<b>Figura 42</b> , Resultado de primera Inoculación, presencia de <i>E. Coli</i> . ....	62
<b>Figura 43</b> , Resultado de primera Inoculación, presencia de <i>Salmonella</i> . ....	63
<b>Figura 44</b> , Resultado de primera Inoculación, presencia de <i>Shigella</i> . ....	63
<b>Figura 45</b> , Aislamiento de bacteria <i>E. Coli</i> en medios selectivos propios.....	64

<b>Figura 46</b> , Aislamiento de bacteria <i>Salmonella</i> en medios selectivos propios .....	64
<b>Figura 47</b> , Aislamiento de bacteria <i>Shigella</i> en medios selectivos propios. ....	64
<b>Figura 48</b> , Pruebas para determinar la presencia de <i>E. Coli</i> , <i>Shigella</i> y <i>Salmonella</i> .....	65
<b>Figura 49</b> , <i>E. Coli</i> aislada para inocular en medio Petrifilm, prueba confirmativa .....	67
<b>Figura 50</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-1}$ . ....	68
<b>Figura 51</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-2}$ . ....	68
<b>Figura 52</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-3}$ .....	69
<b>Figura 53</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-4}$ .....	69
<b>Figura 54</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-5}$ . ....	70
<b>Figura 55</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-6}$ . ....	70
<b>Figura 56</b> , Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la $10^{-7}$ . ....	71
<b>Figura 57</b> , Conteo total de colonias coliformes fecales en UFC/g; Norma EPA 2003. ....	71
<b>Figura 58</b> , Representación gráfica de coliformes fecales presentes en la muestra. ....	72
<b>Figura 59</b> , Presencia de <i>Escherichia Coli</i> , en medio selectivo y diferencial. ....	73
<b>Figura 60</b> , Presencia de <i>Shigella</i> en medio selectivo y diferencial. ....	73
<b>Figura 61</b> , Presencia de <i>Salmonella</i> en medio selectivo y diferencial. ....	74
<b>Figura 62</b> , Tinción Gram con presencia de <i>Escherichia Coli</i> . ....	74
<b>Figura 63</b> , Tinción Gram con presencia de <i>Salmonella</i> . ....	75
<b>Figura 64</b> , Tinción Gram con presencia de <i>Shigella</i> . ....	75
<b>Figura 65</b> , Carta de lectura de pruebas API-20E para identificación de <i>E. Coli</i> . ....	76
<b>Figura 66</b> , Prueba API-20E, confirmando la presencia de <i>Escherichia Coli</i> . ....	77
<b>Figura 67</b> , Análisis microbiológico del compost de acuerdo a Norma EPA 503. ....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Análisis fisicoquímico de la muestra de compost producida por la EMAC EP .....	98
<b>Anexo 2</b> Análisis fisicoquímico de la muestra de gallinaza producida en el Cantón Cuenca .	99
<b>Anexo 3</b> Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-15. ....	100
<b>Anexo 4</b> Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-16. ....	101
<b>Anexo 5</b> Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-8. ....	102

## **RESUMEN**

El Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE) dentro del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos planteó la iniciativa de normar los procesos de producción y calidad de los abonos orgánicos “compost y humus” elaborados por cada uno de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD’s), es así que desde el año 2010 impulsa la gestión de los residuos sólidos en cada uno de los municipios y prefecturas del Ecuador. Actualmente 221 GAD’s son monitoreados por el MAE, y dado que el País no cuenta con una normativa e información en este campo de manejo del suelo y su contaminación, este estudio unido con otros 10 realizados y otros que ha futuro entraran en fase de investigación, ayudarán con la información para cumplir con este cometido, mejorando su infraestructura física y condiciones de producción del compost. Este trabajo de investigación estuvo dirigido a la Evaluación fisicoquímica e identificación microbiológica de *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, Y *Escherichia Coli* en el compost producido por el GAD de la ciudad de Cuenca, a través de la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca – EMAC EP, con el objeto de utilizar un producto con baja concentración de bacterias y/o que se encuentren dentro del rango permisible, ya que la aplicación del compost sin tratar o tratado inadecuadamente representa un peligro para el medio ambiente y para la salud pública. Sin embargo es necesario aumentar las investigaciones acerca de la sobrevivencia de los patógenos en el compost y de los tratamientos para reducir los niveles de estos microorganismos.

### **Palabras clave.-**

- **COMPOSTAJE**
- **RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS**
- **MICROORGANISMOS**
- **ABONO ORGÁNICO**
- **ESCHERICHIA COLI**

**ABSTRACT**

The Ministry of Environment Ecuador (MAE) within the National Program for the Integral Management of Solid Waste raised the initiative to regulate the processes of production and quality of organic fertilizers "compost and humus" prepared by each of the Decentralized Autonomous Governments (GAD's), it is so that since 2010 drives the management of solid waste in each of the municipalities and prefectures of Ecuador. 221 GADs are currently monitored by the MAE, and given that the country does not have regulations and information in this field of soil management and pollution, this study, together with 10 others and others that will have future, will enter the phase of research, will help with the information to fulfill this task, improving its physical infrastructure and conditions of production of compost. This research work was directed to the physicochemical evaluation and microbiological identification of *Salmonella* sp., *Shigella* sp., And *Escherichia Coli* in the compost produced by the GAD of the city of Cuenca, through the Municipal Toilet Company of Cuenca - EMAC EP, in order to use a product with low concentration of bacteria and / or that are within the permissible range, since the application of untreated or improperly treated compost represents a danger to the environment and to public health. However, it is necessary to increase research on the survival of pathogens in compost and treatments to reduce the levels of these microorganisms.

**Key Words.-**

- **COMPOSTING**
- **ORGANIC SOLID WASTE**
- **MICROORGANISMS**
- **ORGANIC FERTILIZER**
- **ESCHERICHIA COLI.**

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Introducción.

En la actualidad la mayoría de las ciudades de nuestro País tienen un problema, debido a que todos los días se generan desechos sólidos urbanos (basura), los mismos que deben recolectarse y deben ser llevados hacia los botaderos de basura, los cuales por falta de planificación se encuentran saturados, teniendo que buscarse nuevos lugares alejados de la ciudad, (González, 2013).

Debido a que los residuos orgánicos ocupan un gran espacio, y durante el proceso de descomposición se generan lixiviados y malos olores, el Ministerio de Ambiente del Ecuador en el año 2002 comenzó un proceso de diagnóstico de la situación actual en el manejo de los desechos en el Ecuador, creando el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS en el Ecuador. (PNGIDS-MAE, 2002).

El objetivo del MAE es minimizar el impacto ambiental en las jurisdicciones de los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados que conforman nuestro País, los cuales han aplicado un nuevo sistema de aprovechamiento de estos residuos orgánicos fabricando abonos orgánicos (compost) los cuales son usados por los pobladores de los distintos cantones en sus sembríos y por el GAD en cada uno de sus parques para el mejoramiento del suelo (MAE, 2015).

Para este año 2017, está proyectada la generación de residuos sólidos en el Ecuador en una cantidad que superará los 5,4 millones de toneladas métricas, teniendo una producción per-cápita promedio anual de 0,90 kg/hab/día. El 60% corresponden a residuos sólidos orgánicos, que son de

origen domiciliario, comercial y de forma secundaria producidos en instituciones y parques industriales (MAE, 2015).

Estos residuos orgánicos al descomponerse provocan problemas ambientales, ya que generan gases, producen lixiviados que contaminan el suelo, el aire y el agua; pudiendo desencadenar problemas de salubridad si no son controlados adecuadamente.

Se considera un abono orgánico todo material de origen animal o vegetal que se utilice principalmente para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes al suelo (Centro de Investigación en Protección de cultivos, 2004)

En muchos países latinoamericanos las Instituciones encargadas de la regularización Ambiental han venido implementando programas de manejo de los residuos sólidos urbanos, convirtiéndolos en proyectos sustentables de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en la elaboración de abonos orgánicos, que servirán para prevenir impactos ambientales negativos, conservación al ambiente y la salud pública (Rodríguez, 2010).

Por otra parte, nuestro País adolece de una normativa, reglamento o método oficial de caracterización del compost, igualmente tiene limitaciones para la interpretación de los resultados. Todo esto pone de manifiesto la necesidad de estandarizar los procedimientos analíticos empleados para determinar la calidad del compost y sus características propias, previamente a su utilización y aplicación en el suelo. Se debe también establecer una clara metodología en relación a las dosis o proporciones de compost que son requeridas por parte del suelo para que vuelva a ser productivo (Martínez Blanco, 2009).

### **1.1.1 Antecedentes.**



La utilización de los residuos sólidos orgánicos para convertirlos en abono, viene desde hace muchos años atrás en el campo, en la agricultura, en las grandes haciendas donde se utilizaban en sus cultivos. Estos abonos orgánicos con el pasar del tiempo no se producían en condiciones aceptables, con una buena gestión o proceso, lo que provocaba la contaminación de sus cultivos, pasando la cadena de contaminación al ser humano, provocando enfermedades gastrointestinales y hasta la muerte (Noriega & Altamirano, 1993).

En Europa como en Estados Unidos, el auge por implementar nuevas tecnologías para la recuperación de los residuos sólidos se inició a partir de los años 70. Actualmente en Estados Unidos, la Agencia de Cooperación Ambiental EPA (Environmental Protection Agency), reconoce que el compost ayuda a solucionar los problemas de residuos sólidos y lo clasifica como una forma de reciclaje. (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999).

El compost (abonos orgánicos) producido en nuestro País no cuenta con una normativa nacional que controle los procesos de producción, es por esto que el Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE) se ha propuesto generar una línea base de políticas ambientales donde se determinen los indicadores que permitan medir los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los diferentes abonos que están produciéndose día a día y son comercializados a nivel nacional. (Soto & Melendez, 2004).

### **1.1.2 Planteamiento del problema.**

Actualmente 221 GAD's en el Ecuador, son monitoreados por el Ministerio del Ambiente dentro del Programa Nacional para Gestión Integral de desechos sólidos (PNGIDS), pero solamente 55 GAD's mantienen proyectos de aprovechamiento de los residuos orgánicos para la

producción de abonos orgánicos y sus derivados, tales como: Lombricultura, Takakura, bocash, biol, bioabono y compost (Gaschk, D., Tamai, A., & Wisniewski, D., 2011).

En nuestro País además de tener a futuro una Norma ecuatoriana de producción de abonos orgánicos, es necesario que se cree una entidad de control de los abonos orgánicos para su análisis previo a su comercialización, debido a que no se puede saber en la mayoría de los casos los orígenes de las materias primas para su elaboración, más si de su proceso biológico. Actualmente al no existir Normativa Ambiental vigente, se utiliza la normativa Internacional para poder comparar los resultados y así poder determinar la calidad de los abonos, considerando que se deben encontrar dentro de estándares permisibles para su uso y comercialización.

## **1.2 Justificación del problema**

Como ya lo habíamos mencionado anteriormente cada persona en el Ecuador produce un promedio de 0.90 Kg/habitante/día de basura orgánica e inorgánica, para optimizar los recursos económicos y disminuir los impactos ambientales es necesario implementar proyectos de aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos en cada una de las Ciudades de nuestro País, para esto es necesario la coordinación entre los GAD's Municipales y Prefecturas con el MAE para obtener el asesoramiento para la implantación de una Planta piloto para la producción adecuada de abonos orgánicos y el monitoreo de la calidad fisicoquímica y microbiológica del producto final.

Hay que considerar que la producción de abono orgánico (compost) impulsaría a la Industria nacional de reciclaje en cada sector y aportaría en el aprovechamiento de energía limpia (biogás), puesto que la necesidad de renovar y conservar la fertilidad del suelo es crucial para la producción agrícola, logrando así la participación de cada entidad Municipal y/o Prefectura dentro de este proceso de cambio de utilización de abonos orgánicos, y la no abonos químicos que generan daños

en el suelo, en la calidad de sus productos agrícolas y el mejoramiento y restauración de las áreas verdes.

Con el control adecuado y el monitoreo de los abonos orgánicos producidos por cada uno de los GAD's en el Ecuador, obtendremos información que nos permitirá realizar la retroalimentación para mejorar los procesos a futuro garantizando que el producto final sea apto para su utilización en los cultivos agrícolas, así como para la comercialización a particulares.

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (*Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *Escherichia coli*) del compost producido por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la Ciudad de Cuenca.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Recolectar una muestra del compost producido en la Planta de Compostaje de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca – EMAC EP.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos, tales como: pH, humedad, Color, Olor, Temperatura, Capacidad de intercambio catiónico, Conductividad eléctrica, Nutrientes totales, Metales pesados presentes en la muestra de compost recolectada.
- Evaluar la presencia y/o ausencia de bacterias patógenas en el compost recogido (*Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *Escherichia coli*), mediante métodos de Laboratorio avalados por la EPA y la normativa Internacional.

- Analizar los resultados que se obtengan en las pruebas de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los límites permisibles para los mismos en la Legislación Ambiental Internacional referente a la calidad de los abonos orgánicos.
- Identificar las bacterias presentes en la muestra en estudio, aislar cada una de ellas para continuar con las pruebas bioquímicas necesarias confirmativas, con los resultados obtenidos realizar una verificación del procedimiento utilizado, con los existentes en los manuales de identificación de organismos patógenos.
- Realizar la prueba de fitotoxicidad en la muestra del compost en estudio, para verificar que se encuentra dentro de los límites permisibles, por lo tanto que puede ser utilizable como abono sin poner en riesgo la salud de los seres humanos.
- Minimizar el impacto ambiental en los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados, que han empezado a aplicar este novedoso sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos, transformándolos en abonos orgánicos (compost).

#### **1.4 Marco Teórico**

Los abonos orgánicos o enmiendas orgánicas se han venido utilizando durante años como una fuente para mejorar y fertilizar los suelos. Al principio se los utilizó de manera simple con la aplicación en cultivos de desechos de cosechas, rastrojo y residuos animales. Con el pasar del tiempo se fueron realizando procesos mejorados para la elaboración de compostaje y el humus de lombriz, cuyo uso en los últimos años se ha generalizado. (Noriega & Altamirano, 1993)

Entre los abonos orgánicos y enmiendas orgánicas, los principales y más conocidos son el compost, el Bocashi y el lombricompost o lombrihumus, pero también son comúnmente utilizados

las aplicaciones de gallinaza y otros desechos animales y vegetales frescos, como la pulpa del café.

(Soto & Melendez, 2004)



*Figura 1,* Entrada a la Planta de Compostaje y Humus, EMAC EP - Cuenca

## 1.4.1 Marco Legal

### 1.4.1.1 Normativa Ambiental Nacional

Las acciones de control y seguimiento emprendidas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador se han basado en los artículos 46 y 125 del Libro VI referente a Calidad Ambiental, estipulados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2003), y las acciones actuales, en las políticas ambientales nacionales que el Ministerio del Ambiente emitió mediante Acuerdo Ministerial N° 86, del 11 de noviembre del 2009 relacionadas con el manejo de los desechos.

Aunque la Legislación Ambiental vigente, ha considerado en el Libro VI, Anexo VI del TULSMA Normas de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, en post de contribuir con el medio ambiente y reconocer el derecho de la población

a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad del buen vivir, se han realizado algunos alcances a la legislación, como la publicación del Acuerdo Ministerial 031, en el que se incluyen los procesos de cierre técnico, el saneamiento de botaderos, de los desechos sólidos y la viabilidad técnica. Así como el tratamiento de desechos peligrosos en los Acuerdos Ministeriales 026, 161 y 142; y de desechos especiales en el Acuerdo 190 (Política Nacional de Post - consumo de equipos eléctricos y electrónicos).

#### **1.4.1.2 Normatividad Ambiental Internacional**

Para determinar el tipo, la calidad y la clasificación del compost, se debe comparar cada uno de los parámetros obtenidos después del tratamiento aplicado. Estos parámetros se pueden clasificar de la siguiente manera, así:

- Parámetros Sanitarios: (Reducción de patógenos; Olores; Humedad).
- Parámetros Ambientales: (Contenido de metales pesados; Conductividad eléctrica)
- Parámetros Agrícolas: (Relación C/N; pH; Materia Orgánica; Madurez; Productividad agrícola).

#### **1.4.1.3 Norma EPA 503.**

Determina los niveles de agentes patógenos y los diferentes tipos de metales permitidos, para proteger la salud de humanos, animales y plantas. En ésta sección “503” también se requiere que los Biosólidos sean aplicados en una “Tasa Agronómica” diseñada para proporcionar la cantidad de nitrógeno que necesita el cultivo, evitando así que este producto llegue a las aguas subterráneas.

También esta sección “503” se habla de la reducción de la atracción de vectores (roedores y moscas), se incluyen prácticas adecuadas, la frecuencia de ejecución y el monitoreo, tanto de la forma de mantener los registros y de la presentación de informes.

Esta norma de Biosólidos permite clasificar los mismos en clase A y clase B, así tenemos que los Biosólidos Clase A: Son Biosólidos que pueden resultar después de someterse a tratamientos avanzados para reducir los niveles de patógenos por: secado por calor del compostaje con altas temperaturas o por medio de una digestión anaeróbica.

Estos son algunos de los procesos que suelen alcanzar la clase A, para poder ser utilizados sin ninguna restricción deberán cumplir con los requisitos de reducción de vectores y patógenos, y considerar los límites de concentración de metales para clasificación Clase A. (Norma EPA 503, 2003).

Biosólidos Clase B: Son Biosólidos a los cuales se les trata de reducir los patógenos a niveles de protección de la salud humana y animal; sin embargo no se alcanza niveles permitidos de disponibilidad libre como el Biosólidos clase A, por esta razón estos biosólidos no puede ser ni vendidos ni regalados, se deben disponer en lugares lejos de la población, pueden ser aprovechados en la recuperación de suelos, en tierras agrícolas de forma controlada y vigilada, además de las restricciones que encontramos en la sección 503. (Norma EPA 503, 2003).

#### **1.4.2 Marco Biológico.**

Durante el siglo pasado varios investigadores en conjunto con los agricultores, desarrollaron esta técnica antigua de producir humus, denominando así al producto final del proceso como compostaje.

El término “compost” procede del latín y significa “poner juntos”, cabe destacar el "método Indore" de compostaje que se encuentra difundido universalmente y que nació de las experiencias realizadas por el inglés Albert Howard desde 1905 hasta 1947.

Su éxito fue fruto de la combinación de los conocimientos científicos existentes con los tradicionales de los campesinos, surgiendo así este método, basado en la descomposición de una mezcla de desechos vegetales periódicamente humedecidos.

El proceso de compostaje se define como la “descomposición biológica y la estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de agentes patógenos, que aplicado al terreno produce un beneficio al sustrato”.

#### **1.4.2.1 Factores que condicionan el proceso de compostaje**

La calidad de un compost es usualmente determinado por parámetros químicos los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia y los parámetros biológicos los cuales permiten evaluar la estabilidad del producto final.

El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora necesitan de condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

Son muchos y complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son los siguientes:



- **Temperatura:** Se define como la unidad de calor y se expresa en °C dada por un valor variable en tiempo y espacio. La temperatura del suelo tiene importancia fundamental en relación con la actividad del micro y meso-organismos, la descomposición de la materia orgánica, la germinación de semillas.

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporulados.

- **Humedad:** En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance niveles óptimos del 40 - 60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja, por lo tanto disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso de descomposición es más lento.

El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas, para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75 - 85%, mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50 - 60%.

- **El pH:** El compostaje se puede desarrollar en un amplio rango de pH de 3.0 - 11.0, en general los hongos toleran un margen de pH entre 5 y 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia, es decir deben tener un pH entre 6 y 7,5. Generalmente el pH decrece al principio por la producción de ácidos orgánicos de cadena corta y lentamente va incrementándose posteriormente, debido a la degradación de las proteínas y la liberación del amoníaco de los aminoácidos.
- **Oxígeno:** El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad,

frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada. El oxígeno es necesario para que se dé un proceso de descomposición aeróbica, donde la actividad de los microorganismos para oxidar determinadas moléculas orgánicas del sustrato dependerá de este componente. En el sistema de compostaje se incrementan los niveles de CO<sub>2</sub> mientras que el oxígeno disminuye; su consumo está relacionado con la actividad microbiana de acuerdo a los cambios de temperatura y humedad.

- **Relación C/N:** Es un factor importante dentro del proceso, por la necesidad de carbono por parte de los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno es un factor importante como elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular.

El carbono (C) y el nitrógeno (N) son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compostaje de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos.

Teóricamente una relación de C/N entre 25 y 35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compostaje. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco.

Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones de C/N para obtener un compostaje equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. Los materiales pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las defecaciones animales y los residuos provenientes de un matadero.

- **Condiciones Ambientales:** Para facilitar la ingestión de alimento y el traslado a través del material, la humedad del material del lecho debe ser de 65 a 70%. Las lombrices succionan el alimento, por tanto la falta de humedad les imposibilita dicha operación. Asimismo, el exceso de humedad origina anegamientos y falta de oxígeno con la consiguiente muerte de las lombrices. El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de los anélidos oscila entre 12 y 25 °C; y para la formación de cocones (huevos) entre 12 y 15 °C.  
Durante el verano, si la temperatura es muy elevada, se debe recurrir a riesgos más frecuentes y a un sombreado con ramas, para evitar que migren buscando ambientes más frescos.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Los residuos orgánicos tienen una CIC variable y generalmente, los valores se encuentran cercanos a 40 meq/100 g. Durante el proceso de compostaje, este parámetro tiende a crecer hasta alcanzar niveles de 70-80 meq/100 g al final del proceso, debido fundamentalmente a la desaparición de la materia orgánica fácilmente degradable y a un aumento de la materia orgánica más humificada.
- **Tamaño de partículas:** La actividad de los microorganismos ocurre generalmente en la superficie de las partículas, por lo tanto el tamaño de éstas debe ser menor a fin de aumentar la superficie y favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición. El tamaño ideal de partículas es de 2 a 5 cm. Además mientras menor sea el tamaño de las partículas, la pila se tiende a compactar, lo que trae como consecuencia una menor aireación y por ende una menor actividad microbiana, retardando el proceso de maduración

#### **1.4.2.2 Materia prima necesaria para realizar el proceso de compostaje.**

Para la elaboración del compostaje se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas provienen de:

- **Restos de cosechas:** Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc. son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.
- **Las ramas de poda de los frutales:** Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compostaje, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- **Hojas:** Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.
- **Restos de desechos urbanos:** Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como puede ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.
- **Estiércol animal:** Se destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina o sirle, estiércol de caballo, estiércol de oveja y los purines.
- **Complementos minerales:** Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- **Plantas marinas:** Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compostaje ya que son compuestos ricos en nitrógeno (N), fósforo (P), carbono (C), oligoelementos y biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- **Algas:** También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compostaje.

### 1.4.3 Marco Conceptual.

#### 1.4.3.1 Aprovechamiento de residuos sólidos

Para un adecuado aprovechamiento de los residuos sólidos se deben aplicar técnicas y programas capaces de mejorar el medio ambiente los cuales se describen a continuación:

- **Reducción desde el origen:** Implica reducir la cantidad y toxicidad de los residuos.
- **Reciclaje:** Es el proceso mediante el cual se vuelven a utilizar las materias de desecho ya usadas, las cuales son transformadas en nuevos productos. Se hace con el fin de conservar los recursos naturales escasos y para aprovechar materiales que requieren mucha energía para su transformación primaria.
- **Tratamientos:** Dentro de los principales tratamientos que se aplican a los residuos sólidos se encuentran:
- **Incineración:** la incineración de los residuos sólidos logra una importante reducción de volumen, dejando un material que consiste en escorias y cenizas. Una inadecuada combustión genera humos, ceniza y olores desagradables.
- **Generación de biogás:** Es un proceso por el cual el contenido orgánico de la basura es reducido por la acción bacteriológica de microorganismos en ausencia de oxígeno. Del proceso anaeróbico resulta una mezcla de gases (biogás) quedando como residuo un lodo con características de bioabono.
- **Disposición final:** La eliminación de los residuos sólidos por el método de relleno sanitario tiene en cuenta principios esenciales de ingeniería sanitaria a fin de evitar todo tipo de contaminación que resulte nociva para la salud pública y el medio ambiente.

### 1.4.3.2 Tipos de abonos orgánicos.

Existen varios tipos de abonos o enmiendas orgánicas, sólidos y líquidos, que a lo largo del tiempo han sido mejorados y modificados.

- **Propiedades físicas:** Los abonos orgánicos captan más radiaciones solares por su color oscuro, el suelo adquiere más temperatura lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes y mejorar su estructura así como textura haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los suelos arenosos. Además regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial (Yanque, 2014). También influyen en el drenaje y aireación con la mejora de la permeabilidad del suelo. Aumentan la retención de agua en el suelo cuando llueve, contribuyen a recuperar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno, y disminuyen la erosión ya sea por efectos del agua o del viento (FONAG., 2010).
- **Propiedades químicas:** Los abonos orgánicos aumentan el poder de absorción del suelo y reducen las oscilaciones de pH. Mejoran la capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica del suelo, recuperando la fertilidad (Yanque, 2014). También mantienen los micro y macro elementos alrededor del sistema radical de las plantas (Peña & Carrión, M., 2002), así como aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Ruíz, Russian, & Tua, 2007).

#### 1.4.3.2.1 Compostaje.

El compostaje es la descomposición biológica oxidativa de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se produce en condiciones controladas sobre sustratos orgánicos heterogéneos, en estado sólido.

Es un proceso biológico aerobio controlado, que permite la degradación y estabilización de la materia orgánica, donde se generan reacciones químicas, físicas y biológicas como cambios de temperatura, humedad, pH, entre otros.

El compostaje constituye un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas como bacterias, hongos y actinomicetos, degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia del oxígeno generando un producto estable humificador junto con gases, agua, calor y residuos del metabolismo microbiano.

En términos generales el Compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica (Ver figura 2).



*Figura 2, Área de Compostaje, EMAC EP – GAD de Cuenca*

Dentro de las propiedades que tiene el compost producido tenemos las siguientes:

- **Mejora las propiedades físicas del suelo:** La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo.

- **Mejora las propiedades químicas:** Aumenta el contenido en macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), y micronutrientes.
- **Mejora la actividad biológica del suelo:** actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad.

#### **1.4.3.2.2 Takakura.**

En un método de compostaje, donde las sustancias orgánicas son sometidas al proceso de descomposición con los medios de cultivo de microorganismos que se adaptan al suelo y están comúnmente disponibles en el ambiente natural y sirven para eliminar los microorganismos indeseables. Sobre todo, los microorganismos fermentativos juegan un papel central en el compostaje. Debido a que los microorganismos fermentativos que se adaptan perfectamente al compostaje existen cerca de nuestros alrededores, cualquiera puede realizar fácilmente el compostaje descubriéndolos y cultivándolos. El uso efectivo de los microorganismos fermentativos posibilita la producción de gran cantidad de compostaje en un espacio pequeño y en un período corto de tiempo.

Además, el método es seguro y económico debido a que sólo se requieren materiales disponibles inmediatamente salvo que sea tratado apropiadamente, los residuos orgánicos sufren fácilmente la putrefacción. Una forma de prevenir la putrefacción es mediante la aplicación de gran cantidad de microorganismos fermentativos e inducir el proceso de fermentación deseado.

Cuando la cantidad de microorganismos fermentativos es mayor que la de la putrefacción, se produce la transición hacia la etapa de una buena fermentación. En cambio, las sustancias orgánicas se pudren y emiten un olor ofensivo cuando la cantidad de microorganismos



fermentativos es menor que la de la putrefacción. En otras palabras, ambos microorganismos luchan por su propia supervivencia compitiendo mutuamente.

Para estimular la fermentación de ambos microorganismos en este forcejeo por la supervivencia, debe ser preparada plenamente y aplicada desde la etapa inicial del compostaje. Para el compostaje no se requieren microorganismos fermentativos especiales, salvo aquellos que existen en nuestra vida diaria, los cuales se denominan Microorganismos Nativos (NM).

#### **1.4.3.2.3 Lombricultura.**

Podemos definir la lombricultura como una actividad organizada, utilizando las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), cuya finalidad es la de llegar a producir un producto final llamado lombricompost, suave al tacto de olor agradable y excelente mejorador de suelos, y la lombriz misma, como fuente de alimento de alta calidad, por sus proteínas.

El humus de lombriz es uno de los mejores abonos orgánicos, porque posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Ofrece a las plantas una alimentación equilibrada con elementos básicos utilizables y asimilables por sus raíces.

En las plantas de lombricultura, se siembran varios tipos de lombrices para apoyar el proceso de compostaje: *Lumbricus rubellus*, *Eisenia foetida* (lombriz roja Californiana) y *Eisenia andrei*.

#### **1.4.3.2.4 Bioabono.**

Es un biofertilizante líquido obtenido por el trabajo de organismos de diferente tipo y cuya acción sobre el suelo estimula la nutrición de muchos organismos y aporta nutrientes útiles para

ellos, para cumplir esta función debe estar libre de tóxicos y materiales artificiales que promuevan funcionamiento no naturales en el ecosistema.

Los bioabonos son biofertilizantes formulados con uno o varios microorganismos, mejorando la disponibilidad de los nutrientes cuando se aplican en los cultivos. Algunos son solubilizadores, ocupan el 10% de la población del suelo y se encuentran en la rizosfera. Ejemplos son los géneros *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Azotobacter* y *Actynomices*.

#### 1.4.4 Etapas biológicas del compostaje.

En el compostaje existen tres etapas en el cual el proceso de degradación de materia orgánica ocurre y son:

- **Etapa Mesofílica:** En esta etapa se ubican los microorganismos que su temperatura pueda aumentar hasta 40°C, su pH disminuye desde 7 hasta 5,5 - 6, a causa de la descomposición de lípidos y glúcidos a ácidos pirúvicos y la desnaturalización de las proteínas a aminoácidos. En esta la primera etapa la humedad debe controlarse en un rango de 40 a 60 por ciento (%).
- **Etapa Termofílica:** En esta segunda etapa la temperatura aumenta de 40°C a 75°C, en consecuencia las poblaciones microbianas mesofílicas mueren o entran en un periodo de latencia y las bacterias termofílicas ocupan su lugar para generar más calor promoviendo el proceso de degradación de los ácidos obtenidos en la primera etapa, durante este proceso el pH de 5.5 va a subir hasta 7.5, y este último valor va a permanecer constante hasta el final del proceso del compostaje. Esta es la etapa en donde se va a estabilizar la degradación de la materia orgánica que forma parte de la biopila.
- **Etapa de Enfriamiento:** En esta etapa los nutrientes escasean y la actividad de los microorganismos termofílicos va a acabar por lo que la temperatura de 75 °C va a disminuir

hasta 40 o 45 °C, haciendo posible que los microorganismos mesófilos vuelvan a aparecer y continúen con el proceso de transformación de la materia orgánica.

- **Etapa de Maduración:** Aquí las condiciones de temperatura y de pH llegarán a estabilizarse; si el pH está ácido significa que el compost tiene presencia de materiales cítricos, hojas secas de los pinos, entre otros materiales, ricos en ácidos orgánicos. y por consecuente, el compost no está maduro a las 8 o 9 semanas. (Yanque, 2014).

### 1.4.5 Calidad del abono orgánico.

La calidad de los abonos orgánicos se determina a partir de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo.

Para analizar la calidad de los biosólidos, la Normativa EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) ha regulado a los residuos sólidos biológicos de acuerdo con la siguiente tabla, (Ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Límites de población de microorganismos establecidos por la norma EPA*

Clase	Definición	Patógenos		Parásitos	Virus Entéricos
		Coliformes Fecales NMP/g ST	Salmonella Sp NMP/g ST	Huevos de Helminto s/g ST	NMP/g ST.
A	Biosólidos que pueden ser usados de forma irrestricta pudiendo ser vendidos o regalados sin problema alguno.	< 1000	3/4.	1/4.	1/4.
B	Biosólidos que presentan restricciones sanitarias debido a los altos niveles de patógenos contenidos en él.	< 2*10 <sup>6</sup>	--	--	--

Fuente: (Norma EPA 503, 2003)

Su uso y disposición, bajo el Code of Federal Regulations (CFR), Código de Regulaciones Federales: 40 CFR, parte 503. La Norma EPA 503 Biosólidos, determina los niveles de patógenos permitidos.

### 1.4.5.1 Factores microbiológicos.

En la actualidad se usan varias metodologías para la identificación de las poblaciones bacterianas encargadas de la descomposición de la materia orgánicas. Entre las metodologías tenemos los métodos fenotípicos, los cuales se basan en las características fenotípicas observables de las bacterias como son la morfología, desarrollo, propiedades bioquímicas y metabólicas.

Entre las bacterias que sobreviven a las diferentes etapas de descomposición de la materia orgánica está la familia de las Enterobacteriaceae.

### 1.4.5.2 Familia Enterobacteriaceae.

Esta familia está conformada por bacilos Gram negativos no esporulados que poseen características metabólicas como: aerobios, anaerobios facultativos, oxidasa negativa, reducción de nitratos a nitritos, fermentación de glucosa, por la movilidad pueden ser móviles o inmóviles (García, A. & Rodríguez, F., 2010).

El hábitat en donde habitan esta familia es en la flora normal del tracto digestivo de los seres vivos, entre las especies que podemos hallar son: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia marcescens*, *Proteus*, *Morganella*, *Providencia*, *Citrobacter* (Ewing, 1986).

- ***Salmonella sp***: Es un género de bacteria que pertenece a la familia de las Enterobacteriáceas, formada por bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, que emplean la glucosa por poseer una enzima especializada, son parásitos presentes en el organismo del ser humano y de otros mamíferos homeotermos los cuales pueden causar graves trastornos digestivos y sistémicos, como la salmonelosis y la fiebre paratifoidea.

- ***Shigella sp:*** Es un género de bacteria que pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Son inmóviles, no fermentan la lactosa, no producen gas de la glucosa. Son bacterias patógenas estrictas que causan la disentería bacilar.
- ***Escherichia coli:*** Es una bacteria Gram negativa de la familia de las enterobacteriáceas que se encuentra en las heces fecales y particularmente en el colon de los seres humanos y de otros mamíferos. Existen cepas patógenas que causan diarreas en los recién nacidos y se hallan implicadas en múltiples infecciones urinarias.

#### **1.4.5.3 Enfermedades causadas por bacterias encontradas en el compost.**

Según Prescott, 2009, de todas las especies bacterianas conocidas, tan solo unas pocas son patógenas para los seres humanos. La aplicación de compostaje puede representar un riesgo de contaminación por microorganismos si la fase termofílica no se desarrolla adecuadamente. Si el compost se elabora con la fracción orgánica de RSU es posible encontrar materiales derivados de animales o cadáveres de animales, restos vegetales y residuos de alimentos, donde previo al compostaje proliferan microorganismos patógenos. (Prescott., 2009)

Debido a la presencia de microorganismos patógenos, el compostaje puede ocasionar problemas de salud, de tal manera que los individuos que laboran en plantas de compostaje se encuentran en riesgo de adquirir enfermedades o presentar problemas de salud por los polvos orgánicos con esporas y microorganismos. Entre los posibles padecimientos están la inflamación pulmonar, asma ocupacional y bronquitis crónica, además de infecciones por virus, bacterias, hongos y protozoarios. La mayor parte de los microorganismos patógenos prefieren temperaturas por debajo de los 42°C ya que normalmente viven a la temperatura corporal del ser humano y animales o

temperatura ambiente a las plantas. La mayoría parte morirán si se exponen durante un tiempo a condiciones más severas que las de su ambiente habitual (Trivierge, C. & Seito, M., 2005).

#### 1.4.6 Presencia de metales pesados.

La acumulación de metales pesados puede ocurrir en tallos, hojas y frutos, causando problemas variados. Cadmio, níquel, cobre y zinc son los metales más problemáticos debido a su efecto negativo sobre el metabolismo y la fisiología de la planta, como baja actividad nitrogenasa y fosfatasa, disminución de la respiración mitocondrial, daños en los cloroplastos, cierre en los estomas, baja tasa de transpiración y fotosíntesis, reducción de turgencia y clorosis.

Al implementar los residuos orgánicos urbanos al proceso de compostaje pueden tener efectos favorables debido a la adición de la materia orgánica y de nutrientes. También existen ciertos riesgos, en especial cuando se aplican en dosis masivas, considerando que los materiales básicos que los forman incorporan sustancias peligrosas, entre las cuales están los metales pesados lo que en mayor o menor grado pueden limitar su uso. (Costa, F., García, C., Hernández, T., & Polo, A., 1991). Los límites permisibles para metales pesados presentes en el compost están (Ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Límites permisibles de metales pesados establecidos por la EPA en la norma 503*

Elemento	Valores límite (mg/Kg mat. seco)	Tasa de carga acumulativa del elemento (kg/Ha)	Concentración del componente para una calidad excepcional (mg/Kg)	Tasa de carga anual del elemento (kg/Ha/año)
Arsenico	75.00	41.00	41.00	2.00
Cadmio	85.00	39.00	39.00	1.90
Cromo	3000.00	1200.00	3000.00	150.00
Cobre	4300.00	1500.00	1500.00	75.00
Plomo	840.00	300.00	300.00	15.00
Mercurio	57.00	17.00	17.00	0.85
Molibdeno	75.00	--	--	--
Níquel	420.00	420.00	420.00	21.00
Selenio	100.00	36.00	100.00	5.00
Zinc	7500.00	2800.00	2800.00	140.00

Fuente: (Norma EPA 503, 2003)

#### **1.4.7 Pruebas de Fitotoxicidad.**

La prueba fitotoxicidad es uno de los criterios que se toman en cuenta para evaluar la madurez en los diferentes tipos de compost ya que con esta se puede evaluar la madurez del abono debido a la presencia de sustancias fitotóxicas y este parámetro se mide con el cálculo de la germinación y el crecimiento de la radícula, de las semillas. Esta prueba se puede hacer con varias soluciones como por ejemplo el abono orgánico solo o con el abono más una parte del suelo. Pero esta prueba presenta una desventaja que es la sensibilidad de las diferentes semillas en presencia de las sustancias tóxicas que pueda existir en los diferentes tipos de abonos (Hidalgo, 2007).

#### **1.5 Hipótesis planteada en el trabajo de Investigación.**

La hipótesis planteada es: La muestra de compost producida en la Planta de Compostaje de la EMAC EP en la Ciudad de Cuenca, cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que el abono orgánico requiere para ser considerado apto para su utilización, es decir que cumpla con la normativa internacional, garantizando su calidad e inocuidad tanto para los seres vivos como para el medio ambiente, permitiéndonos sugerir las normas para el control en el Ecuador.



*Figura 3,* Área Administrativa y depósito de herramientas Planta de Compost.

## CAPITULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Participantes

El presente trabajo de Investigación fue auspiciado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Cuenca, a través de su Empresa Pública Municipal de aseo de Cuenca – EMAC EP (Ver figura 4), en conjunto con la colaboración de la Empresa Pública Agrocalidad (Laboratorios) ubicada en la Ciudad de Quito, en la Parroquia de Tumbaco.

En el estudio participó como director, Andrés Izquierdo Romero PhD., docente de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología y en calidad de tesista el Ingeniero Civil Gabriel Tutillo Larrea egresado de la Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental XIII promoción, de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.



*Figura 4,* Logo de la Empresa Municipal de aseo de calles – EMAC EP.

#### 2.2 Zona de estudio

La investigación fue llevada a cabo en dos lugares, que fueron los siguientes: el trabajo de campo en la Planta de compostaje de la EMAC EP y el trabajo en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE para determinar los factores bacteriológicos, y



los factores químicos que fueron realizados en el laboratorio de Agrocalidad perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería.



*Figura 5*, Entrada Laboratorio de Agrocalidad, Tumbaco – Quito

### 2.2.1 Trabajo de campo

La fase de campo se desarrolló en la Planta de Compostaje ubicada en el sector de Cochapamba, perteneciente a la Parroquia El Valle de la ciudad de Cuenca, donde se realizó la recolección de la muestra de compost (lote No. 15) con 7 semanas de madurez, en una funda plástica Zip lock estéril, para proceder con la determinación visual de los parámetros físicos en el lugar, para después llevar la muestra en una hielera a una temperatura de 4 grados centígrados al laboratorio.



**Figura 6,** Área de maduración del Compost, EMAC EP – Cuenca

La Planta de Compostaje se encuentra ubicada en el ex vertedero ubicado en la Parroquia de El Valle, a ocho kilómetros desde la Ciudad de Cuenca, perteneciente a la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca “EMAC EP”, cuyas coordenadas son: Latitud 9°674.710 N, Longitud 727.270 E, Altura Elipsoidal 2.664,50 m; donde desde el año 2004 se produce humus para la comercialización a personas particulares, así como para el consumo propio en los jardines y áreas verdes de la Ciudad y dentro del cantón Cuenca.

En la Planta de compostaje se realizaron los primeros análisis físicos, así como la determinación de parámetros físicos, tales como: el olor, color, tamaño del compost, temperatura de la biopila, humedad relativa, textura, dando los primeros resultados para ver la madurez en la que se encuentra el abono. También se evaluara la presencia de materiales inorgánicos como vidrios, plásticos, baterías entre otros (Ver figura 7).

Parámetros físicos determinados en sitio	Unidad	Valores estimados en el lugar
Color	—	café gris
Olor	—	tierra guardada
Humedad	%	35 - 40
Temperatura	°C	34
Textura	—	finá
Madurez	tiempo	7 semanas
Presencia de materiales	—	plásticos

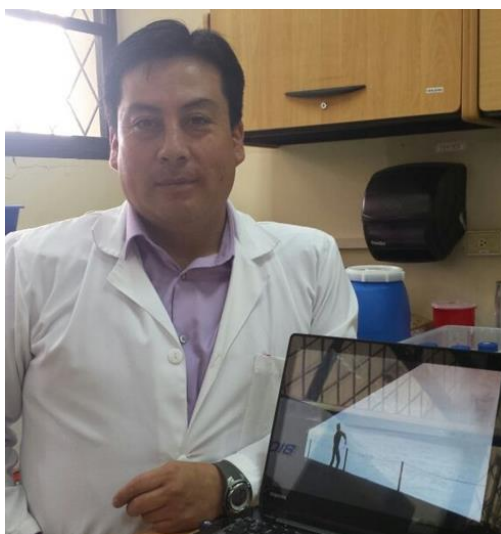
**Figura 7,** Propiedades físicas de la muestra de compost (Lote No. 15).

### 2.2.2 Trabajo de laboratorio.

La fase de investigación se dividió en dos partes: la primera, la parte del análisis microbiológico de las muestras que se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología Ambiental perteneciente al Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, ubicado en el Campus Sangolquí, Av. El Progreso s/n - vía Amaguaña, cantón Rumiñahui, provincia de

Pichincha – Ecuador, cuyas coordenadas son: Latitud 9°965.001 N, Longitud 784.126 E, Altura Elipsoidal 2518.64 m, (Ver figura 8).

La segunda parte del análisis de las muestras, es decir la determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizaron en los Laboratorios de suelos Aguas, Foliare y Fertilizantes de Agrocalidad, ubicados en la Av. Interoceánica Km. 141/2, sector La Granja MAGAP Tumbaco Provincia de Pichincha, cuyas coordenadas son: Latitud 9°976.211 N, Longitud 788.148 E, Altura Elipsoidal 2332,38 m.



*Figura 8*, Trabajo de Investigación en Laboratorio de la ESPE.

### **2.3 Periodo de tiempo de investigación.**

El proyecto de investigación se inició en el mes de abril del año 2016 y finalizó en el mes de febrero de 2017.

#### **2.3.1 Recolección de la muestra en Planta.**

El muestreo se realizó en la Planta de compostaje de la EMAC EP en la ciudad de Cuenca, considerando la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 220:2013. Fertilizantes o Abonos. Muestreo (Ver Tabla 3), la cual menciona que en un muestreo en forma de “zig-zag”, para lo cual

se divide la Biopila en ocho partes, y de cada una de éstas se recoge la sub muestra en sitios al azar, para luego obtener una muestra compuesta (INEN EP, 2013).



**Figura 9,** Recolección de muestra de compost y pesaje en balanza.

Según la literatura para muestreo, se excavará a una profundidad de 10 a 30 cm en la Biopila (lote No. 15) con una madurez de siete semanas, donde se recoge una cantidad aproximada de 125 gramos por cada sub muestra, además con tres repeticiones dando una recolección total de tres kilogramos. De los cuales 300 gramos serán destinados para los análisis microbiológicos y el sobrante para los análisis fisicoquímicos (Ver figura 9).

Las sub muestras de compost recogidas se colocan en una funda de cierre hermético etiquetadas con el lugar de recolección, la fecha de recolección y la fecha de salida del producto. Inmediatamente se deben poner en una nevera de mano con hielo para que se mantenga a una temperatura de 4 a 5 grados centígrados para conservar las características iniciales de la misma, hasta llegar al Laboratorio de Microbiología Ambiental perteneciente al Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE ubicada en Sangolquí.

**Tabla 3***Tamaño del lote y toma del número de muestras para el análisis*

Tamaño del lote (Kg)	Número mínimo de muestras elementales.
Hasta 15	3
16 -25	4
26-50	5
51-90	7
91-150	10
151-280	15
281-400	20
401-500	25
501-1200	35
1201-3200	50
3201-10000	75
100001-35000	100
35001-150000	150
Mayor a150000	200

Fuente: (INEN EP, 2013): Fertilizantes y abonos muestreo.

Las muestras para el análisis microbiológico fueron colocadas en recipientes estériles y transportadas bajo condiciones termorefrigeradas al Laboratorio de Microbiología de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Para los análisis fisicoquímicos, las muestras se colocaron en fundas plásticas estériles y fueron transportadas en un termo refrigerado al Laboratorio de Suelos de Agrocalidad (Ver Figura 10).

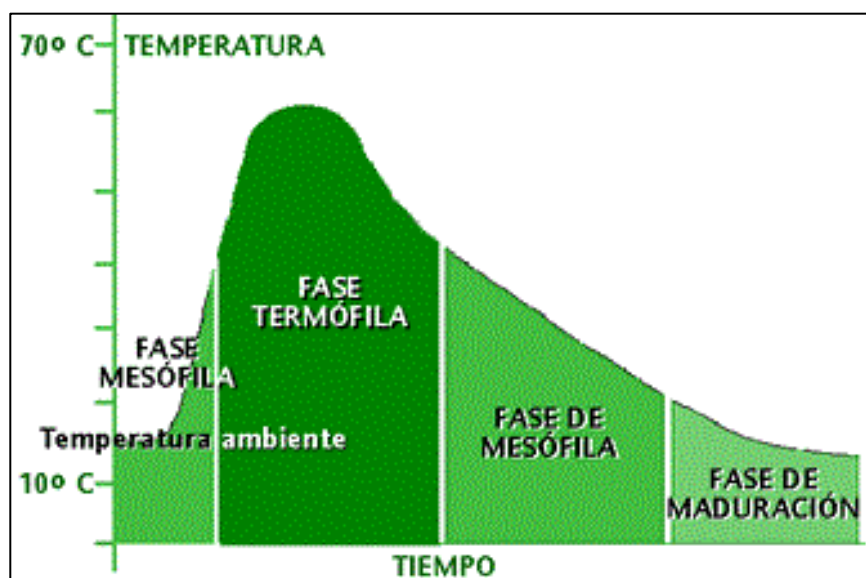


*Figura 10*, Muestreo del abono orgánico producido en la Planta de compostaje

### 2.3.1.1 Descripción del proceso de compostaje e infraestructura existente.

El proceso del compostaje se lo realiza en base a un sistema abierto, con biopilas dinámicas donde se mezclan materias primas por capas: la primera, es una mezcla de 12 a 18 m<sup>3</sup> de desechos orgánicos clasificados provenientes de los mercados de la Ciudad, de 60 a 120 kg de material inorgánico, de 10 a 12 kg de microorganismos, siete paladas de pasto de eucalipto, dos paladas de aserrín, cinco paladas de podas, cinco paladas de pasto, dos paladas de arena y seis paladas de compost de un lote ya maduro

Es un proceso microbiológico aerobio que combina dos fases mesófilas, una fase termófila y una fase de maduración, con una duración de 12 a 16 semanas del proceso de compostaje hasta alcanzar su madurez (Ver figura 11).



*Figura 11*, Fases biológicas de maduración del compost.

En esta investigación se constató que se controlan los parámetros de oxigenación, temperatura y el pH diariamente. Se observó que se realiza volteo mecánico de cada una de las biopilas con el



fin de suministrarles la cantidad de oxígeno que requieren, se chequea que tengan la humedad necesaria evitando que se sequen o que se saturen de agua.

Durante el proceso de compostaje se observaron varios cambios físicos, en cuanto al olor, en la fase inicial durante el primer mes presentaba un fuerte olor debido a la desintegración de los desechos de materia orgánica como: frutas, verduras, vegetales, etc.

En la primera fase mesófila el olor fue más intenso y fue bajando su concentración a las seis semanas, antes de alcanzar la etapa termófila y la de maduración. El volumen de material de la biopila fue disminuyendo debido a que todas las mezclas sufrieron la descomposición durante el período de tiempo.

La textura del compost durante el proceso de compostaje sufrió varias transformaciones, la materia orgánica fue tornándose pastosa durante las ocho primeras semanas, para luego convertirse en una mezcla de partículas finas y estabilizadas.

Todo el proceso de compostaje se desarrolla en cuatro áreas físicas. La primera es el área de clasificación de los desechos orgánicos; el segundo espacio es donde se tritura los desechos orgánicos, aquí de igual manera se tritura las podas que llegan de los parques que generalmente son ramas de árboles ornamentales y/o eucalipto, se trituran otros residuos vegetales. La tercera zona es en donde se desarrolla el proceso de descomposición del compost es una plataforma de unos 15 m de ancho por 60 m de largo aproximadamente, donde el suelo está cubierto por una geomembrana, este lugar es a cielo abierto, tiene cubierta de polivinilo para proteger el proceso de la lluvia. La última área en donde se lleva a cabo los procesos de maduración, secado, tamizado, ensacado y embalaje del abono orgánico producido (Ver figura 12).



*Figura 12*, Obtención del compost en la planta de compostaje.

- **Clasificación y selección del material.**

De los residuos descargados, a los orgánicos se los clasifica según su grosor, así tenemos a los residuos orgánicos delgados (incluye los pequeños), medianos y gruesos, estos últimos se los separa del resto ya que son llevados directamente por manos del obrero al siguiente proceso. Actualmente se utiliza una máquina que trabaja en cadena, importada de Europa, que agiliza la selección y trituración del material, está conformada por una tolva (4 toneladas), banda y trituradora semiautomática (Ver figura 13).

Con la utilización de una mini cargadora los residuos restantes, son colocados en la tolva y pasan por la banda, aquí se logra seleccionar o separar los residuos orgánicos de los pocos inorgánicos, este trabajo lo realiza el obrero en forma manual mientras trabaja la banda, ya que esta se mueve a una velocidad considerada (Ver figura 14).





*Figura 13*, Selección y clasificación de residuos orgánicos.

- **Proceso de trituración.**

Para este proceso se dispone de dos máquinas trituradoras, una de ellas se utiliza para triturar material grueso, mientras que la otra tritura material mediano y delgado. La trituración permite obtener residuos de menor tamaño con el fin de facilitar y acelerar el proceso de descomposición. Una vez triturado se mezcla el producto obtenido de las dos trituradoras y son transportados con la ayuda de la mini cargadora al área de descomposición.



*Figura 14*, Máquina de trituración de los residuos orgánicos gruesos.

- **Preparación de Biopila.**

La mini cargadora descarga el material en el área de descomposición que está bajo techo y continúa con la preparación de las pilas hasta formar una pila de dos metros de alto aproximadamente. La construcción de pilas para el compostaje tiene como objetivo la generación de un entorno apropiado para el ecosistema de descomposición. El entorno no sólo mantiene a los agentes de la descomposición (bacterias y otros microorganismos), sino también a otros que se alimentan de ellos.

Los residuos de todos ellos pasan a formar parte del compost, luego se procede a espolvorear alrededor de la pila una mezcla de zeolita y cal, pues esta última, permite controlar principalmente la aparición de un excesivo grado de acidez que reduce la velocidad de fermentación y otro beneficio es que permite aminorar malos olores, evitando la presencia de ciertos animales como perros y roedores. La zeolita es un mineral que durante el proceso de compostaje absorbe gases y olores, pero en el abono orgánico hace que se facilite la retención de agua y agilice la germinación y crecimiento de las plantas (Ver figura 15).



**Figura 15,** Uso de máquina Bob Cat para formar la Biopila.

- **Control y volteo de la Biopila.**

Durante el proceso de descomposición, cada ocho días generalmente, se voltea la pila para evitar el exceso de humedad o que la pila esté demasiado seca y así lograr que las bacterias puedan vivir y reproducirse. Una vez que la temperatura se mantenga estable ya no se necesita voltear la pila. Para este trabajo utilizan únicamente la mini cargadora que dura más o menos media hora en voltear tres pilas existentes en el área de maduración, cada una de estas pilas se encuentran en distintas etapas de descomposición. Luego se vuelve a espolvorear cal y zeolita alrededor, esto lo realizan cada vez que se realiza el volteo (Ver figura 16).

Se lleva un control de la temperatura (35-55°C), pH (6-8) y de la humedad (40-60%) de la pila, también se realiza fumigaciones para poder evitar la presencia de insectos indeseables o moscas. La temperatura se mide por medio de un termómetro analógico para suelos tipo aguja.



*Figura 16,* Volteo de la Biopila con ayuda de mini cargadora.

- **Abono orgánico producido (Compost).**

Una vez que la temperatura deje de subir y empiece a descender terminando el proceso de maduración entre 45 a 60 días aproximadamente, al producto se lo coloca en los 10 primeros

compartimentos, para que empiece a enfriarse poco a poco volteándolo con palas durante tres o cuatro días, una vez frío está listo para la siguiente fase de secado. El compost es de color marrón oscuro semigrueso sin ningún parecido con el producto inicial, el cual puede ser utilizado sin problema para la agricultura como un abono orgánico que no contamina el suelo como la gallinaza (estiércol de gallina), que contiene productos químicos como vacunas y hormonas. El compost puede ser de mejor calidad, de acuerdo con las proporciones de materiales que se utilice.



*Figura 17*, Fase de secado del compost en planta.

- **Proceso de secado y empacado del compost.**

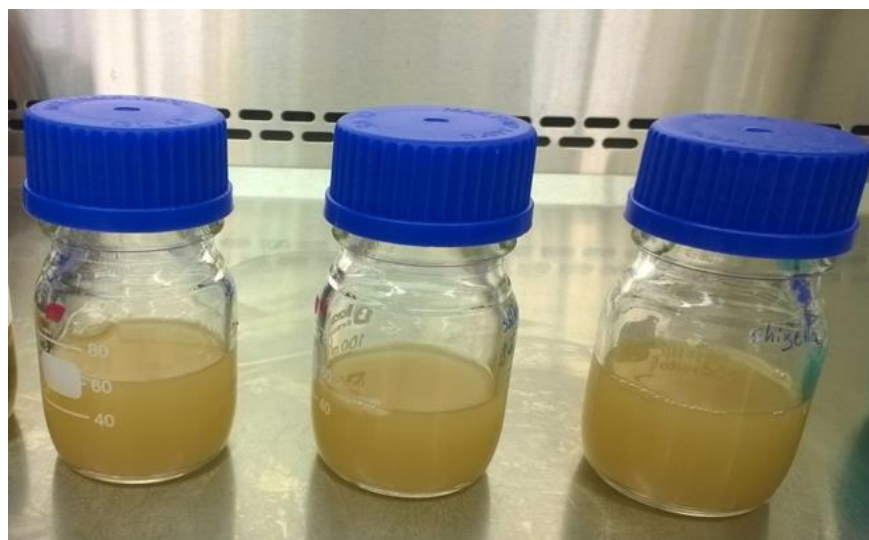
El compost es retirado de los compartimentos y se procede a colocarlo sobre unas lonas para trasladarlo al área de secado, aquí permanece más o menos ocho días, donde se realiza el proceso de volteo constantemente hasta que esté completamente seco, luego se procede al ensacado, en sacos de yute de 35 kg de capacidad y se sella con una máquina cosedora eléctrica para que no se riegue el compost durante el traslado manual al área de almacenamiento y su posterior comercialización dentro de la Ciudad de Cuenca y sus alrededores (Ver figura 18).





**Figura 18,** Ensacado del compost producido por la EMAC EP.

### 2.3.2 Fase de Laboratorio.



**Figura 19,** Muestreo del abono orgánico producido en la Planta de compostaje.

#### 2.3.2.1 Análisis Microbiológico.

Para determinar la inocuidad del compost, se planteó la búsqueda, o sea la existencia o ausencia de bacterias patógenas: *Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *E. Coli* en la muestra de compost recolectada de la planta de compostaje, (INEN EP, 2009), (INEN EP, 1990), (INEN EP, 1996).



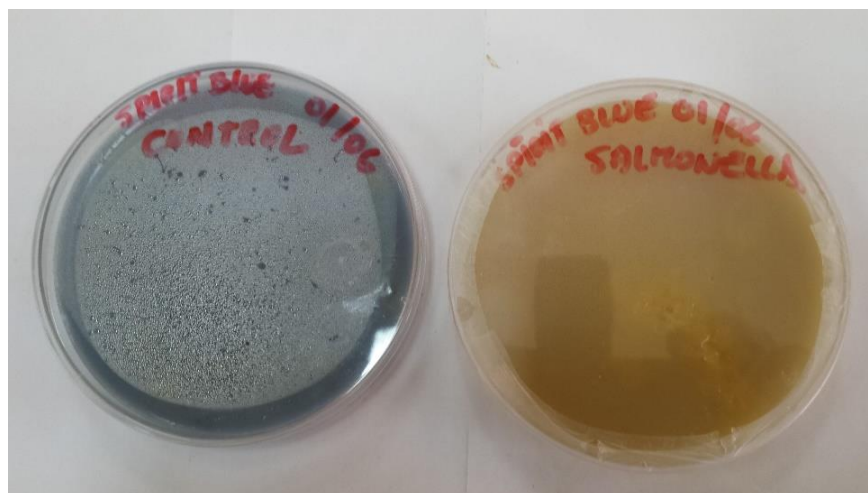
**Figura 20,** Preparación de medios de cultivo para identificar bacterias y coliformes

### 2.3.3 Fase analítica.

Comienza con la preparación de los medios de cultivo, donde se siembran muestras del compost en estudio para identificar bacterias y coliformes, (Ver figuras: 19 y 20).

#### 2.3.3.1 Aislamiento e identificación de la bacteria *Salmonella* sp.

El aislamiento e identificación de la bacteria del tipo *Salmonella* se puede realizar mediante varios procedimientos, en este caso se utilizó la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-15, para Control microbiológico de los alimentos.



**Figura 21,** Medio de cultivo para aislamiento de bacteria *Salmonella*.

Para el aislamiento e identificación de *Salmonella* se fue adecuando con materiales y medios de cultivo disponibles en el Laboratorio que han demostrado buenos resultados en la recuperación de las bacterias, en este caso cuyo objetivo de la investigación e identificación de este tipo de bacteria (Ver figura 21).

- **Pre-enriquecimiento**

En la Norma NTE-INEN-1529-15 se describe una fase de pre enriquecimiento, para esto la muestra deba ser puesta en un medio de cultivo no selectivo, donde se puedan generar las poblaciones bacterianas, que han sufrido una disminución celular durante el transporte desde la planta de compostaje hasta el laboratorio (INEN EP , 2009).

Para este cometido, se pesó 10 g de la muestra de abono orgánico y se sembró en 90 ml de agua de peptona tamponada estéril. Se homogenizó por 5 min, se dejó reposar 60 min a temperatura ambiente y luego se incubó a 37°C, durante 18 horas.

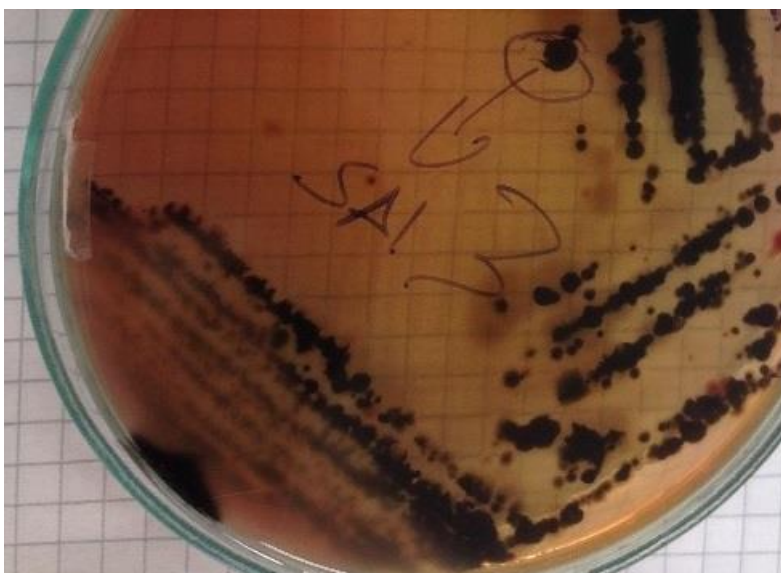
- **Enriquecimiento selectivo**

Pasadas las 18 horas de incubación correspondientes al pre-enriquecimiento de la muestra, se procedió a realizar el enriquecimiento selectivo, para ello se tomaron 5 ml de caldo de “pre enriquecimiento” y se colocó en 50 ml de caldo tetrionato verde brillante (BGB), se incubó a 42°C durante 48 horas.

Adicionalmente se sembró 10 ml de caldo de “pre enriquecimiento” en 100 ml de caldo selenito y se dejó incubando a 37°C durante 48 horas.

- **Aislamiento primario en medios selectivos y diferenciales**

Cumplido el periodo de enriquecimiento selectivo, a partir de los caldos se procedió a inocular la muestra mediante el estriado, en las cajas Petri que contiene los agares como medios sólidos selectivos y diferenciales, (Ver figura 22).



**Figura 22,** Caja Petri con incubación de bacteria *Salmonella* sp.

Para la inoculación de la *Salmonella* sp, se utilizó: los agares Mac Conkey, Verde rojo brillante, fenol, Agar SS Y Agar Hektoen. Se dejó incubar durante 24 horas a 37°C.

- **Selección y purificación de las colonias confirmativas.**

Después de transcurrido el período de incubación de cada medio selectivo y diferencial, se seleccionaron cinco colonias sospechosas bien separadas. Con estas muestras enriquecidas se procedió a inocular en cultivos puros que contienen agar nutriente inclinado. Se incubaron a 37°C por 24 horas.

Con la colonia bacteriana identificada se procedió a realizar una tinción Gram para verificar bacilos Gram negativos, y se vuelve a inocular nuevamente en tubos de agar nutriente inclinado. Por último se procede a la identificación bioquímica (Ver figura 23).





**Figura 23**, Inoculación de bacteria *Salmonella* sp., en tubos inclinado con agar nutriente.

- **Identificación mediante batería bioquímica**

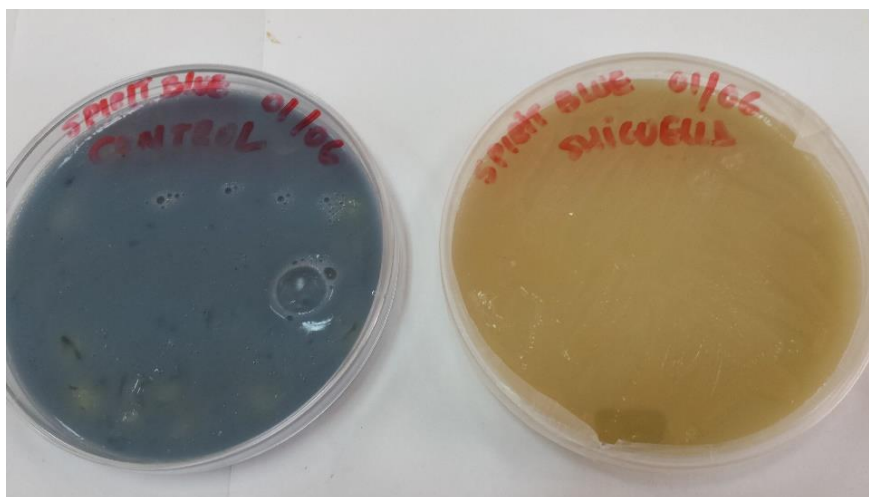
A partir de los cultivos puros, se inocularon las bacterias en medio primario para reacciones bioquímicas de metabolismo como triple sugar iron agar (TSI), se incubaron 37°C por 24 horas.

De las presuntas bacterias salmonelas, se sembraron las colonias (inocular) en los medios secundarios de identificación bioquímica, tal como: urea, caldo lisina decarboxilasa, prueba de beta galactosidasa, voges proskauer, prueba de indol, prueba de fenilalanina, citrato Simmons, entre otros. Los resultados se verificaron según la norma técnica ecuatoriana INEN para la determinación del género *Salmonella*.

### **2.3.3.2 Aislamiento e identificación de la bacteria *Shigella* sp.**

El aislamiento e identificación de la bacteria *Shigella* sp, se realizó según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-16:2013, para control microbiológico de los alimentos. Para el

aislamiento e identificación de la bacteria *Shigella* (INEN EP, 1996), se fue adecuando con materiales y medios de cultivo selectivos y diferenciales disponibles en el Laboratorio, propicios para la determinación y obtención de resultados verdaderos, y cuyo objetivo principal es la base de esta investigación (Ver figura 24).



**Figura 24,** Preparación de medio de cultivo para aislamiento de bacteria *Shigella*.

- **Pre-enriquecimiento**

En la Norma NTE-INEN-1529-16:2013 se describe una fase de pre enriquecimiento, para esto la muestra debe ser puesta en un medio de cultivo no selectivo, donde se puedan generar las poblaciones bacterianas, que han sufrido una disminución celular durante el transporte desde la planta de compostaje hasta el laboratorio. (INEN EP, 1996)

Para este cometido, se pesó 10 g de muestra del abono orgánico y se sembró en 90 ml de agua de peptona estéril al 0.1%. Se homogenizó durante 5 min, se dejó reposar 60 min a temperatura ambiente y luego se incubó a 37°C, durante 18 h.

- **Enriquecimiento selectivo**

Pasadas las 18 horas de incubación correspondientes al pre-enriquecimiento de la muestra, se procedió a realizar el enriquecimiento selectivo, para ello se tomaron 10 ml de caldo de “pre

enriquecimiento” y se colocó en 100 ml de caldo Hajna para cumplir con el enriquecimiento selectivo, se incubó a 37°C por un período de tiempo de 16 a 18 h.

- **Aislamiento primario en medios selectivos y diferenciales**

Cumplido el periodo de enriquecimiento selectivo, a partir de los caldos lactosados y enriquecidos, se procedió a inocular la muestra mediante el estriado, en las cajas Petri que contiene los agares como medios sólidos selectivos y diferenciales.

Para la inoculación de la muestra que compost que presuntivamente contiene la bacteria *Shigella* sp, se utilizaron: los agares Salmonella Shigella (SS), el Agar Xilosa Lisina Desoxicolato (XLD) y el Agar Mac Conkey. Se incubaron a 37°C en la por 24 h.

Pasado este tiempo en la incubadora, se procede a realizar la identificación bioquímica en de cada una de las cajas petri (siempre se realiza el análisis de la muestra por duplicado), (Ver figura 25).



*Figura 25*, Caja Petri con incubación de bacteria *Shigella* sp.

- **Selección y purificación de las colonias sospechosas**

Después de transcurrido el período de incubación de cada medio selectivo y diferencial, se seleccionaron colonias aisladas sospechosas para *Shigella*. Con estas muestras enriquecidas se procedió a inocular en cultivos puros que contienen agar nutriente inclinado. Se incubaron a 37°C por 24 horas.

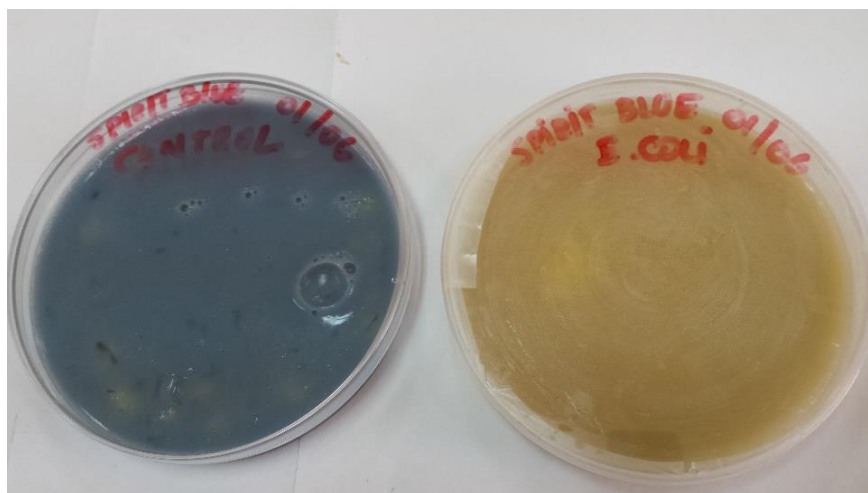
Con la colonia bacteriana identificada se procedió a realizar una tinción Gram para verificar bacilos Gram negativos, y se vuelve a inocular nuevamente en tubos de agar nutriente inclinado.

Por último se procede a realizar la identificación bioquímica en de cada una de las cajas petri (siempre se hace por duplicado el análisis de la muestra)

- **Identificación bioquímica**

A partir de los cultivos puros, se inoculó en los medios primarios de identificación bioquímica, triple sugar iron agar (TSI) y movilidad. Se incubaron a 37°C por 24 h. De las presuntas bacterias de *Shigella* obtenidas en la inoculación inicial, se sembraron en los medios secundarios de urea, caldo lisina decarboxilasa, malonato, salicina, voges proskauer, prueba de indol, prueba de fenilalanina y citrato Simmons. Los resultados se verificaron según la Norma Técnica Ecuatoriana para determinar el género de la bacteria *Shigella* (INEN EP, 1996).

### 2.3.3.3 Aislamiento e identificación de la bacteria *Escherichia Coli* y *Coliformes*.



**Figura 26,** Preparación de medio de cultivo para aislamiento de bacteria *E. Coli*.

El aislamiento e identificación de la bacteria *Escherichia Coli* y otros coliformes fue realizado según la norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE 1529-9 de Control microbiológico de los alimentos. Para el aislamiento e identificación de la bacteria *E. Coli* (INEN EP, 1990) se fue adecuando con materiales y medios de cultivos selectivos y diferenciales disponibles en el Laboratorio, propicios para la determinación y obtención de resultados verdaderos, y cuyo objetivo principal es la base de esta investigación (Ver figura 26).

- **Pre-enriquecimiento**

En la Norma NTE-INEN-1529-9, se describe una fase de pre enriquecimiento, para esto la muestra debe ser puesta en un medio de cultivo no selectivo, donde se puedan generar las poblaciones bacterianas, que han sufrido una disminución celular durante el transporte desde la planta de compostaje hasta el laboratorio

Para este cometido, se pesó 10 g. de muestra del abono orgánico y se sembró en 90 ml de Caldo Lactosado. Se homogenizó durante 5 min, se dejó reposar 120 min a temperatura ambiente y luego se incubó a 37°C, durante 24 h.

- **Enriquecimiento selectivo**

Pasadas las dos horas de incubación correspondientes al pre-enriquecimiento de la muestra, se procedió a realizar el enriquecimiento selectivo, para ello se tomaron 5 ml de caldo de “pre enriquecimiento” y se colocaron en 50 ml de caldo tetrionato verde brillante (BGB); de igual manera se tomaron 5 ml de caldo de “pre enriquecimiento” y se colocaron en 50 ml de Caldo EC, se dejaron incubar durante 24 h a una temperatura de 37°C ambas soluciones nuevas.

- **Aislamiento primario en medios selectivos y diferenciales**

Cumplido el periodo de enriquecimiento selectivo, a partir de los caldos se procedió a inocular la muestra mediante el estriado, en las cajas Petri que contiene los agares como medios sólidos selectivos y diferenciales.

Concluida la hora de pre-enriquecimiento, se realizaron diluciones con la muestra positiva del compost en estudio desde  $10^{-1}$  hasta  $10^{-7}$ , y a partir de estas, se inoculó en cajas Petri con medio de cultivo agar cristal violeta-rojo neutro-bilis. Se incubó a  $30^{\circ}\text{C}$  por 48 h.

Para la inoculación de la *Escherichia coli*, se utilizó: El agar Eosin Metilen Blue (EMB). Se incubaron a  $37^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, (Ver figura 27).



*Figura 27*, Caja Petri con incubación de bacteria *Escherichia coli*.

- **Selección y purificación de las colonias confirmativas**

Después de transcurrido el período de incubación de cada medio selectivo y diferencial, se seleccionaron colonias aisladas sospechosas para *Escherichia Coli* para obtener cultivos puros. Las colonias fueron sembradas en agar nutriente inclinado y se incubaron a  $37^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

Con la colonia bacteriana identificada se procedió a realizar una tinción Gram para verificar bacilos Gram negativos, y se vuelve a inocular nuevamente en tubos de agar nutriente inclinado.

- **Identificación bioquímica**

Para la identificación bioquímica de las bacterias presentes en la muestra de Compost, se escogió el método IMVIC, la cual es una prueba utilizada para la identificación de bacterias. Se compone de símbolos positivo o negativo (+ o -) según el resultado de cada prueba, siguiendo siempre el orden establecido por las iniciales del método. Se utiliza con pruebas como Indol, Rojo de metilo (MR), Voges Proskauer (VP) y Citrato Simmons. Los resultados se interpretan según las Normas Técnicas INEN para la identificación de la bacteria *Escherichia coli* (Ver figura 28).

	ONPG	ADH	LDC	ODC	CIT	H <sub>2</sub> S	URE	TGA	IND	VP	GEL	GLU	MAN	INO	SOR	RHA	SAC	MEL	AMY	ARA	OX
Negativo																					
Positivo																					

*Figura 28,* Placa de pruebas miniaturizada API 20E.

### 2.3.4 Identificación bioquímica y confirmación con pruebas API.

Los resultados obtenidos de las pruebas morfológicas y bioquímicas se confirmaron mediante la realización de pruebas miniaturizadas API, siguiendo las instrucciones de siembra y lectura de resultados, con el Índice Analítico de Perfil API 20E Medium, para Enterobacteriáceas (Benson, 2005).



La batería de pruebas API20E es un sistema de identificación rápida para bacterias de la familia Enterobacteriaceae y otras bacterias Gram (-). Básicamente consta de 21 test bioquímicos estandarizados y miniaturizados y una base de datos. Este sistema presenta las ventajas de ser rápido, eficaz y de permitir realizar numerosas pruebas a la vez. Cada tira de API 20E contiene 20 microtubos o pocillos con distintos sustratos deshidratados. Cada tubo es una prueba bioquímica distinta.

Los microtubos se inoculan con una suspensión de microorganismos, en agua o solución salina, que rehidrata los medios. Las tiras o galerías se incuban a 37°C y por efecto del metabolismo bacteriano se producen cambios de color espontáneos o bien por la adición de reactivos.

La lectura se realiza mediante la comparación con una tabla de lectura donde se indica si los microorganismos deben considerarse + o - para cada reacción según el color (Ver Tabla 4).

**Tabla 4**

*Batería de pruebas API 20E, para identificar presencia de Enterobacteriáceae*

<b>Prueba</b>	<b>Reacción / Enzimas</b>	<b>Negativo</b>	<b>Positivo</b>
ONPG	beta-galactosidasa	sin color	amarillo
ADH	arginina deshidrolasa	amarillo	rojo o naranja
LDC	lisina descarboxilasa	amarillo	rojo o naranja
ODC	ornitina descarboxilasa	amarillo	rojo o naranja
CIT	utilización del citrato	verde	azul oscuro o turquesa
H2S	producción de H2S	sin precipitado negro	precipitado negro
URE	ureasa	amarillo	rojo o naranja
TDA	triptófano desaminasa	amarillo	marrón-rojo



IND	producción de indol	amarillo	color rosa o anillo rosa-rojo
VP	producción de acetoina (Voges-Proskauer)	sin color	rosa-rojo
GEL	gelatinasa	sin difusión	difusión de pigmento
GLU	fermentación/oxidación de glucosa	azul o verde	amarillo
MAN	fermentación/oxidación de manitol	azul o verde	amarillo
INO	fermentación/oxidación de inositol	azul o verde	amarillo
SOR	fermentación/oxidación de sorbitol	azul o verde	amarillo
RHA	fermentación/oxidación de ramnosa	azul o verde	amarillo
SAC	fermentación/oxidación de sacarosa	azul o verde	amarillo
MEL	fermentación/oxidación de melobiosa	azul o verde	amarillo
AMY	fermentación/oxidación de amígdalina	azul o verde	amarillo
ARA	fermentación/oxidación de arabinosa	azul o verde	amarillo
OX	citocromo oxidasa	azul o verde	amarillo

Fuente: (Benson, 2005).

**CONTINÚA** →

## 2.4 Análisis fisicoquímico del compost.

Para realizar el análisis fisicoquímico de la muestra del abono orgánico (compost), se utilizó la metodología del Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de la Dirección de Servicios de Laboratorio de Agrocalidad, cuyos ensayos se determinaron según sus metodologías por el autor de esta tesis (Anexo 1 y Anexo 2).

En la muestra investigada, se determinaron los contenidos óptimos de cenizas, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, cadmio y plomo. Todos los métodos utilizados en el laboratorio de suelos de Agrocalidad, están basados en

el Standard Methods y en la RELASE (Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador), y corresponden a procesos certificados y son confidenciales (Ver figura 29).



*Figura 29*, Preparación de muestra de compost para análisis fisicoquímico.

#### **2.4.1 Análisis de la muestra de suelo investigada.**

Por falta de un laboratorio calificado dentro de las Instalaciones de la Planta de compostaje de la EMAC EP, se recogen muestras de compost, que son llevadas al laboratorio de fertilizantes de “Agrocalidad” perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, parroquia de Tumbaco, para realizar su análisis químico respectivo sobre el contenido de nutrientes y metales pesados (mes de mayo de 2016).

Como es un proceso natural, todos los valores que se obtienen del laboratorio varían un poco cada mes, por tal motivo en los sacos y fundas de empaque, tanto para el compost como humus, solamente se enuncia los componentes, pero no las cantidades en las que se encuentran presentes.

Para el análisis del producto se envía una muestra a dos laboratorios diferentes para contrastar el resultado. Es necesario contar con el análisis a fin de conocer el porcentaje de los elementos nutritivos.

#### 2.4.1.1 Preparación de la muestra en Laboratorio.



*Figura 30*, Toma de muestra en laboratorio para calcular la humedad.

La muestra del abono orgánico colectado fue secada en una estufa 70°C por 48 horas, después fue molida y tamizada con un tamiz de 2 mm y almacenadas en fundas transparentes identificadas, para realizar los respectivos análisis excepto el de densidad aparente (Ver figura 30).

#### 2.4.2 Determinación de las características fisicoquímicas del compost.

La caracterización fisicoquímica del abono orgánico se basó en la determinación de los contenidos de niveles óptimos de los parámetros mencionados anteriormente.

La caracterización fisicoquímica del abono orgánico (compost) en estudio, se realizó según los procedimientos estandarizados por el Laboratorio de Suelos de Agrocalidad (Ver Tabla 5). Los procedimientos no son detallados en esta tesis por motivo de confidencialidad por parte de la autoridad encargada del Laboratorio, por otra parte hay que indicar que es un Laboratorio acreditado por la autoridad competente de nuestro País.

**Tabla 5***Parámetros fisicoquímicos analizados en la muestra en Laboratorio de Agrocalidad*

Parámetro analizado	Método	Unidad
Cenizas	Gravimétrico	%
Materia orgánica	Gravimétrico	%
Nitrógeno	Dumas	%
Fósforo	Colorimétrico	%
Potasio	Absorción atómica	%
Calcio	Absorción atómica	%
Magnesio	Absorción atómica	%
Hierro	Absorción atómica	ppm
Manganeso	Absorción atómica	ppm
Cobre	Absorción atómica	ppm
Zinc	Absorción atómica	ppm
Cadmio	Absorción atómica	mg/kg
Cadmio	(Llama)	mg/kg
Plomo	Absorción atómica	mg/kg
Plomo	(Llama)	mg/kg

**Fuente:** (INEN EP, 2013) Fertilizantes y abonos muestreo.

## 2.5 Prueba de Fitotoxicidad en el compost producido por la EMAC EP.

Para realizar el ensayo se siguió la metodología propuesta por (Varnero M., 2007) que utiliza la base seca y se prepara extracto del abono (Ver Figura 31) con una proporción 1:5 que quiere decir que por una parte de abono, se mezcla con cinco partes de agua destilada.

A esta solución formada se la deja en agitación durante unos 20 min, y se coloca la muestra en un frasco con dispensador para rosear el papel filtro colocado en cada una de las cajas Petri que contienen las semillas de quinua (Ver Figura 32).

Se utilizó este tipo de semilla ya que es bien sensible a la presencia de bacterias, de acuerdo con los investigadores obteniéndose buenos resultados, ya que nos indica la frecuencia relativa de los niveles de fitotoxicidad, ya que no acepta mutaciones.



**Figura 31,** Preparación de extracto de muestra con una dilución 1:5



**Figura 32,** Semillas de quinua para realizar prueba de fitotoxicidad.

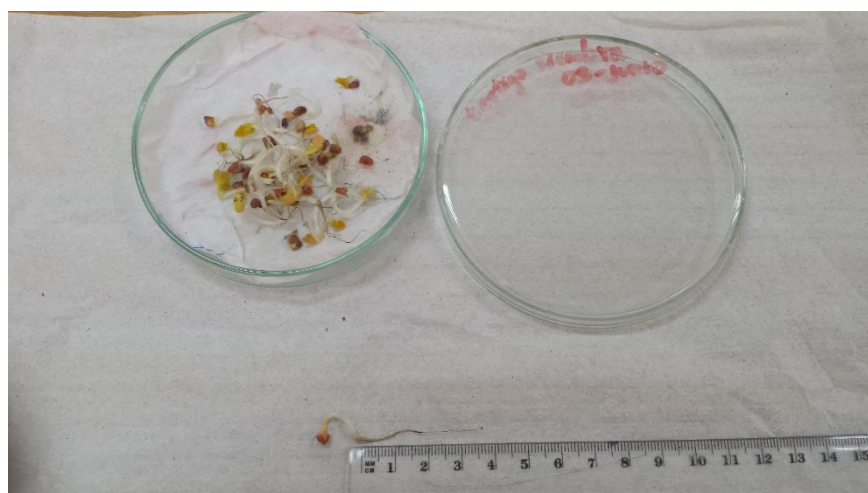
Se utilizan cuatro cajas Petri con 25 semillas de quinua sobre papel filtro, que se mantuvieron a una temperatura de 27°C durante 5 días en la estufa del laboratorio para determinar la cantidad de semillas de quinua que pudieron germinar en las cajas Petri sembradas con muestra del extracto del compost en estudio; estas muestras fueron revisadas durante los cinco días para ver su evolución y mantenerlas con humedad tanto a las muestras como a los testigos, esta información

se encuentra a continuación, y que es necesaria para determinar el Porcentaje de Germinación Relativo (PGR), (Ver figura 33). (Zucconi, 1981).

No.	Prueba de Germinación (IG)	Extracto de Compost		Testigo con agua pura	
		Plántulas		Plántulas	
		germinadas	no nacidas	germinadas	no nacidas
1	Caja Petri # 1	20	5	23	2
2	Caja Petri # 2	23	2	24	1
3	Caja Petri # 3	21	4	25	0
4	Caja Petri # 4	22	3	23	2
$\Sigma$	Sumatoria Total	86	14	95	5

**Figura 33**, Resumen de semillas de quinua germinadas para el cálculo del IG.

Para el cálculo del crecimiento de radícula relativo (CRR) se realizaron las mediciones de las longitudes de las radículas de cada semilla, utilizando una regla numerada (Ver Figura 34).



**Figura 34**, Conteo de raíces de quinua que han germinado, para el cálculo del IG.

La segunda parte del cálculo, es el de medir o determinar los valores de elongación de las radículas de cada una de las semillas que han logrado desarrollar su raíz, se debe tener en cuenta que esta semilla no se desarrolla si está en contacto con agentes bacterianos, en este caso presentes en la muestra compost diluida en agua destilada y utilizada para mantener húmeda la semilla. La información obtenida para el cálculo del Índice de Germinación la podemos ver: (Ver figura 35).

No. de semilla	Elongación de radículas en (cm).			
	<i>Caja petri # 1</i>	<i>Caja petri # 2</i>	<i>Caja petri # 3</i>	<i>Caja petri # 4</i>
	germinadas en el extracto		germinadas en el testigo	
1	3.70	3.60	3.10	3.60
2	2.80	3.80	2.90	3.50
3	3.60	3.40	3.60	3.70
4	4.00	2.80	4.00	2.80
5	3.90	3.70	3.40	3.60
6	2.90	3.80	2.80	2.90
7	3.60	3.60	3.70	3.60
8	3.80	3.70	3.80	4.00
9	3.40	3.20	2.70	3.40
10	2.80	3.80	2.90	2.80
11	3.70	2.70	2.80	3.70
12	3.80	1.80	3.10	3.80
13	2.70	2.80	3.60	2.70
14	1.80	3.10	2.50	3.00
15	2.80	3.60	3.20	2.80
16	3.10	2.50	3.50	3.10
17	3.60	3.20	3.90	3.60
18	2.50	3.50	2.70	2.50
19	3.20	3.90	3.30	3.20
20	3.50	2.70	3.80	3.50
21	3.90	2.80	3.60	3.90
22	2.70	3.10	2.50	2.70
23	3.30	3.60	3.20	3.30
24	3.80	2.50	3.50	3.80
25	3.10	3.70	4.10	3.60
$\Sigma$ parcial	82.00	80.90	82.20	83.10
$\Sigma$ total	81.45		82.65	

**Figura 35,** Valores de elongación de radículas de semillas, para el cálculo del IG.

Para el cálculo del índice de germinación “IG”, que se define como el producto del PGR \* CRR dividido para 100, se usaron las siguientes formulas:

$$\bullet \quad PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} * 100 \quad (\text{Ecu.1})$$

$$\bullet \quad CRR = \frac{\text{Elongacion de radículas en el extracto}}{\text{Elongacion de radículas en el testigo}} * 100$$

$$\bullet \quad IG = \frac{PGR * CRR}{100} \quad \text{(Ecu 3)}$$

A continuación vamos a realizar el cálculo del Porcentaje de Germinación Relativo (PGR).

$$PGR = \frac{86,00}{95,00} * 100, \quad PGR = 90,52 \%$$

A continuación vamos a realizar el cálculo del Crecimiento de Radícula Relativo (CRR).

$$CRR = \frac{81,45}{82,65} * 100, \quad CRR = 98,55 \%$$

Por lo tanto el Índice de Germinación, es igual a:

$$IG = \frac{90,52\% * 98,55\%}{100}, \quad IG = 89,20 \%$$



## CAPITULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Resultados microbiológicos del compost en Laboratorio.

Se realizaron en el Laboratorio pruebas en la muestra de compost producida en la Planta de compostaje de la EMAC EP, para determinar la inocuidad del abono orgánico, o la existencia de bacterias patógenas como: *Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *Escherichia coli*.

Estas pruebas realizadas de acuerdo con un cronograma establecido, del cual se ha obtenido una serie de resultados, los mismos que han sido evaluados de acuerdo con las normas INEN existentes, Normas Internacionales como la EPA y con parámetros de referencia preestablecidos; hay que señalar que los métodos están avalados por normas, procesos y Laboratorios certificados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, y de confirmarse la presencia de algún patógeno en el compost analizado, sin importar el grado y/o la cantidad, y así estuviere dentro de los rangos de los parámetros de acuerdo con las normas internacionales. Como parte final de este trabajo se propondrá un Plan de Gestión para la eliminación de los patógenos dentro del producto final, para su futura comercialización en el mercado local sin inconvenientes respecto con este tema.

##### 3.1.1 Resultados y análisis microbiológico del compost.

En primer lugar se presentan los resultados del análisis microbiológico sobre la presencia de bacterias patógenas indicadoras como: *Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *Escherichia Coli*.

En segundo lugar, damos a conocer los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a la muestra de abono orgánico (compost) producido por el GAD de Cuenca, a través de su empresa EMAC EP.

- **Medios de cultivo utilizados para las pruebas microbiológicas.**

Los medios de enriquecimiento utilizados para la inoculación con la muestra de abono orgánico, son: Caldo Verde Brillante (BGB), Caldo de Tetracionato, Medio Selenito-Cistina, Medio Hajna y Medio EC (Ver figura 36).



*Figura 36*, Caldo Verde Brillante, Caldo Tetracionato, Medio Selenito, Medio Hajna.

### 3.1.1.1 Resultados obtenidos con el aislamiento de las bacterias.

- **Fase de enriquecimiento.**

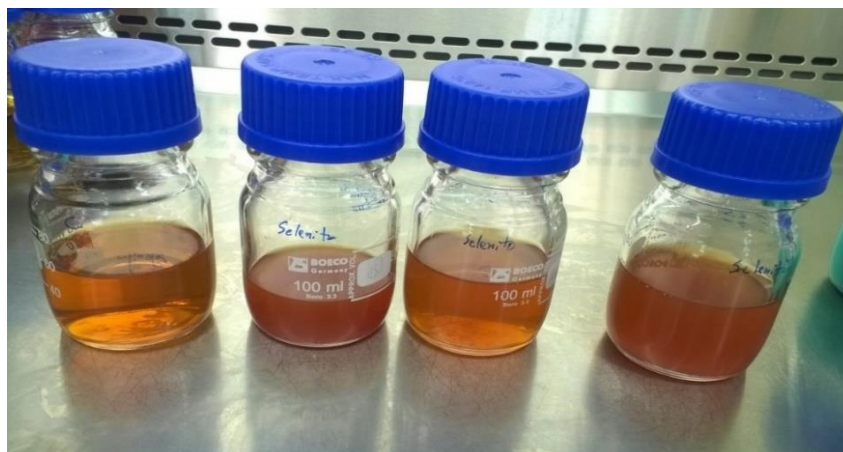
Los resultados obtenidos para cada uno de los medios de cultivo utilizados, fueron: la presencia del género bacteriano que ha producido turbidez, el cambio de coloración inicial del medio y la producción de gas en la mayoría de los frascos inoculados con la muestra del compost analizado.



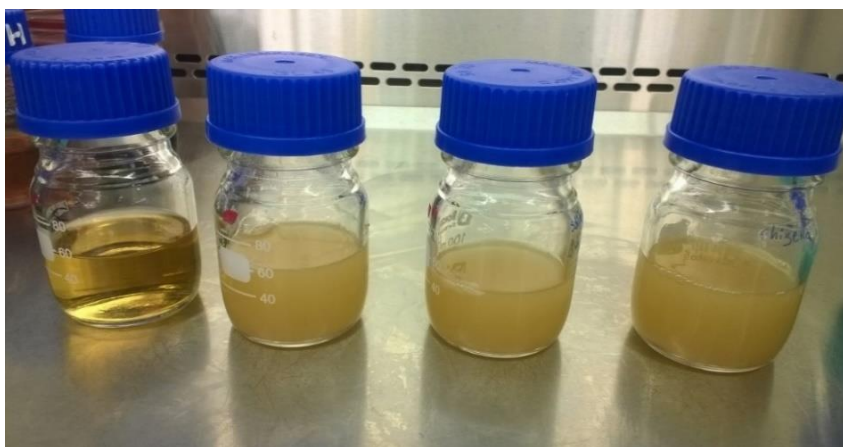
*Figura 37*, Caldo Verde Brillante inoculado con muestra de compost



**Figura 38**, Caldo de Tetrionato inoculado con muestra de compost.



**Figura 39**, Celenito Cistina inoculado con muestra de compost.



**Figura 40**, Hajna inoculado con muestra de compost.



**Figura 41**, EC inoculado con muestra de compost en estudio.

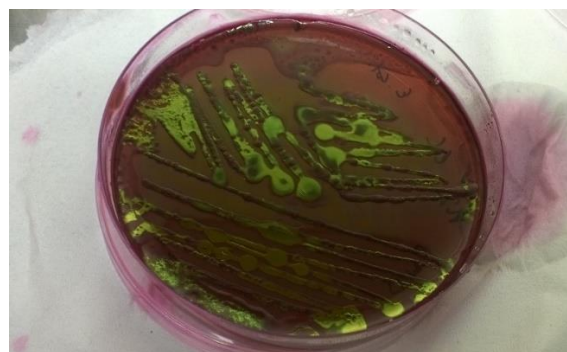
Luego de haber inoculado la muestra en las cajas Petri que contenían los medios selectivos, se obtuvieron colonias bacterianas con las características morfológicas macroscópicas desarrolladas de acuerdo con la pigmentación, como se puede observar en la Tabla 6, (Ver figuras: 42, 43 y 44).

**Tabla 6**

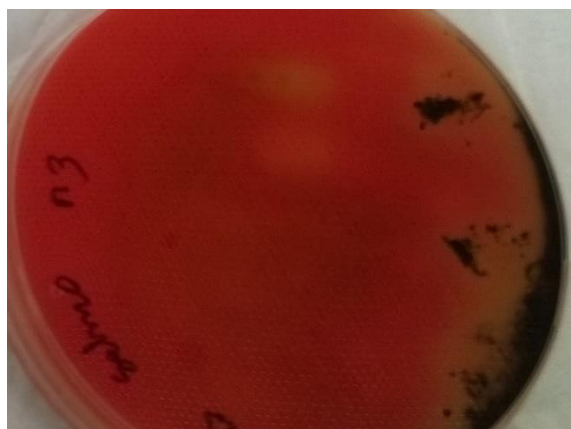
*Características desarrolladas por las bacterianas en diferentes medios selectivos*

Bacteria	Medio Selectivo	Característica de Pigmentación
Escherichia Coli.	Agar EMB	Verde Metálico
Salmonella Sp.	Agar Hektoen	Verde con centro negro
Salmonella Sp.	Agar Salmonella Shigella	Translucida con centro negro
Salmonella Sp.	Agar Mac Conkey	Rosadas
Shigella Sp.	Agar XLD	Incoloras
Shigella Sp.	Agar Salmonella Shigella	Incoloras
Shigella Sp.	Agar Mac Conkey	Rosadas

Fuente: (Prescott., 2009)



**Figura 42**, Resultado de primera Inoculación, presencia de *E. Coli*.



**Figura 43**, Resultado de primera Inoculación, presencia de *Salmonella*.

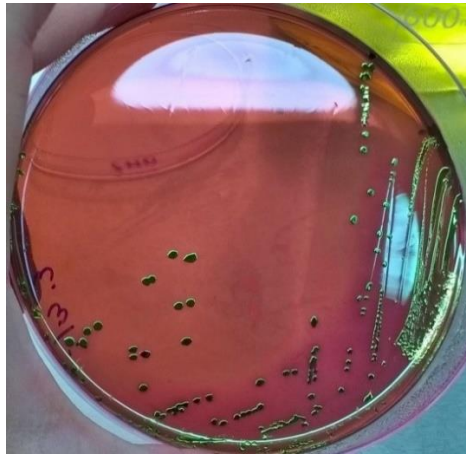


**Figura 44**, Resultado de primera Inoculación, presencia de *Shigella*.

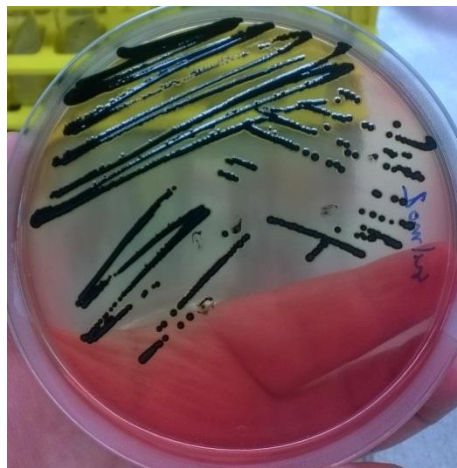
- **Aislamiento de colonias del género *Salmonella* sp., *Shigella* sp. y *E. Coli*.**

Después de verificar las cualidades de cada uno de los medios selectivos utilizados, se escogieron diez colonias bacterianas que presentaron características macroscópicas y microscópicas similares a la de los géneros de estudio, y se las volvieron a sembrar en nuevos medios selectivos propios para cada una, para obtener un cultivo puro, de acuerdo con la bibliografía para el aislamiento de: *Salmonella* sp., *Shigella* sp., y *Escherichia Coli* (Ver figuras: 45, 46 y 47).





*Figura 45*, Aislamiento de bacteria *E. Coli* en medios selectivos propios.



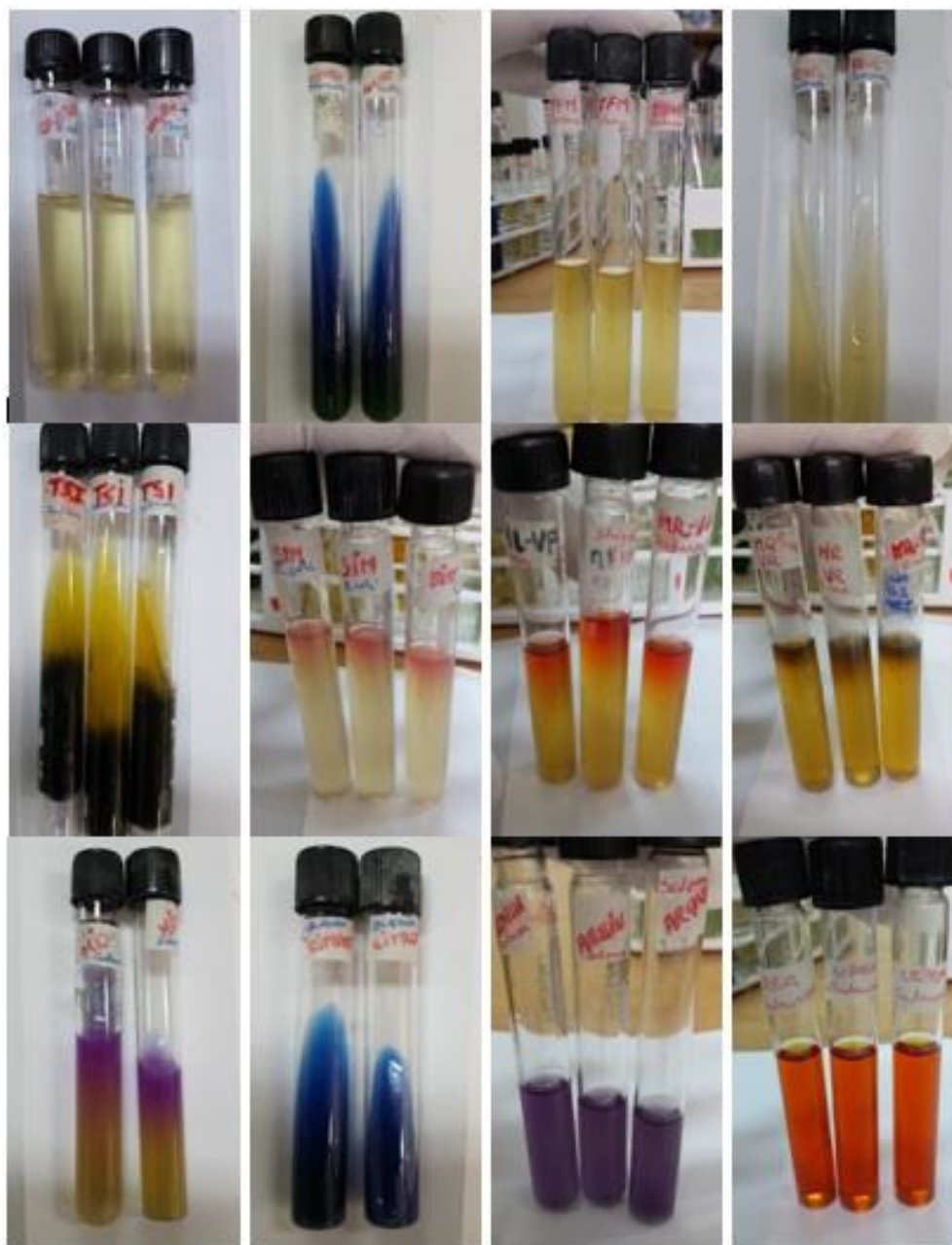
*Figura 46*, Aislamiento de bacteria *Salmonella* en medios selectivos propios



*Figura 47*, Aislamiento de bacteria *Shigella* en medios selectivos propios.

### 3.1.1.2 Resultados obtenidos del análisis bioquímico.

Dentro de las pruebas bioquímicas realizadas con la muestra de compost analizado, para determinar la presencia de colonias bacterianas sospechosas aisladas, se utilizaron varios medios de cultivos, así tenemos: Acetato Diferencial, TFM, Fenilalanina, TSI, Sim Indol, MR, VP, XLD, MIO, Citrato de Simons, Arginina, Urea, etc. (Ver figura 48).



**Figura 48,** Pruebas para determinar la presencia de *E. Coli*, *Shigella* y *Salmonella*

A continuación en la Tabla 7, se puede observar las claves bibliográficas para la identificación y presencia de las bacterias: *Escherichia Coli*, *Shigella* y *Salmonella* en la muestra de compost.

**Tabla 7**

*Claves bibliográficas para la identificación y presencia de las bacterias*

No.	Prueba	Bacteria					
		<i>Escherichia Coli</i>		<i>Salmonella</i>		<i>Shigella</i>	
		Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
1	Oxidasa		x	x	x		x
2	Catalasa	x		x			x
3	Gelatina	x			x	x	
4	Hidrolisis de Lipasa	x		x		x	
5	Acetato Diferencial	x		x		x	
6	TFM (Trabajo Fin de Máster )	Anaerobia Facultativa		Anaerobia Facultativa		Anaerobia Facultativa	
7	FENIL (Fenilalanina)		x		x		x
8	TSI (Triple Sugar Iron)	A/A		x			x
9	Sim Indol	x			x		x
10	Motilidad	x		x	x		x
11	H2S		x	x		-	-
12	MR (Rojo de metilo)		x		x	x	
13	VP (Voges-Proskauer)	x		x			x
14	XLD (Xilose Lysine Desoxycholate)	x		x			x
15	MIO (Movilidad Indol Ornitina)	x		x	x	x	
16	Citrato de Simons		x		x	x	
17	Arginina		x	x		x	x
18	Urea	x	x		x		x
19	Gas	x		x			x

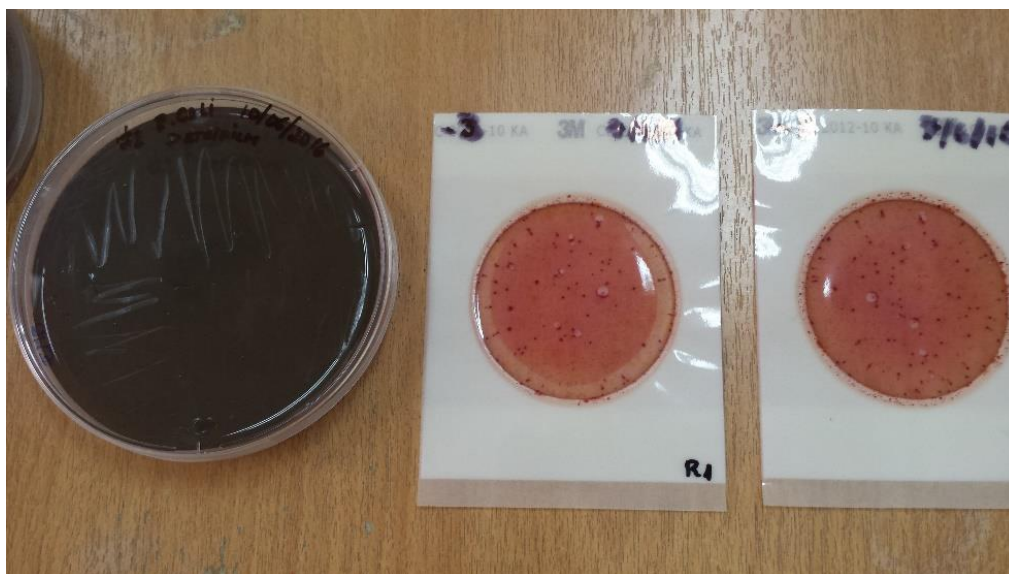
Fuente: (Norma EPA 503, 2003).



### 3.1.1.2.1 Prueba confirmativa con medios Petrifilm 3M y conteo de colonias.

Para la identificación de las colonias de bacterias aisladas en los medios selectivos, se consideraron las claves descritas en el manual de (Bergey's, 2009), de igual manera se utilizaron las normas INEN para cortejar los resultados.

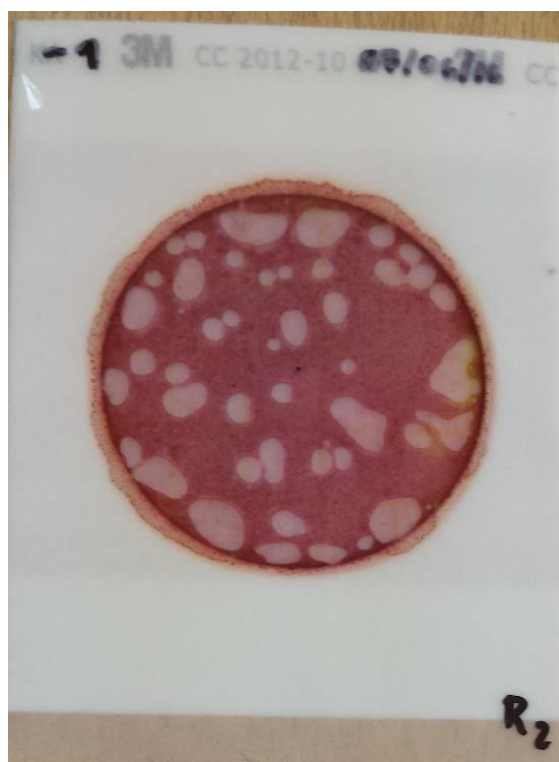
Al determinar la presencia de *Escherichia coli*, se vió la necesidad de realizar una prueba de análisis confirmativo, a través de Medios Petrifilm TM de 3M, para después realizar el conteo de bacterias coliformes fecales presentes en la muestra de compost (Ver figura 49).



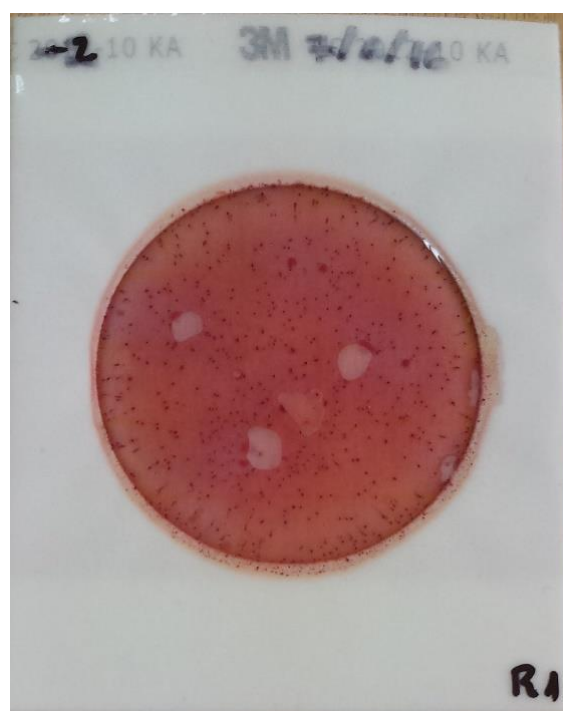
**Figura 49.** *E. Coli* aislada para inocular en medio Petrifilm, prueba confirmativa

Para esto se pesaron 10 g de la muestra de abono orgánico (compost) en 90 ml de caldo lactosado, luego se realizaron diluciones de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-7}$ , y se inoculó 1 ml de la muestra en las placas de Petrifilm (se realizan dos ensayos por cada dilución, la muestra y la de control). Posteriormente se llevaron a incubación las placas a 35 °C por 24 h.

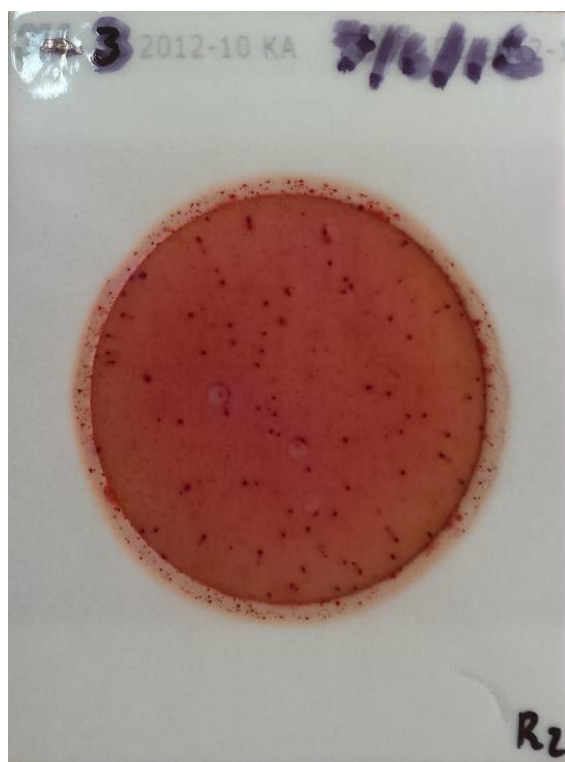
A continuación podemos observar las placas de Petrifilm después de haber concluido el período de incubación con las respectivas diluciones estudiadas (Ver figuras 50 a 56).



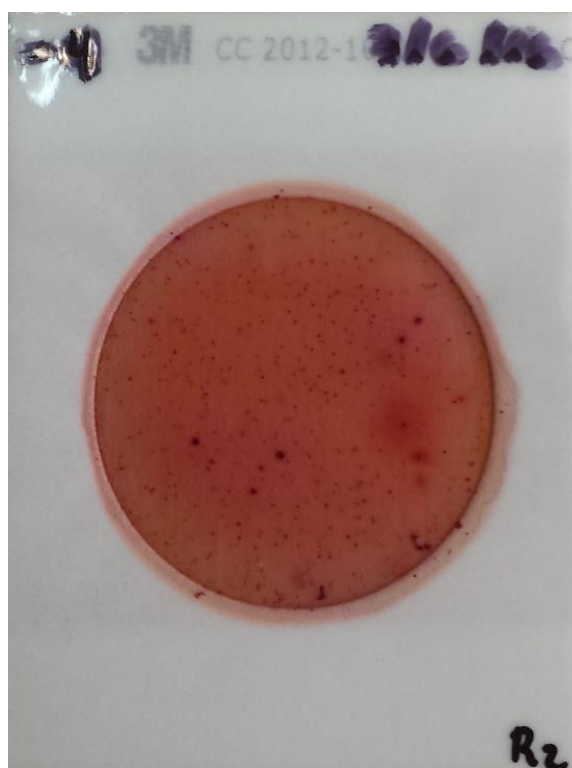
*Figura 50*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-1}$ .



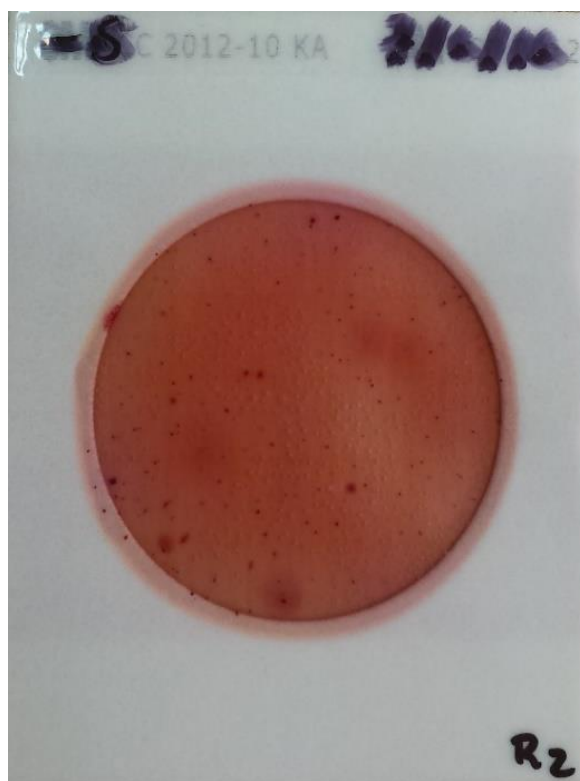
*Figura 51*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-2}$ .



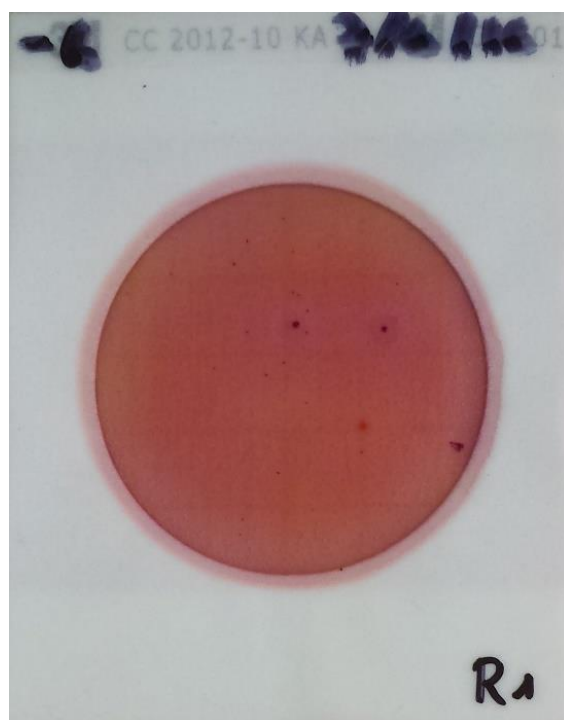
*Figura 52*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-3}$



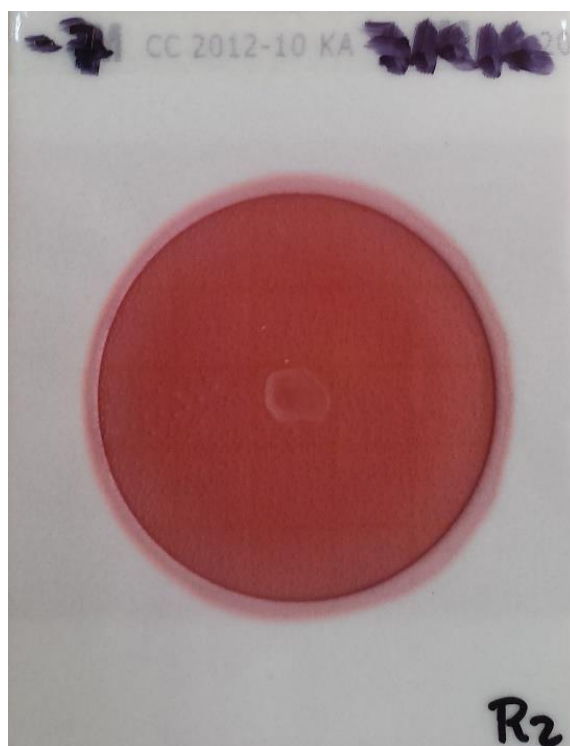
*Figura 53*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-4}$



*Figura 54*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-5}$ .



*Figura 55*, Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-6}$ .



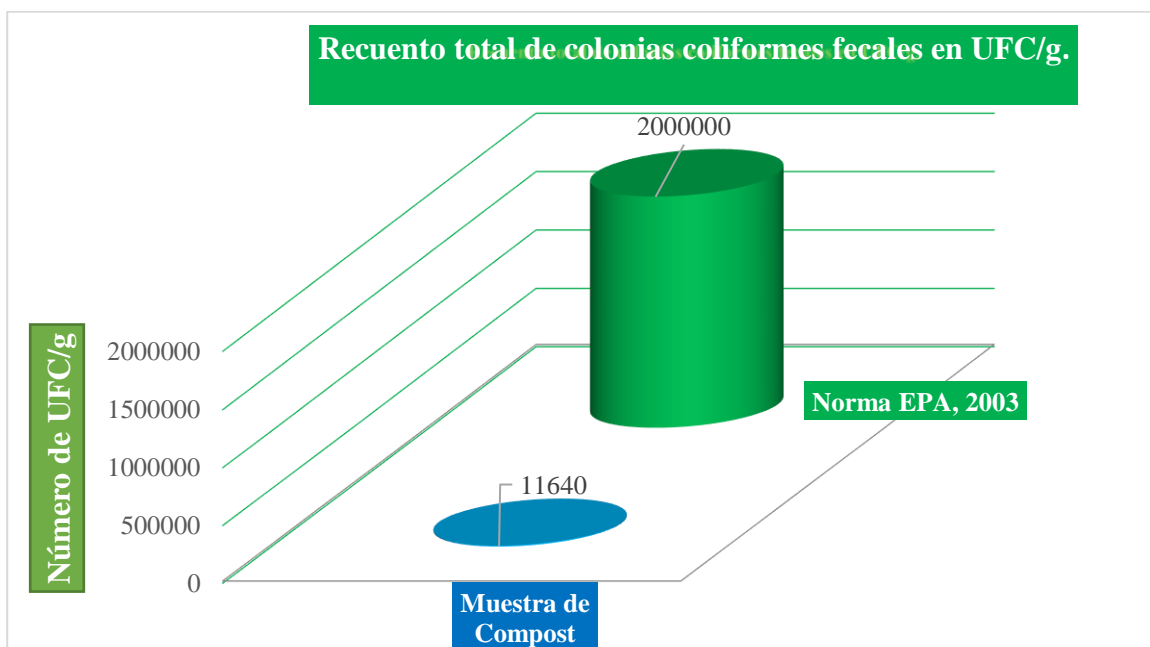
**Figura 56,** Medio Petrifilm inoculado con muestra aislada, diluida a la  $10^{-7}$ .

Después de retirar las muestras de la incubadora, se procedió a realizar el análisis y el conteo total de las colonias y unidades formadas en cada una de las placas de Petrifilm, que presentaron un color rojo con presencia de gas, obteniéndose la siguiente información (Ver Figura 57).

No.	Dilución con bacteria inoculada	Placa Petrifilm (conteo)	Placa Petrifilm control (conteo)	Lim. Permissible UFC/g (Norma EPA)
1	$10^{-1}$	11640	11520	2000000
2	$10^{-2}$	1084	972	$2 \times 10^6$
3	$10^{-3}$	627	681	$2 \times 10^6$
4	$10^{-4}$	482	398	$2 \times 10^6$
5	$10^{-5}$	159	137	$2 \times 10^6$
6	$10^{-6}$	34	14	$2 \times 10^6$
7	$10^{-7}$	0	0	$2 \times 10^6$

**Figura 57,** Conteo total de colonias coliformes fecales en UFC/g; Norma EPA 2003.  
Fuente: (Norma EPA 503, 2003).

Al observar los resultados del cuadro anterior, en el que se determina la existencia de *Escherichia Coli*, abalizada por el conteo del número de coliformes fecales presentes en la muestra de compost estudiada, el mismo que se encuentra dentro del límite permisible por la EPA (Ver figura 58).



**Figura 58**, Representación gráfica de coliformes fecales presentes en la muestra.

### 3.1.1.3 Descripción macroscópica celular.

Las características macroscópicas celulares evidenciadas en las muestras de compost inoculadas en las cajas Petri que contenían los medios (nutrientes), dando como resultado la existencia de colonias sospechosas, cuyas características más relevantes son:

- El color de las presuntas colonias de *Salmonella* sp., fueron de color negro brillante, con borde entero, elevado y convexo, y superficie lisa.
- Las presuntas colonias de *Shigella* sp., encontradas en las cajas Petri, fueron de color beige, traslúcidas, lisas, con borde entero y convexas.



- Hubo la presencia de *Escherichia coli.*, en cuatro de las muestras aisladas en Agar EMB, presentaron un color negro oscuro con brillo verde metálico; las muestras sembradas en el medio Eosina presentaron un color azul de metileno, con superficie lisa, bordes entero, y forma convexa. (Ver figuras: 59, 60 y 61).



**Figura 59**, Presencia de *Escherichia Coli*, en medio selectivo y diferencial.



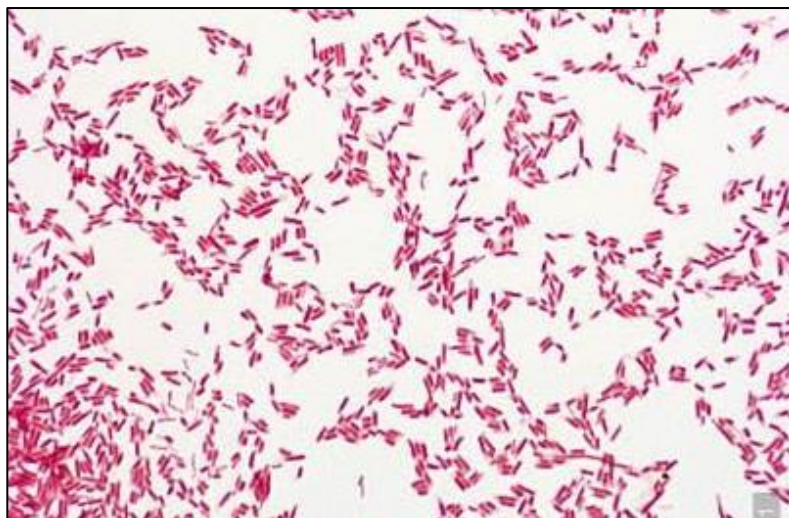
**Figura 60**, Presencia de *Shigella* en medio selectivo y diferencial.



*Figura 61*, Presencia de *Salmonella* en medio selectivo y diferencial.

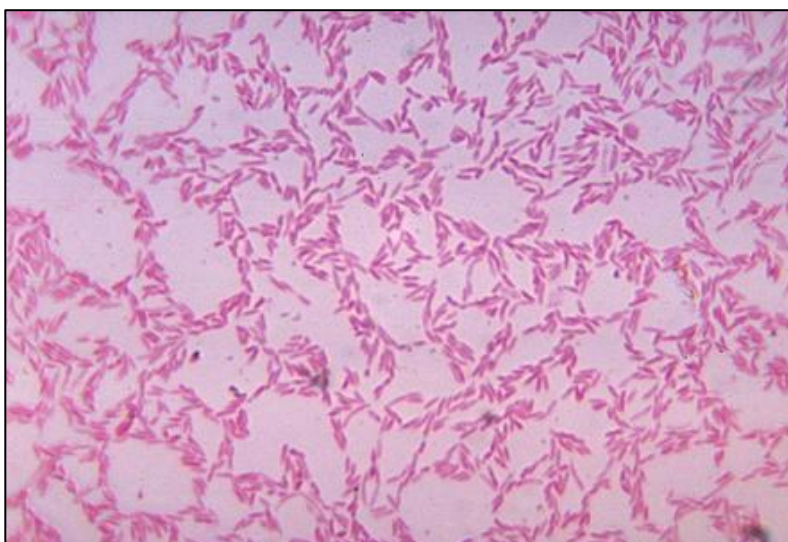
- **Morfología Celular de las bacterias**

Las características macroscópicas más evidentes de las bacterias encontradas, que se pueden apreciar en las imágenes proporcionadas por el microscopio electrónico de 100X de capacidad visual, se pueden ver ampliadas cien veces a continuación (Ver figuras: 62, 63 y 64).



*Figura 62*, Tinción Gram con presencia de *Escherichia Coli*.





**Figura 63**, Tinción Gram con presencia de *Salmonella*.



**Figura 64**, Tinción Gram con presencia de *Shigella*.

### **3.1.2 Prueba confirmativa de bacteria *Escherichia Coli* con el método rápido API.**

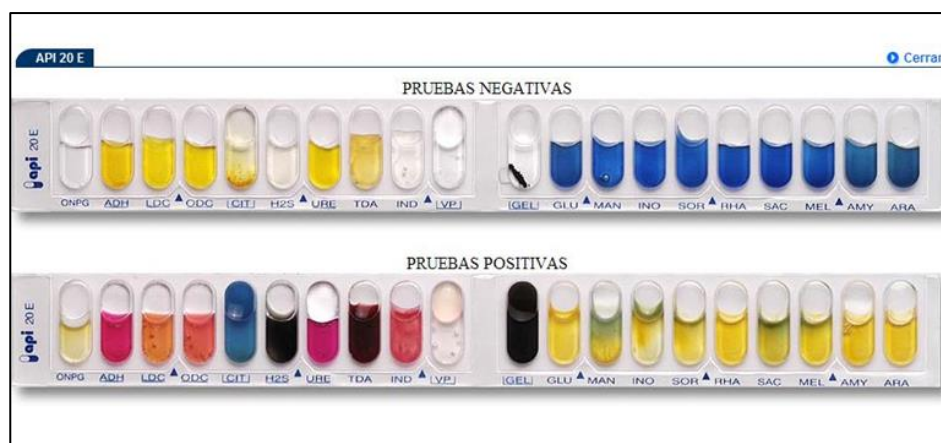
Para realizar el análisis confirmativo sobre la presencia de la bacteria *Escherichia. Coli* en la muestra de compost en estudio, vamos a utilizar un sistema miniaturizado API, que son métodos rápidos que permiten la identificación de un microorganismo a través de la realización de diferentes pruebas bioquímicas.

Este sistema consiste en un dispositivo de plástico con varios micro tubos que contienen diferentes medios de cultivo deshidratados o diferentes sustratos de enzimas de acuerdo al tipo de prueba que se requiere realizar, así por ejemplo:

- Realizar pruebas de fermentación de carbohidratos,
- Determinar la producción de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico),
- Determinación de la hidrólisis de la gelatina,
- Confirmación de la presencia de bacteria *Escherichia coli*, etc.

La prueba miniaturizada API-20E confirmativa utilizada para el análisis bioquímico de las colonias pertenecientes a *Escherichia Coli* (código de referencia del producto utilizado 5144572), para la muestra aislada de compost analizado.

Cuando se utiliza este tipo de prueba, la carta de colores correspondientes a las pruebas negativas y positivas se muestra en la siguiente figura (Ver figura 65).



**Figura 65,** Carta de lectura de pruebas API-20E para identificación de *E. Coli*.

La interpretación de los resultados se basa en la observación de las coloraciones desarrolladas, ésta se lleva a cabo mediante la comparación del color obtenido en cada microtubo con el que muestra la carta de colores. De acuerdo a esa interpretación se puede establecer un resultado

positivo (+) o negativo (-). Los colores obtenidos al inocular cada uno de los microtubos con la muestra aislada del compost en la placa API-20E, para la identificación de *Escherichia Coli*, fue la siguiente:



**Figura 66**, Prueba API-20E, confirmando la presencia de *Escherichia Coli*

Esta prueba API realizada con la muestra aislada y en su respectivo testigo por separado, confirma la presencia de la bacteria *Escherichia Coli* (Ver figura 66), la ausencia de *Shigella* sp y *Salmonella* sp; por lo tanto el compost estudiado, cumple con la normativa internacional.

En cuanto al número de coliformes presentes, no supera los límites permisibles por la normativa Internacional (Norma EPA 503, 2003), (Ver figura 67).

NORMA EPA (Environmental Protection Agency), para calificar la Ausencia o Presencia de Patógenos en la muestra de Compost.	
Patógenos	Compost producido por el GAD's de Cuenca
<i>Salmonella Sp.</i>	Ausencia
<i>Shigella Sp.</i>	Ausencia
<i>Escherichia Coli</i>	Presencia

**Figura 67**, Análisis microbiológico del compost de acuerdo a Norma EPA 503.

Fuente: (Norma EPA 503, 2003): Agencia de Protección del Medio Ambiente de los USA.

Dentro del análisis del compost, debemos considerar algunos metales pesados que son micronutrientes esenciales para las plantas como el cobre y el zinc, pero existen otros como el cadmio, el plomo, el cromo, el níquel, el mercurio y el cobalto que no lo son, pues a partir de una determinada concentración pueden resultar tóxicos para algún componente de la cadena trófica: suelo, plantas, animales herbívoros y ser humano.

La acumulación de metales pesados puede afectar los tallos, hojas y frutos en las plantas, causando problemas variados. El cadmio, níquel, cobre y zinc son metales problemáticos debido a su efecto negativo sobre el metabolismo y la fisiología de la planta. A continuación presentamos una tabla con los niveles óptimos de concentración de algunos metales pesados para el compost orgánico, de acuerdo con la norma EPA 503, 2003. (Ver Tabla 8).

**Tabla 8**

*Parámetros de metales pesados óptimos para el compost según la EPA*

Parámetros de metales pesados óptimos para el compost (abono orgánico), según la EPA			
Cobre	70-600	ppm	EPA-2003
Zinc	210-4000	ppm	EPA-2003
Cadmio	0.7-1.0	ppm	EPA-2003
Plomo	70-1000	ppm	EPA-2003

Fuente: (Norma EPA 503, 2003).

### 3.2 Resultados fisicoquímicos del compost.

Para poder realizar un análisis comparativo de cada uno de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en el Laboratorio de Agrocalidad de la muestra de compost analizada, debemos en primer lugar citar los rangos óptimos de cada uno de los parámetros de acuerdo a la normativa internacional. A continuación describimos los parámetros fisicoquímicos más relevantes para determinar la calidad el compost (abono orgánico) con sus rangos óptimos y sus respectivas unidades de medida, descrita por varios autores y normas internacionales (Ver Tabla 9).

**Tabla 9***Límites permisibles de parámetros fisicoquímicos del compost, varios autores*

PARÁMETRO ANALIZADO	RANGO OPTIMO	UNIDAD	REFERENCIA
pH	6,5-8,0	adimensional	(Córdova, 2003)
Materia orgánica (MO)	25 - 50	%	(Córdova, 2003)
Nitrógeno (N)	1.5 - 2.0	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Nitrógeno total	< 3	%	(Harrison, 2003)
Fósforo (P)	0.15 - 1.50	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Potasio (K)	0.50 - 1.80	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Carbono (C)	8.0 - 50.0	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Calcio (Ca)	1.50 -7.00	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Magnesio (Mg)	0.49 -1.06	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Cenizas	10.0 - 20.0	%	(Altamira/Cabrera, 2006)
Humedad	30.0 - 40.0	%	(NCh2880, 2004)
Color	Café-negro	adimensional	(Altamira/Cabrera, 2006)
Olor	Tierra	adimensional	(Altamira/Cabrera, 2006)
Relación C/N	12.0 - 20.0	adimensional	(Córdova, 2003)
Densidad	0,7 - 1,5	g/cm <sup>3</sup>	(NCh2880, 2004)
Cap. de intercambio catiónico	75.0 - 100.0	meq/100g	(( Norma Mexicana, 2008))
Conductividad eléctrica	< 8	dS/m	(NCh2880, 2004)
Hierro (Fe)	< 800 - < 1500	ppm	(Altamira/Cabrera, 2006)
Manganeso (Mn)	< 300 - < 1200	ppm	(Altamira/Cabrera, 2006)
Cobre (Cu)	< 100 - < 150	ppm	(Altamira/Cabrera, 2006)
Zinc (Zn)	< 200 - < 400	ppm	(Altamira/Cabrera, 2006)
Materiales adicionales	Ausente	----	(NMX-FF-109-scfi, 2008)

Fuente: (Altamirano, M. & Cabrera, 2006), (Norma Mexicana, 2008), (Cegarra, 1994), (Norma NCh2880, 2004),

### 3.2.1 Características fisicoquímicas del compost analizado.

Los resultados de las características fisicoquímicas más importantes determinadas en el compost (abono orgánico) producido por la EMAC EP, y analizado en el presente trabajo de investigación se presenta en la Tabla 9, dentro de los cuales tenemos los parámetros que contienen proteínas y los parámetros perjudiciales, esta información fue obtenida en los Laboratorios de Suelos de Agrocalidad, el informe se encuentra certificado por el Ing. Rusbel Jaramillo, responsable de laboratorio de suelos, follares y agua (Ver el Anexo 1).

**Tabla 10**  
*Características fisicoquímicas del compost en estudio (lote 15)*

PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Cenizas	Gravimétrico	%	76.48
Materia orgánica	Gravimétrico	%	23.22
Nitrógeno	Dumas	%	1.05
Potasio	Absorción atómica	%	0.25
Calcio	Absorción atómica	%	0.67
Magnesio	Absorción atómica	%	0.14
Hierro	Absorción atómica	%	0.46
Manganeso	Absorción atómica	ppm	114.35
Cobre	Absorción atómica	ppm	12.05
Zinc	Absorción atómica	ppm	40.28
pH	Potenciómetro		8.56
Conductividad Eléctrica	Conductivímetro	dS/m	3.53
fosforo	Adsorción atómica	cmol/kg	33.52
Calcio	Adsorción atómica	cmol/kg	21.66
Magnesio	Adsorción atómica	cmol/kg	7.40
Sodio	Adsorción atómica	cmol/kg	2.90
Bases totales	Cálculo	cmol/kg	65.40
CIC	Adsorción atómica	cmol/kg	11.23
Saturación de bases	Cálculo	%	saturado
Humedad	Gravimétrico	%	34.14

Fuente: (Laboratorio de Agrocalidad - Tumbaco, 2016).

### 3.2.2 Características fisicoquímicas de la gallinaza.

La gallinaza o estiércol de gallina es uno de los componentes de origen natural con mayor contenido de nutrientes entre todos los fertilizantes conocidos, contiene fuentes de carbono, que ayudan a la conversión del compost. La gallinaza se puede usar tanto en horticultura como en cultivos extensivos, sin embargo una de las limitantes para su utilización en los cultivos es la presencia de hormonas en las excretas; estas hormonas son administradas a través de las vacunas para el crecimiento y engorde del animal en menor tiempo, pero que al final resulta perjudicial para el suelo y la cadena trófica, poniendo en riesgo la salud del ser humano.

A continuación presentamos el informe de laboratorio realizado a este fertilizante natural.



**Tabla 11***Características fisicoquímicas de la gallinaza comercializada en Cuenca.*

PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Cenizas	Gravimétrico	%	67.60
Materia orgánica	Gravimétrico	%	32.40
Nitrógeno	Dumas	%	1.64
Potasio	Absorción atómica	%	2.49
Calcio	Absorción atómica	%	13.90
Magnesio	Absorción atómica	%	1.02
Hierro	Absorción atómica	%	2.02
Manganeso	Absorción atómica	ppm	354.93
Cobre	Absorción atómica	ppm	83.98
Zinc	Absorción atómica	ppm	351.93
pH	Potenciómetro		7.98
Conductividad Eléctrica	Conductivímetro	dS/m	11.44
fosforo	Adsorción atómica	cmol/kg	60.96
Calcio	Adsorción atómica	cmol/kg	34.90
Magnesio	Adsorción atómica	cmol/kg	13.50
Sodio	Adsorción atómica	cmol/kg	12.40
Bases totales	Cálculo	cmol/kg	121.76
CIC	Adsorción atómica	cmol/kg	9.81
Saturación de bases	Cálculo	%	saturado
Humedad	Gravimétrico	%	12.37

Fuente: (Laboratorio de Agrocalidad - Tumbaco, 2016).

Con los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas en la muestra de compost (abono orgánico) analizada, podemos emitir los siguientes criterios:

- El valor de la humedad obtenida en el ensayo de laboratorio para la muestra de compost tiene un valor de 34.14 %, que es ligeramente bajo, sabiendo que el valor óptimo de humedad debe estar entre el 40% al 60%.
- La Capacidad de intercambio catiónico (CIC) obtenida en el ensayo de laboratorio para la muestra de compost tiene un valor de 11.23 Cmol/kg, que es ligeramente bajo, sabiendo que el valor óptimo de CIC debe estar cercano a 40 Cmol/kg.

- El tamaño de la partícula de compost estudiada tiene un valor de 1.30 cm, siendo un valor óptimo de 2 a 5 cm, para que exista aireación en la biopila.
- La relación de C/N, Carbono (C) para el nitrógeno (N), calculada para la muestra de compost estudiada tiene un valor igual a 72,84, siendo un valor óptimo adecuado entre un rango de 12 a 20.

Los resultados de los análisis químicos obtenidos en el laboratorio, del compost (abono orgánico) son los siguientes:

- El valor del pH para la muestra de compost presenta un valor de 8.56, que es ligeramente alcalino. Un valor óptimo de pH debe estar entre 6 y 7.5.

Los abonos orgánicos como el compost y el humus, son elaborados con residuos orgánicos municipales tienen un pH inicial bajo, de alrededor de 5, debido a los altos contenidos de ácidos grasos de cadena corta. El compost terminado su proceso de maduración puede llegar a alcanzar un pH que puede estar entre 8 y 9, debido a las pérdidas de CO<sub>2</sub> que se produce por la respiración de los microorganismos.

- La Conductividad Eléctrica (CE) para la muestra de compost presenta un valor de 3.53 dS/m de mineralización, la misma que se encuentra ligeramente por encima del rango óptimo de 3 dS/m; considerando que el valor máximo es de 8 dS/m.

Se recomienda mantener valores de la C.E. por debajo de 1.50 dS/cm. porque cuando se presenta una cantidad excesiva de sales en el suelo impide la absorción del agua hacia la planta y modifica la adsorción de nutrientes (Cereijo, D., Ferro, J., Villar, I., & Mato, S., 2007).



- El porcentaje de ceniza en la muestra de compost analizado en el laboratorio da un valor de 76.48 %, cuyo valor es alto comparado con el rango óptimo que se encuentra entre el 10 y el 20%.

Los resultados obtenidos de los macronutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio en la muestra de compost estudiada, están en niveles adecuados para que el abono brinde propiedades nutritivas a los cultivos y se pueda aplicar como un fertilizante, los resultados fueron las siguientes:

- La cantidad de Nitrógeno (N) = 1.05 %, de Potasio (K) = 0.25 %, de Calcio (Ca) = 0.67; de Magnesio (Mg) = 0.14 % que son valores muy bajos; ya que un compostaje de buena calidad, debe mantener sus micronutrientes entre el rango de 1.0% a 1.5% para que brinde propiedades nutritivas a los cultivos que se vayan a implementar y se pueda aplicar como un fertilizante, además no representa una un peligro para la contaminación ambiental según la Norma (CAN/BNQ, 0413-200, 1997).
- La cantidad de micronutrientes encontrados en la muestra de compost en estudio, se encuentran en un porcentaje inferior del 1%. Esto significa que los diferentes residuos orgánicos vegetales, dentro del proceso no afectaron sustancialmente la cantidad de micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn en el producto final.
- Los metales pesados evaluados en la muestra de compost en estudio: Hierro (Fe) = 0.046 ppm, Manganeso (Mn) = 114.35 ppm, Cobre (Cu) = 12.05 ppm, Zinc (Zn) = 40.28 ppm, son menores a los que rige la legislación Internacional.

### **3.3 Resultados obtenidos de la prueba de fitotoxicidad.**

- El valor del Índice de Germinación calculado para la muestra de compost en estudio, está en 89,20 %. Este valor que se encuentra por encima del límite de  $IG \geq 80$ , que nos indica que no hay concentraciones altas de sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento de las plantas o que puedan deteriorar el suelo y lo más importante que no pueda afectar la salud humana.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

Los objetivos planteados por los GAD's Municipales y Prefecturas, dentro de sus competencias, son las de proveer compost y humus como una alternativa de mejoramiento del suelo sin tener que contaminarlo, tal como ocurre en la actualidad al utilizar la gallinaza; para lo cual la Institución debe seguir trabajando en el manejo de los desechos sólidos orgánicos, involucrando a la comunidad para que mediante charlas y capacitaciones puedan aprender a clasificar y separar los desechos sólidos, reduciendo así los niveles de contaminación que producen estos, contribuyendo con la conservación de los recursos naturales, mejorar la estructura y rendimiento de los suelos a nivel agrícola, realizar una actividad económicamente rentable y autosustentable, ampliando la oferta de abonos orgánicos sin hormonas y/o productos químicos que incrementen la producción, mediante la práctica técnica y científica del proceso de compostaje (Restrepo, J & Rodríguez, J. , 2002).

#### **4.1 Análisis microbiológico de la muestra de compost estudiada.**

En nuestro caso particular, la muestra de compost estudiada (lote No. 15), que fuera producida en la planta de compostaje de la EMAC EP, y recogida a finales del mes de Mayo del 2016, después de realizar las pruebas y ensayos fisicoquímicos, evidencian la ausencia de las bacterias: *Salmonella* sp., y *Shigella* sp., pero si existe la presencia de *Escherichia coli*, en un rango bajo, cumpliendo con los parámetros óptimos de la Norma EPA 2003.

La Temperatura en la Biopila es un factor importante que mejora el proceso de descomposición de la materia orgánica, ya que produce dos efectos importantes: acelerar la descomposición de la materia orgánica y eliminar o disminuir al máximo las poblaciones de microorganismos

patogénicos existentes, además puede eliminar a través de altas temperaturas las larvas de las moscas presentes en los materiales utilizados en el proceso de compostaje.

De acuerdo con las Normas Mexicanas, que indican, que al existir la presencia de *Escherichia Coli* pero en un rango limitado; lo mismo que menciona la Norma Internacional EPA (2003). Por lo que las 2 normativas clasifican a la muestra de compost en estudio, como Tipo A.

#### **4.2 Análisis fisicoquímico de la muestra de compost estudiada.**

Dentro del análisis fisicoquímico que se realiza a la muestra de compost en estudio, debemos considerar la madurez del abono orgánico (compost) a la fecha de recolectar la muestra que va de 12 a 16 semanas, de igual manera dependerá de la época del año (más rápido en verano que en invierno). Considerando estos factores se puede determinar a un lote de compost como un material inocuo, libre de sustancias fitotóxicas y constituido por materia orgánica estabilizada, cuya aplicación no puede provocar daños a las plantas (Costa, F., García, C., Hernández, T., & Polo, A., 1991).

Basándonos en estos criterios y especificaciones, así como en los resultados obtenidos en el Laboratorio, debemos mencionar que nuestra muestra de compost cumple con la mayoría de los siguientes parámetros:

- ✓ La cantidad de materia orgánica deberá estar entre 25 y 45% (peso seco);
- La relación C/N menor a 20 o cercana al 15;
- ✓ El contenido mínimo de macronutrientes en (% peso seco) de N, P, K, Ca y Mg deben estar entre el rango promedio de 1.5% cada uno;
- ✓ El pH debe estar entre el rango de 6.5 y 8;
- ✓ La conductividad eléctrica debe estar por debajo de  $< 8$ ;

- ✓ El contenido de metales pesados, tales como: el Fe, Mn, Cu, Zn presentes en el abono orgánico estudiado, están dentro de los rangos permisibles de acuerdo con la normativa internacional.

Por lo tanto el compost (abono orgánico) producido por el GAD de Cuenca cumple los parámetros y los límites permisibles establecidos por la EPA 503, lo que nos indica que el proceso de compostaje se lleva bajo condiciones adecuadas.

#### **4.3 Análisis fitotóxico de la muestra de compost estudiada.**

Al hablar de este parámetro llamado Índice de Germinación (IG) y su importancia dentro de la calificación de un compost (abono orgánico), del humus o de cualquier otro tipo de abono orgánico sólido o líquido (Takakura o bioabono), debemos decir que aunque la muestra de compost se encuentre dentro de los niveles óptimos de los parámetros físicos, químicos (macronutrientes, micronutrientes y metales pesados); puede tener un alto grado de toxicidad.

Diversos autores tales como: (Zucconi, 1981), (Tiquia, 2000) y (Emino, R. & Warman, R., 2004.) han determinado que el IG está directamente relacionado con la germinación de una semilla y el crecimiento relativo de sus raíces (medida de la madurez). Esto permite establecer tres niveles de fitotoxicidad:

- Baja o nula cuando los valores de IG son  $\geq 80$ , lo que indica que no hay sustancias fitotóxicas o están en concentración muy baja dentro del abono orgánico,
- Moderada si se obtiene un valor de IG entre 50 y 80, que se interpretaría como la presencia moderada de estas sustancias, y
- Severa si los valores para el IG son  $\leq 50$ , que nos indica que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas, por lo que el compost con esta concentración no es apto para mejorar ningún cultivo, al contrario se debería prohibir su utilización como fertilizante.

Para el caso particular de la muestra de compost analizada (lote No. 15), el valor calculado fue de 89,20 %, superior al 80 %, lo que nos indica que no existen sustancias tóxicas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

1. El compost (abono orgánico) producido por la EMAC EP, perteneciente al GAD Municipal de Cuenca, carece de bacterias patógenas de acuerdo al análisis microbiológico realizado en laboratorio, de los tres géneros bacterianos estudiados (*Escherichia Coli*, *Salmonella* y *Shigella*), podemos decir que existe ausencia de las bacterias patógenas *Salmonella Sp.*, y *Shigella Sp.*, se encontraron coliformes del tipo *Escherichia Coli* en baja concentración que no superan el rango óptimo de la normativa internacional, que pudieron originarse por un manejo deficiente o contaminación externa.

La norma EPA menciona que puede existir la presencia de coliformes fecales en el compost pero en un rango limitado y dentro de este grupo bacteriano está la *Escherichia Coli*.

2. De acuerdo con la evaluación de los parámetros físicos en la planta de compostaje, para determinar la madurez del compost, se consideró los siguientes: pH, CIC (Capacidad de Intercambio catiónico), Humedad, CE (Conductividad eléctrica), densidad aparente, color y olor. Todos ellos se encuentran dentro del rango óptimo, salvo el CIC que presenta un valor muy bajo, lo que significa que la muestra de compost analizada presenta trazas de materia orgánica degradable.
3. Considerando ahora los parámetros químicos presentes en la muestra en estudio, recolectada en la planta de compostaje, manteniéndola esterilizada y a temperatura baja con hielo, hasta llegar a laboratorio y mediante ensayos y/o pruebas poder obtener los valores de: Materia orgánica y Nitrógeno que se encuentran dentro de los niveles óptimos, mientras que las Cenizas (carbón orgánico) y la relación C/N tienen valores altos.

4. La cantidad de micronutrientes como: N, P, K, Ca y Mg encontrados en la muestra de compost estudiada, están por debajo del rango promedio de 1.50 % de peso en seco, el cual es el valor óptimo para mejorar la calidad del suelo. Por lo tanto no superan los límites permisibles según la Normativa EPA 503.
5. La cantidad de metales pesados como: Fe, Cu, Mn y Zn, encontrados en la muestra de compost estudiada, se encuentran dentro de los límites óptimos, medidos en ppm y no superan los límites permisibles según la Normativa EPA 503.
6. Analizando la toxicidad de la muestra estudiada, a través del parámetro Índice de germinación (IG), inoculadas las semillas de quinua con el extracto preparado con la muestra aislada del compost, obteniendo un resultado superior al 80% de germinación como describe la normativa Internacional, lo que nos indica que los residuos orgánicos no contienen sustancias fitotóxicas, por lo que concluimos que la muestra de abono orgánico no afectará negativamente al realizar su aplicación en los suelos.
7. Al cumplir la muestra de compost analizada los niveles microbiológicos, fisicoquímicos y de fitotoxicidad, se considera que la normativa EPA podría servir de base para el desarrollo de la normativa nacional.



## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo continuo en la planta de compostaje, llevando un registro cronológico del control de cada uno de los parámetros físicos tales como: Temperatura, pH y Humedad relativa, información que es de vital importancia para determinar el grado de maduración del compostaje.
2. Determinar las proporciones y/o cantidades de residuos orgánicos utilizados como materias primas para estandarizar al final del proceso de compostaje, el contenido de macro y micronutrientes presentes en el compost.
3. Llevar a cabo más análisis de calidad rutinarios en cada uno de los lotes de compost producidos y en los lotes que se encuentran en fase de maduración en la planta, para poder tener un registro de valores de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del producto final.
4. Controlar los procesos previos de producción (recolección de residuos orgánicos), así como los posteriores (formación de la Biopila, mezclado y secado) con el fin de evitar la presencia de microorganismos contaminantes. Todo esto se puede lograr mediante la capacitación del personal a cargo de estas labores.
5. La implementación de un manual que permita conocer sobre el protocolo estandarizado del proceso de compostaje y capacitar al personal acerca del manejo y el mantenimiento de la inocuidad antes, durante y después del proceso de compostaje.
6. La infraestructura debe contar con los requerimientos técnicos necesarios para su funcionamiento con el fin de garantizar resultados óptimos, seguros y de calidad constante a largo plazo (Ocampo, 1999).

7. La infraestructura física (Haug, 1993), corresponde todo tipo de construcciones y servicios básicos creados para la implementación del proyecto, como edificios o galpones, sanitarios, duchas, cuartos de implementos, cuartos de vestimenta de trabajo, cuarto de estancia, sala reuniones para trabajadores, centros de almacenamiento, adecuación de cisternas, tomas de agua, canales de riego, etc.
8. El proceso de compostaje debe ir de la mano con la tecnología, implementando maquinaria necesaria para procesar el material, tal como: trituradoras, tamizadoras, mezcladoras, entre otras. En el caso de ser un proyecto de compostaje semi-industrial, se debe tener vehículos de transporte, herramientas necesarias como palas, rastrillos, azadones, picos, carretillas, regaderas, mangueras, termómetros, higrómetros, medidores de pH, y otras.
9. Es necesario llevar un control completo y estricto de las condiciones higiénicas del proceso de compostaje y del producto final en tres niveles:
  - Trabajadores: Los que deben contar con equipo adecuado para la manipulación de los desechos y evitar accidentes de trabajo, como cortaduras y lastimados; además su salud debe ser examinada periódicamente por el riesgo constante de enfermedades e infecciones (OPS, s/f).
  - Entorno: La higiene y limpieza del entorno conviene mantenerla pues la acumulación de desechos orgánicos es fuente de problemas sanitarios en el suelo, aire, agua o paisaje del sitio utilizado, afectando a las poblaciones humanas y animales localizadas alrededor. La descomposición de los residuos orgánicos, generan residuos líquidos o gaseosos que también necesitan ser controlados para evitar daños ambientales.

- Consumidores del producto final: Una adecuada elaboración del compost asegura que los consumidores estén libres de problemas de salud provocados por el manipuleo del abono que se encuentre contaminado con algún tipo de coliforme.
10. Con toda la información recopilada de varias tesis de investigación sobre este tema, se debería Normar la calidad fisicoquímica y microbiológica de los abonos orgánicos, en especial los que provienen de residuos orgánicos municipales.
  11. Usualmente, el compost madurado, puede ser utilizado el momento en el que el producto presente un color oscuro, ya no se diferencian los materiales de origen. El producto final o compost debe tener olor agradable, textura suave, humedad aproximada a 40 % y 25° C de temperatura (Jeris & Regan, R., 1973).
  12. El proceso de compostaje como alternativa de tratamiento de desechos sólidos urbanos requiere de control técnico en todas las fases y actividades tales como: localización, infraestructura, recopilación de materia orgánica, pre-tratamiento, tratamiento, control higiénico, control de toxicidad, análisis de calidad, post-tratamiento de desinfección, distribución y venta.
  13. La EMAC EP como productor de humus y compost, respetando las condiciones sanitarias de fabricación, cumpliendo los parámetros fisicoquímicos señalados anteriormente, realizando el control y la regulación de la fabricación de compost orgánico dentro del Cantón Cuenca, tiene que propender en un futuro cercano a CERTIFICAR (sello verde) la calidad del producto orgánico, pues para ello debe desarrollar y aprobar el Consejo Cantonal la ordenanza en este sentido y su aplicación.

## CAPÍTULO VII

### BIBLIOGRAFÍA

Altamirano, M., & Cabrera, C. (2006). Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual.

Álvarez de la Puente, J. (2006). Manual del compostaje para la Agricultura ecológico. Andalucía, España: La Fertilidad de la Tierra, Ediciones.

Benson, E. (2005). Índice Analítico de Perfil. API 20E Medium, para Enterobacteriaceae . New York, USA.

Bergey's. (2009). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology - ResearchGate. Georgia, USA: Board.

Caffer, M. T. (2008). Manual de procedimientos. Diagnostico y caracterización de Salmonella. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas .

CAN/BNQ. (0413-200, 1997). Organic Soil Conditioners - Composts. Ottawa,Canada.

Cegarra, J. (1994). Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. Bogotá, Colombia.

Centro de Investigación en Protección de cultivos. (2004). Manejo integrado de plagas y agroecología. San Jose, Costa Rica.

Cereijo, D., Ferro, J., Villar, I., & Mato, S. (2007). Estudio comparativo sobre la aptitud para el compostaje de la fracción orgánica de RSU separada en origen. Vigo, España.

Chauhan, S. D. (2011). Physico-chemical and Microbial activity of soil under Conventional and Organic Agricultural Systems.

Costa, F., García, C., Hernández, T., & Polo, A. (1991). Residuos orgánicos Urbanos. Manejo y utilización. Murcia, España.

Cuesta, M. (2002). La Agricultura Orgánica y las dimensiones del desarrollo. La Habana, Cuba.

EMAC. (2011). Aprovechamiento del Biogas en el relleno sanitario de Pichancay. Cuenca, Ecuador.

Emino, R. , & Warman, R. (2004.). Biological assay for compost quality. . USA: Compost Science .

Ewing, W. (1986). Identification of Enterobacteriaceae. New York, USA: Elsevier, 4ta edición.

FAO. (2013). Manual del compostaje del agricultor. Santiago, Chile.

FONAG. (2010). Manual técnico Abonos Orgánicos protegen el suelos y garantizan alimentación sana. New York, USA.

García, A., & Rodríguez, F. (2010). Enterobacterias. D.F. Mexico, Mexico, 3425, 3426, 3427.

Gaschk, D., Tamai, A., & Wisniewski, D. (2011). Takakura Method and Vermi Method. USA.

González, E. (2013). Gestión de Residuos Sólidos y sus impactos. Cabinda, Angola.

Haug, R. (1993). The Practical handbook of Compost Engineering Florida. Florida, USA: Lewis.

Hidalgo, S. &. (2007). Bioensayos de Fitotoxicidad de residuos organicos de lechuga en suelos degradados. . R.C.Suelo Nutrientes, 51 y 52.

INEN EP . (2009). NTE INEN 1529-15, Control microbiológico. Método de detección de Salmonella. Quito, Ecuador.

INEN EP. (1990). Norma NTE INEN 1529-9, Control microbiológico. Metodo de Detección de Escherichya Coli. Quito, Ecuador.

INEN EP. (1996). Norma NTE INEN 1529-16. Control Microbiológico de los alimentos. Método de detección de Shigella. Quito, Ecuador.

INEN EP. (2013). Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 220: Fertilizantes y abonos muestreo. Ecuador. Quito, Ecuador.

Jeris, J., & Regan, R. (1973). Controlling environmental parameters for optimum composting.

MAE. (2015). Ministerio del Medio Ambiente. Quito, Ecuador. Recuperado el 4 de Abril de 2015, de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>

Martinez Blanco, J. (2009). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. new York, USA.

Noriega, G., & Altamirano, L. (1993). Manual de lombricultura. México: Universidad Autónoma de Chapingo.

Norma EPA 503. (2003). Environment Protection Agency part 503: Biosolids Rule. New York, USA.

Norma Mexicana. (2008). NMX-FF-109-SCFI. Mexico Distrito Federal, Mexico.

Norma NCh2880. (2004). Caracterización del compost a base de espinillo. Santiago, Chile.

Ocampo, C. (1999). Proyecto de Factibilidad tecnica economica para la producción de Humus en el altiplano de Bolivia. La Paz, Bolivia: Orsag.

Peña, E., & Carrión, M. (2002). Producción de los abonos orgánicos para la agricultura urbana. La Habana, Cuba: Inifat.

PNGIDS-MAE. (2002). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. Quito, Ecuador.

Prescott. (2009). Microbiología. Madrid, España: McGraw-Hill, Septima Edición.

Restrepo, J, & Rodríguez, J. . (2002). El suelo, la vida y los abonos orgánicos. Managua, Nicaragua.

Rodríguez, A. (2010). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamerica. Bogotá, Colombia.

Ruíz, C., Russian, T., & Tua, D. (2007). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de cebolla. Caracas, Venezuela.

Soto, G., & Melendez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo Integrado de Plagas y agroecología, pagina 91 - 97. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Tiquia, S. (2000). Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig-on-litter system. Nueva Escocia, Canada.

Trivierge, C., & Seito, M. (2005). Nuevas Tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas y sustratos mejorados compost. Managua, Nicaragua.

TULSMA. (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente. Quito, Ecuador: Registro Oficial del Ecuador.

Varnero M., R. A. (2007). Índices de Fitotoxicidad en Residuos Orgánicos. Santiago, Chile.

Yanque, L. (2014). Importancia de los abonos en la agricultura. . Revista de Investigación Universitaria , 67-75.

Zucconi, F. (1981). Calculo del Indice de Germinación de Zucconi.

## ANEXOS

## Anexo 1 Análisis fisicoquímico de la muestra de compost producida por la EMAC EP

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO02
		Rev. 2
INFORME DE ANÁLISIS		Hoja 1 de 2

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
	Humus	Cenizas	Gravimétrico	%	76,48
		Materia orgánica	Gravimétrico	%	23,22
		Nitrógeno	Dumas	%	1,05
		Potasio	Absorción atómica	%	0,25
		Calcio	Absorción atómica	%	0,67
		Magnesio	Absorción atómica	%	0,14
		Hierro	Absorción atómica	%	0,46
		Manganeso	Absorción atómica	ppm	114,35
		Cobre	Absorción atómica	ppm	12,05
		Zinc	Absorción atómica	ppm	40,28
		pH	Potenciométrico	—	8,56
		Conductividad Eléctrica	Conductímetro	dS/m	3,53
		K*	Absorción Atómica	cmol/kg	33,52
		Ca*	Absorción Atómica	cmol/kg	21,66
		Mg*	Absorción Atómica	cmol/kg	7,40
		Na*	Absorción Atómica	cmol/kg	2,90
		Bases Totales	Cálculo	cmol/kg	65,48
		CC	Absorción Atómica	cmol/kg	11,23
		Saturación de Bases	Cálculo	%	Saturado
		Humedad	Gravimétrico	%	34,14

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

Observaciones:

  
**AGROCALIDAD**  
 AGENCIA ECUATORIANA  
 DE ASEGURAMIENTO  
 DE LA CALIDAD DEL AGRO  
 LABORATORIO DE SUELOS,  
 FOLIARES Y AGUAS  
 TUMBACO - ECUADOR  
**Ing. Rusbel Jarabito**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliar y Aguas**

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.  
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.



## Anexo 2 Análisis fisicoquímico de la muestra de gallinaza producida en el Cantón Cuenca

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO02</b>
	<b>Rev. 2</b>	
	<b>INFORME DE ANÁLISIS</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Informe N°: LN-SFA-E16-xxxx  
 Fecha emisión Informe: 07/10/2016

**DATOS DEL CLIENTE**

Persona o Empresa solicitante: EMAC - Cuenca

Dirección: Cuenca

Provincia: Azuay

Cantón: Cuenca

Teléfono: 2831900

Correo Electrónico: gabrieltuttilo@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: ----

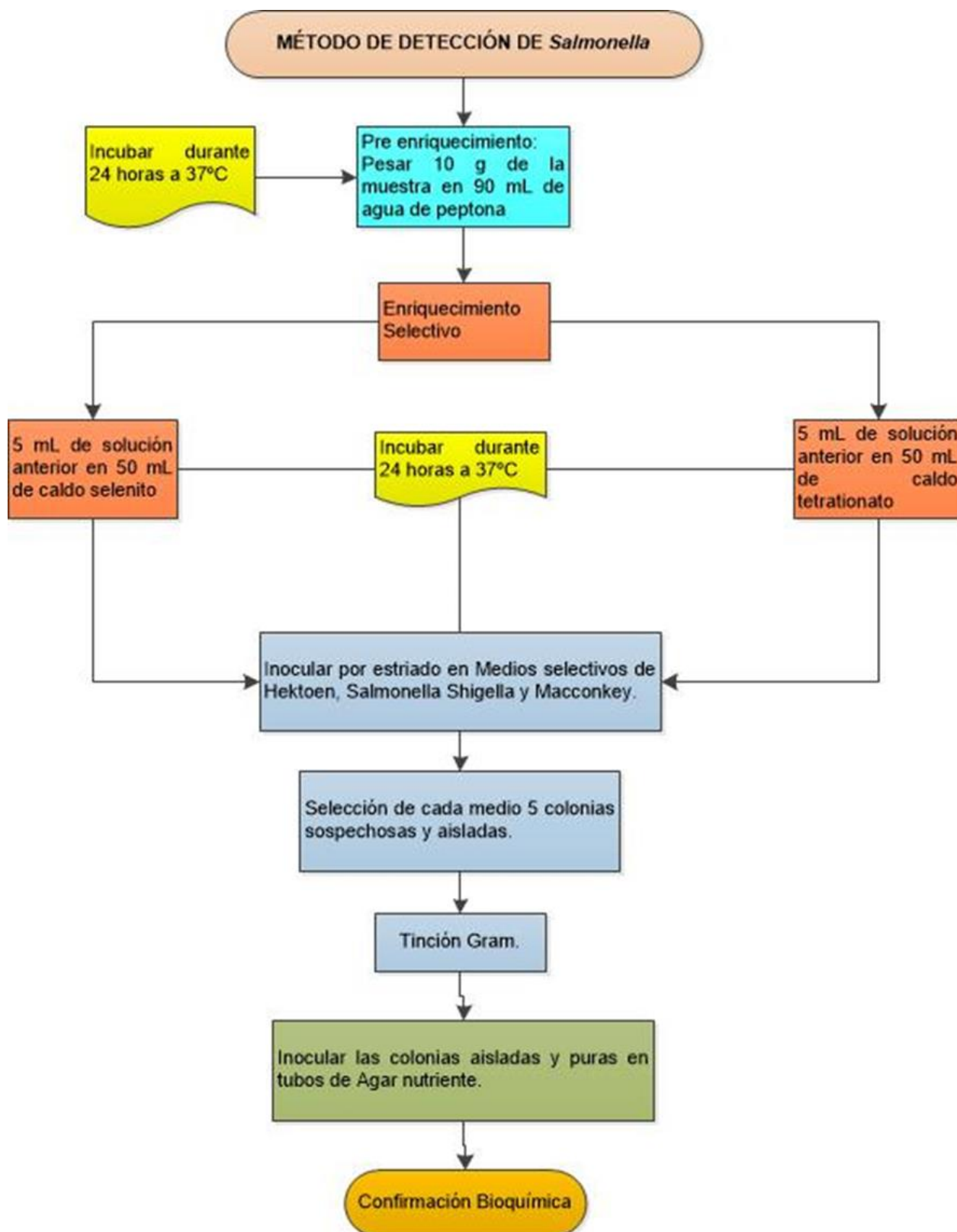
N° Factura/Documento: ----

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

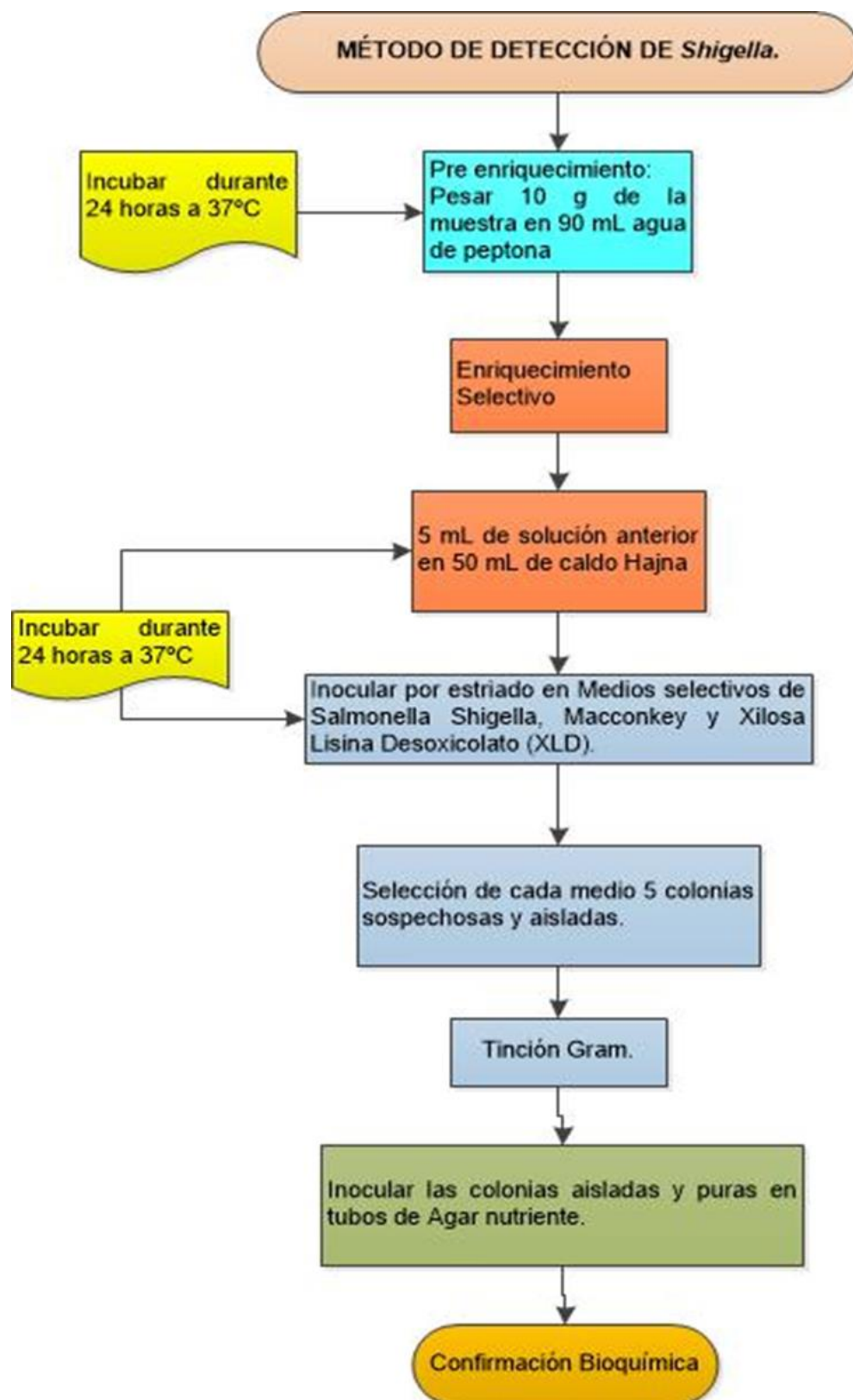
CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
	Gallinaza	Cenizas	Gravimétrico	%	67,60
		Materia orgánica	Gravimétrico	%	32,40
		Nitrógeno	Dumas	%	1,64
		Potasio	Absorción atómica	%	2,49
		Calcio	Absorción atómica	%	13,90
		Magnesio	Absorción atómica	%	1,02
		Hierro	Absorción atómica	%	2,02
		Manganeso	Absorción atómica	ppm	354,93
		Cobre	Absorción atómica	ppm	83,98
		Zinc	Absorción atómica	ppm	351,93
		pH	Potenciométrico	—	7,98
		Conductividad Eléctrica	Conductímetro	dS/m	11,44
		K*	Absorción Atómica	cmol/kg	60,96
		Ca*	Absorción Atómica	cmol/kg	34,90
		Mg*	Absorción Atómica	cmol/kg	13,50
		Na*	Absorción Atómica	cmol/kg	12,40
		Bases Totales	Cálculo	cmol/kg	121,76
		OC	Absorción Atómica	cmol/kg	9,81
		Saturación de Bases	Cálculo	%	Saturado
	Humedad	Gravimétrico	%	12,37	

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.  
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

## Anexo 3 Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-15.



## Anexo 4 Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-16.



## Anexo 5 Método de aislamiento según norma NTE INEN 1529-8.

