



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**EFEECTO DE LACTOSUERO SOBRE *Escherichia coli* EN EL  
PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES PARA EVALUAR LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA Y AGROQUÍMICA DEL COMPOST**

**Trabajo de integración curricular**

**Tipo:** Trabajo experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO**

**AUTORES:**

ALESSANDRO MAURIZIO IDROVO GAVILANES

MARÍA JOSÉ BERMEO ESCOBAR

Riobamba-Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**EFEECTO DE LACTOSUERO SOBRE *Escherichia coli* EN EL  
PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES PARA EVALUAR LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA Y AGROQUÍMICA DEL COMPOST**

**Trabajo de integración curricular**

**Tipo:** Trabajo experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO**

**AUTORES:** ALESSANDRO MAURIZIO IDROVO GAVILANES

MARÍA JOSÉ BERMEO ESCOBAR

**DIRECTORA:** Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN, PhD.

Riobamba-Ecuador

2023

**©2023, Alessandro Maurizio Idrovo Gavilanes & María José Bermeo Escobar**

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

Nosotros, Alessandro Maurizio Idrovo Gavilanes y María José Bermeo Escobar, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15, agosto de 2023



---

**Alessandro Maurizio Idrovo Gavilanes**

**060435375-5**






---

**María José Bermeo Escobar**

**160062989-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo Trabajo Experimental, **EFFECTO DE LACTOSUERO SOBRE *Escherichia coli* EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EVALUAR LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y AGROQUÍMICA DEL COMPOST**, realizado por los señores: **ALESSANDRO MAURIZIO IDROVO GAVILANES** y **MARÍA JOSÉ BERMEO ESCOBAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Carlos Pilamunga, PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		23 – 08 – 15
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23 – 08 – 15
Dra. Sandra Noemí Escobar Arrieta, PhD. <b>ASESORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23 – 08 – 15

## **DEDICATORIA**

A mis padres Julio e Irene quienes me han ayudado a lo largo de este camino, me han formado como persona y siempre han impartido en mí un espíritu alentador para seguir mis metas y sueños, muchos de mis logros se los debo a ustedes, incluido este. A mis hermanos Julio y Gabriel quienes han sido mi apoyo incondicional y fuente de inspiración durante esta hermosa etapa. A todos aquellos que han partido, pero seguramente están muy orgullosos de mí. Y finalmente a mi yo del pasado que nunca se rindió y alcanzo su meta.

*Alessandro*

A mi mami Wilma, quien ha sido mi ángel de la guarda desde el cielo y principal motivación para seguir adelante y luchar por mis sueños. A mi papi Rodrigo, quien gracias a su esfuerzo y sacrificio me ha brindado su apoyo y es mi ejemplo de perseverancia y trabajo. A mi mami Flora, quien desde siempre ha sido mi soporte, mis alas para volar y también mi ancla a tierra para poder lograr todos los anhelos de mi corazón. A mi gatita Mulán por ser mi compañía y apoyo emocional en cada momento difícil. Y finalmente, a mi niña interior que con sus ganas de conquistar el mundo persiguió su objetivo y lo logró.

*María José*

## AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha cobijado con su manto y me ha dado la fortaleza para alcanzar mis sueños, a mis padres que han sido el pilar fundamental y mi ejemplo para seguir, a mis hermanos que han sido mi mayor motivación para alcanzar mi sueño. A mi valioso grupo de amigos que siempre se preocupó por mí e hizo de esta etapa inolvidable. A esa persona especial María José que me acompañó en todas las etapas felices y difíciles de mi vida. A mis queridos profesores de la carrera que me han impartido sus conocimientos y enseñanzas de vida. A la Dra. Irene Gavilanes y Dra. Sandra Escobar tutora y asesora de tesis, que han sido la guía para el desarrollo de esta investigación. Al grupo de investigación GAIBAQ que confió en mí y me dio la oportunidad de formarme como investigador y tesista. A todos ustedes gracias por formarme como persona y profesional.

*Alessandro*

A Dios quien ha guiado mi camino y a la Virgencita de Guadalupe por protegerme con su manto sangrado y permitirme lograr mis metas. A mis padres por toda su ayuda y amparo. A mis segundos padres por apoyarme e impulsarme a ser mejor persona. A mis tías, Mayra y Mónica quienes con sus consejos y trabajo son mi modelo a seguir. A mi prima Cruscaya porque con su fortaleza me demuestra que todo es posible. A mi tía Letty y abuelita Blanca por cuidarme y siempre haber depositado su fe en mí. A mis primos, quienes son mi mayor motivación para alcanzar mis metas y lograr mis objetivos. A mi mejor amiga Zarahy, quien con su incondicionalidad me demuestra el verdadero significado de amistad. A todo mi grupo de amigos, quienes con su compañía y apoyo, son realmente un regalo y una luz en el camino. A ese ser excepcional, Alessandro, por ser mi amigo y compañero durante esta etapa, ya que sin él nada de esto sería posible. A mis apreciados profesores quienes me han compartido sus conocimientos y experiencias de vida. A la Dra. Irene Gavilanes y a la Dra. Sandra Escobar, tutora y asesora de tesis por su invaluable ayuda durante todo este proceso. Al grupo de investigación GAIBAQ por acogerme como investigadora y tesista, permitiéndome ampliar mis conocimientos. A todos ustedes muchísimas gracias por forjarme como persona y profesional.

*María José*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xix
SUMMARY .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1</b>	<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>3</b>

### CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Residuos agroindustriales .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Gestión de residuos agroindustriales .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Gestión de residuos agrícolas .....</i>	<i>4</i>
<b>2.2.2</b>	<i>Gestión de residuos ganaderos .....</i>	<i>7</i>
<b>2.2.3</b>	<i>Gestión de residuos de la industria láctea .....</i>	<i>7</i>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de tratamiento .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Vermicompostaje .....</i>	<i>8</i>
<b>2.3.2</b>	<i>Digestión anaerobia.....</i>	<i>9</i>
<b>2.4</b>	<b>Compostaje .....</b>	<b>9</b>



<b>2.4.1</b>	<b>Definición</b> .....	10
2.4.1.1	<i>Etapas</i> .....	11
2.4.1.2	<i>Control de las etapas</i> .....	11
2.4.1.2.1	<i>Temperatura</i> .....	12
2.4.1.2.2	<i>Oxígeno (aireación)</i> .....	12
2.4.1.2.3	<i>Humedad</i> .....	13
2.4.1.2.4	<i>pH</i> .....	13
2.4.1.2.5	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	14
<b>2.5</b>	<b>Tipos de sistemas de compostaje</b> .....	14
2.5.1	<i>Sistemas abiertos</i> .....	14
2.5.2	<i>Compostaje en pila móvil o por volteo</i> .....	14
2.5.3	<i>Compostaje en pila estática con ventilación forzada</i> .....	15
2.5.4	<i>Sistemas cerrados</i> .....	15
<b>2.6</b>	<b>Calidad del compostaje</b> .....	15
2.6.1	<i>Parámetros fisicoquímicos</i> .....	15
2.6.1.1	<i>pH</i> .....	15
2.6.1.2	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	16
2.6.2	<i>Parámetros químicos</i> .....	16
2.6.2.1	<i>Macronutrientes</i> .....	16
2.6.2.1.1	<i>Nitrógeno</i> .....	17
2.6.2.1.2	<i>Potasio</i> .....	18
2.6.2.1.3	<i>Fósforo</i> .....	19
2.6.2.2	<i>Micronutrientes</i> .....	20
2.6.2.2.1	<i>Hierro</i> .....	20
2.6.2.2.2	<i>Manganeso</i> .....	21
2.6.2.2.3	<i>Cobre</i> .....	22
2.6.2.2.4	<i>Zinc</i> .....	22
2.6.2.2.5	<i>Boro</i> .....	22
2.6.2.3	<i>Metales pesados</i> .....	23

2.6.2.3.1	<i>Níquel</i> .....	24
2.6.2.3.2	<i>Cromo</i> .....	24
2.6.2.3.3	<i>Plomo</i> .....	25
2.6.2.3.4	<i>Arsénico</i> .....	25
2.6.2.3.5	<i>Selenio</i> .....	25
2.6.2.3.6	<i>Mercurio</i> .....	26
2.6.2.4	<i>Parámetros microbiológicos</i> .....	26
2.6.2.4.1	<i>Enterobacterias</i> .....	26
2.6.2.4.2	<i>Escherichia coli</i> .....	27
2.6.2.4.3	<i>Salmonella</i> .....	27
<b>2.7</b>	<b>Legislación</b> .....	<b>28</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Instructivo de la Normativa General para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en Ecuador</i></b> .....	<b>28</b>
2.7.1.1	<i>Artículo 18. De la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas</i> .....	28
2.7.2	<i>Acuerdo ministerial 097</i> .....	29
2.7.3	<i>Código orgánico del ambiente</i> .....	30
2.7.4	<i>Reglamento al código orgánico del ambiente</i> .....	31
2.7.5	<i>Legislación europea</i> .....	31

### CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Zona de estudio</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Tipo de investigación</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Diseño de las pilas de compostaje</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Unidades experimentales y técnicas de muestreo</b> .....	<b>35</b>
3.4.1	<i>Unidades experimentales</i> .....	36
3.4.2	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	36
3.4.3	<i>Método de muestreo</i> .....	36

3.4.4	<i>Técnicas para la recolección de datos</i> .....	37
3.4.5	<i>Medición de parámetros de control del proceso de compostaje en Pilas Windrow</i>	38
3.5	<b>Materiales, equipos y reactivos</b> .....	39
3.5.1	<i>Materiales</i> .....	39
3.5.2	<i>Equipos</i> .....	40
3.5.3	<i>Reactivos</i> .....	40
3.6	<b>Preparación inicial de las muestras</b> .....	41
3.7	<b>Determinación de parámetros de calidad de las pilas</b> .....	42
3.7.1	<i>Análisis de las propiedades fisicoquímicas</i> .....	42
3.7.1.1	<i>Determinación de pH</i> .....	42
3.7.1.2	<i>Determinación de conductividad eléctrica</i> .....	43
3.7.2	<i>Análisis de las propiedades químicas</i> .....	44
3.7.2.1	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i> .....	44
3.7.2.2	<i>Determinación del porcentaje de materia orgánica</i> .....	45
3.7.2.3	<i>Determinación de C/N</i> .....	46
3.7.2.4	<i>Determinación de polifenoles</i> .....	47
3.7.2.5	<i>Tratamiento inicial de digestión ácida</i> .....	48
3.7.2.6	<i>Determinación de macronutrientes</i> .....	49
3.7.2.6.1	<i>Fosforo</i> .....	49
3.7.2.6.2	<i>Calcio</i> .....	50
3.7.2.7	<i>Determinación de micronutrientes</i> .....	51
3.7.2.7.1	<i>Hierro</i> .....	51
3.7.2.7.2	<i>Manganeso</i> .....	52
3.7.2.8	<i>Determinación de metales pesados</i> .....	52
3.7.2.8.1	<i>Níquel</i> .....	52
3.7.2.8.2	<i>Cromo</i> .....	53
3.7.2.8.3	<i>Plomo</i> .....	53
3.7.2.8.4	<i>Arsénico</i> .....	54
3.7.2.8.5	<i>Selenio</i> .....	54

3.7.2.8.6	<i>Mercurio</i> .....	54
<b>3.7.3</b>	<b><i>Análisis de las propiedades biológicas</i></b> .....	<b>55</b>
3.7.3.1	<i>Determinación del índice de germinación</i> .....	55
<b>3.7.4</b>	<b><i>Análisis de los parámetros microbiológicos</i></b> .....	<b>56</b>
3.7.4.1	<i>Método de diluciones sucesivas</i> .....	56
3.7.4.2	<i>Cuantificación de Enterobacterias</i> .....	57
3.7.4.3	<i>Cuantificación de E. coli / Coliformes</i> .....	58
3.7.4.4	<i>Determinación de Salmonella spp.</i> .....	60

## **CAPÍTULO IV**

<b>4</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterización inicial de los residuos</b> .....	<b>61</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Caracterización fisicoquímica de los residuos</i></b> .....	<b>61</b>
4.1.1.1	<i>Porcentaje de materia seca</i> .....	61
4.1.1.2	<i>pH</i> .....	61
4.1.1.3	<i>CE</i> .....	62
<b>4.1.2</b>	<b><i>Caracterización química de los residuos</i></b> .....	<b>62</b>
4.1.2.1	<i>Porcentaje de materia orgánica</i> .....	62
4.1.2.2	<i>C/N</i> .....	63
4.1.2.3	<i>Índice de geminación</i> .....	63
<b>4.1.3</b>	<b><i>Caracterización de los macro y micronutrientes de los residuos</i></b> .....	<b>63</b>
4.1.3.1	<i>Fósforo</i> .....	64
4.1.3.2	<i>Calcio</i> .....	64
4.1.3.3	<i>Manganeso</i> .....	64
<b>4.1.4</b>	<b><i>Caracterización de los metales pesados de los residuos</i></b> .....	<b>65</b>
4.1.4.1	<i>Cromo</i> .....	65
4.1.4.2	<i>Níquel</i> .....	65

4.1.4.3	<i>Arsénico</i> .....	66
4.1.4.4	<i>Selenio</i> .....	66
4.1.4.5	<i>Mercurio</i> .....	66
<b>4.2</b>	<b>Análisis de la evolución de los parámetros fisicoquímicos</b> .....	<b>67</b>
4.2.1	<i>pH</i> .....	68
4.2.2	<i>CE</i> .....	68
4.2.3	<i>Evolución de la pérdida de materia orgánica</i> .....	69
4.2.4	<i>C/N</i> .....	70
<b>4.3</b>	<b>Análisis de la evolución de los parámetros tóxicos</b> .....	<b>70</b>
4.3.1	<i>Polifenoles</i> .....	71
4.3.2	<i>Índice de germinación</i> .....	71
<b>4.4</b>	<b>Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje</b> .....	<b>72</b>
<b>4.5</b>	<b>Evolución del crecimiento bacteriano en el proceso de compostaje</b> .....	<b>73</b>
4.5.1	<i>Evolución del crecimiento de enterobacterias en el proceso de compostaje</i> .....	74
4.5.2	<i>Evolución del crecimiento de coliformes en el proceso de compostaje</i> .....	75
<b>4.6</b>	<b>Análisis y resultados de la calidad del compost</b> .....	<b>76</b>
4.6.1	<i>Análisis de calidad de los metales pesados</i> .....	76
4.6.1.1	<i>Níquel</i> .....	76
4.6.1.2	<i>Cromo</i> .....	77
4.6.1.3	<i>Plomo</i> .....	77
4.6.1.4	<i>Arsénico</i> .....	77
4.6.1.5	<i>Selenio</i> .....	78
4.6.1.6	<i>Mercurio</i> .....	78
4.6.2	<i>Análisis de calidad de los macronutrientes</i> .....	78
4.6.2.1	<i>Fósforo</i> .....	78
4.6.2.2	<i>Calcio</i> .....	78
4.6.3	<i>Análisis de calidad de los micronutrientes</i> .....	79
4.6.3.1	<i>Hierro</i> .....	79
4.6.3.2	<i>Manganeso</i> .....	79

<b>4.6.4</b>	<b><i>Análisis de calidad microbiológicos</i></b> .....	79
4.6.4.1	<i>Enterobacterias</i> .....	79
4.6.4.2	<i>E.coli</i> .....	80
4.6.4.3	<i>Coliformes</i> .....	80
4.6.4.4	<i>Salmonella spp.</i> .....	80
 <b>CONCLUSIONES</b> .....		81
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		83
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Tecnologías aplicadas para la gestión de residuos agroalimentarios. ....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Principales alternativas para la gestión de residuos agroalimentarios. ....	6
<b>Tabla 3-2:</b> Requisitos de calidad del producto para compost. ....	33
<b>Tabla 4-4:</b> Caracterización fisicoquímica de los residuos .....	61
<b>Tabla 5-4:</b> Caracterización química de los residuos .....	62
<b>Tabla 6-4:</b> Caracterización de los macro y micronutrientes de los residuos .....	63
<b>Tabla 7-4:</b> Caracterización de los metales pesados de los residuos .....	65
<b>Tabla 8-4:</b> Evolución de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje .....	67
<b>Tabla 9-4:</b> Evolución de los parámetros tóxicos del proceso de compostaje .....	70
<b>Tabla 10-4:</b> Evolución del crecimiento bacteriano en el proceso de compostaje.....	73
<b>Tabla 11-4:</b> Resultados calidad del compost .....	76

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b> Mapa político del cantón Chambo.....	34
<b>Ilustración 2-3:</b> Elaboración de las pilas de compostaje. ....	35
<b>Ilustración 3-3:</b> Recolección de muestras. ....	37
<b>Ilustración 4-3:</b> Medición de los parámetros de control.....	38
<b>Ilustración 5-3:</b> Muestras microbiológicas en bolsas plásticas con cierre hermético.....	42
<b>Ilustración 6-3:</b> Determinación de pH. ....	43
<b>Ilustración 7-3:</b> Determinación de CE. ....	44
<b>Ilustración 8-3:</b> Colocación del crisol en la estufa. ....	45
<b>Ilustración 9-3:</b> Colocación del crisol en la mufla. ....	46
<b>Ilustración 10-3:</b> Uso del digestor Kjeldahl. ....	47
<b>Ilustración 11-3:</b> Medición de la muestra en el espectrofotómetro UV-VIS.....	48
<b>Ilustración 12-3:</b> Colocación de HCl a la solución. ....	49
<b>Ilustración 13-3:</b> Medición de fósforo en el espectrofotómetro UV-VIS.....	50
<b>Ilustración 14-3:</b> Lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica. ....	51
<b>Ilustración 15-3:</b> Preparación de la solución de HNO <sub>3</sub> 1%. ....	53
<b>Ilustración 16-3:</b> Preparación de la solución de HCl 10%. ....	55
<b>Ilustración 17-3:</b> Cajas Petri con semillas de berro.....	56
<b>Ilustración 18-3:</b> Diluciones sucesivas. ....	57
<b>Ilustración 19-3:</b> Siembra de Enterobacterias en petrifilm.....	58
<b>Ilustración 20-3:</b> Siembra en petrifilm para el recuento de E.coli / Coliformes. ....	59
<b>Ilustración 21-3:</b> Siembra de Salmonella spp. en agar SS.....	60
<b>Ilustración 22-4:</b> Evolución de la pérdida de materia orgánica en el proceso de compostaje....	69
<b>Ilustración 23-4:</b> Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje.....	72
<b>Ilustración 24-4:</b> Evolución del crecimiento de enterobacterias ....	74
<b>Ilustración 25-4:</b> Evolución del crecimiento de coliformes ....	75



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ARMADO DE LAS PILAS

**ANEXO B:** DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y QUÍMICAS

**ANEXO C:** DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

**ANEXO D:** RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE LAS PILAS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>ATP</b>	Adenosín trifosfato
<b>AOAC</b>	Asociación Científica Dedicada a la Excelencia Analítica
<b>BPA</b>	Buenas prácticas agrícolas
<b>C</b>	Carbono
<b>C/N</b>	Relación carbono nitrógeno
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>COM</b>	Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo
<b>Corg</b>	Carbono orgánico
<b><i>E. coli</i></b>	<i>Escherichia coli</i>
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FDD</b>	Factor de dilución
<b>GAIBAQ</b>	Grupo de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Estandarización
<b>IG</b>	Índice de germinación
<b>M</b>	Molar
<b>MO</b>	Materia Orgánica
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno molecular
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>NO<sup>3-</sup></b>	Anión nitrato
<b>NT</b>	Nitrógeno total
<b>NC</b>	Número de colonias
<b>NTE</b>	Norma Técnica Ecuatoriana
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>OMA</b>	Organización Mundial de Aduanas
<b>P1-ARM</b>	Pila uno armada
<b>P1-V1</b>	Pila uno – Volteo uno
<b>P1-V2</b>	Pila uno – Volteo dos
<b>P1-V3</b>	Pila uno – Volteo tres
<b>P1-V4</b>	Pila uno – Volteo cuatro

<b>P1-MAD</b>	Pila uno - maduración
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>STEC</b>	<i>E. coli</i> productora de toxina Shiga
<b>UFC</b>	Unidades Formadoras de Colonias
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>Vs</b>	Volumen de siembra

## RESUMEN

El presente Trabajo Experimental tuvo como objetivo evaluar la calidad microbiológica y agroquímica del compost a través del efecto de lactosuero sobre *E. coli* en el proceso de compostaje de residuos agroindustriales, para lo cual se armaron dos pilas Windrow de compostaje a partir de estiércol vacuno, residuos de haba y maíz con peso de 1 tonelada cada una y con un porcentaje de 60% de maíz, 5% de habas y 35% de estiércol de vaca. La pila 1 se regó inicialmente con agua corriente y la pila 2 con 50% de lactosuero. Se realizó la caracterización de materias primas a través de pruebas fisicoquímicas tales como el pH, y la conductividad eléctrica; pruebas químicas como el porcentaje de materia seca, relación C/N y porcentaje de materia orgánica y biológica, como el índice de germinación. Las pilas fueron monitoreadas diariamente a través de la determinación de la temperatura, porcentaje de humedad y concentración de oxígeno, además, del control de los parámetros tóxicos como el índice de germinación y polifenoles. Finalmente, se realizaron análisis de parámetros químicos como los macro y micronutrientes y el seguimiento microbiológico de enterobacterias, coliformes, *E. coli* y *Salmonella spp* durante todo el proceso. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar un crecimiento microbiológico descendente, en donde el proceso de higienización de *E. coli* fue variante durante las etapas de compostaje, sin embargo, se logró la obtención de un compost enmarcado en los requerimientos establecidos en por la reglamentación de la European Comission para avalar su seguridad al usarse como abono orgánico en suelos con fines agrícolas.

**Palabras clave:** <CALIDAD MICROBIOLÓGICA>, <LACTOSUERO>, <RESIDUOS AGROINDUSTRIALES>, <COMPOSTAJE>.



*[Handwritten signature]*  
19-07-2023

## SUMMARY

The main objective of this research study was to evaluate the microbiological and agrochemical quality of compost through the effect of whey on *E. coli* in the agro-industrial waste composting process. Therefore, two Windrow compost piles were assembled from cow manure, bean, and corn wastes, each weighing 1 ton and with a percentage of 60% corn, 5% beans, and 35% cow manure. Pile 1 was initially irrigated with tap water and pile 2 with 50% whey. Characterization of raw materials was carried out through physicochemical tests such as pH and electrical conductivity; chemical tests such as dry matter percentage, C/N ratio, and organic matter percentage; and biological tests such as germination index. The piles were monitored daily through the determination of temperature, humidity percentage, and oxygen concentration, as well as the control of toxic parameters such as germination index and polyphenols. Finally, chemical parameters such as macro and micronutrients and microbiological monitoring of enterobacteria, coliforms, *E. coli*, and *Salmonella* spp. were analyzed throughout the process. The results obtained showed a descending microbiological growth, where the sanitization process of *E. coli* was variable during the composting stages. However, it was possible to obtain a compost that complied with the requirements established by the regulations of the European Commission to guarantee its safety when used as organic fertilizer in soils for agricultural purposes.

**Keywords:** <MICROBIOLOGICAL QUALITY>, <WHEY>, <AGRO-INDUSTRIAL WASTES>, <COMPOSTING>.



Mgs. Evelyn Carolina Macias Silva

C.I.: 0603239070

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de residuos agroindustriales como alternativa al desperdicio de estos es una medida en auge en los últimos años, por tal razón, el progreso de nuevas tecnologías ha seguido un aumento directamente proporcional buscando objetivos en común, disminuir el tiempo del proceso de compostaje y obtener un compost de mayor calidad, mismos objetivos que mantenemos en esta investigación al utilizar lactosuero, con la finalidad de perfeccionar el proceso de compostaje.

Esta investigación se enfoca en seguridad alimentaria debido al uso de estiércoles, aguas contaminadas y otros residuos agroindustriales con elevada carga microbiana patológica, estos contaminantes potenciales junto con el desconocimiento conllevan a un proceso de compostaje incorrecto, donde no se alcanza la inocuidad microbiológica, siendo un riesgo patológico inminente su uso para la producción alimenticia.

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo con un diseño experimental completamente al azar, basado en la determinación del efecto de lactosuero sobre *E. coli* en el proceso de compostaje de residuos agroindustriales, buscando demostrar que el uso de este residuo proveniente de la industria láctea permite obtener un compost de mejor calidad, que cumpla con todas las normativas instauradas.

Finalmente, el estudio se desarrolla en dos pilas de compostaje ubicadas en el centro de acopio de la ESPOCH y conformadas de estiércol de vaca, residuos de haba y maíz tomados del cantón Chambo. Las pruebas fisicoquímicas, químicas y microbiológicas se desarrollan en los laboratorios del Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología Ambiente y Química (GAIBAQ).

## CAPÍTULO I

### 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

El manejo inadecuado de residuos agroindustriales generados en las distintas etapas de los procesos productivos tiene como una de sus consecuencias la contaminación de los suelos, lo cual es un problema tanto en Ecuador como en el mundo, debido a que perjudica directamente la seguridad alimentaria, disminuyendo el rendimiento y la calidad de los cultivos al provocar enfermedades.

Las enfermedades que se transfieren por el consumo de alimentos contaminados generalmente son de tipo infeccioso, y pueden ser a causa de virus, bacterias, hongos o parásitos. Dentro de los potenciales alimentos insalubres que ocasionan esto se encuentran vegetales o frutas contaminadas con materia fecal de animales en alguna etapa de su cultivo (OMS, 2018).

Por ejemplo, bacterias como *Salmonella* y *Escherichia coli* constan entre los microorganismos patógenos de transmisión alimentaria más comunes que se pueden transferir a las personas básicamente por la ingesta de alimentos infectados como carne cruda u hortalizas frescas ocasionando consecuencias graves o en algunos casos incluso mortales (OMS, 2020).

La transmisión de *E. coli* productora de toxina Shiga (STEC) sucede por vía fecal-oral. Los rumiantes son el reservorio principal de STEC, los cuales desecha la bacteria mediante sus heces (Di Pillo y Sotomayor, 2018). Por lo tanto, si el estiércol producido no es manejado adecuadamente o higienizado a través de procesos de compostaje, es una fuente considerable de patógenos que enferman al humano (Ford y Stivers, 2023).

Según la FAO y la OMS, las cepas de STEC son una causa importante de enfermedades asociadas al consumo de alimentos, que pueden provocar diarrea, diarrea sanguinolenta y síndrome urémico hemolítico, que a menudo incluye insuficiencia renal. Basándose en datos obtenidos de 21 países de diversas regiones del mundo, con una población de 2.1 billones, se estimó que, aproximadamente, la mitad de la carga de enfermedad por STEC fue transmitida por alimentos (FAO, 2018, pág. 1).

## **1.2 Justificación**

La presencia de patógenos en el compost se debe principalmente al uso de estiércoles, aguas contaminadas y las personas que lo manipulan. La inocuidad biológica del compost depende de la temperatura, la humedad y la aireación o volteos que tenga la pida para poder eliminar los patógenos. Por lo general, no existe una adecuada supervisión en el proceso de compostaje, específicamente en la fase termofílica y como resultado de esto, el compost no cumple con la carga microbiológica establecida en la norma, siendo un peligro para la seguridad alimentaria. Por lo cual, es necesario este estudio puesto que, al realizar las pruebas químicas, fisicoquímicas y microbiológicas durante y al final del proceso de compostaje se garantizará que el compost de residuos agroindustriales sea seguro y de calidad, además de reciclar un residuo producto de la agroindustria láctea como es el lactosuero, garantizando la higienización de *E. coli* en este proceso y minimizando los riesgos para los sembríos de consumo humano.



## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son materiales en forma sólida o líquida que fueron producidos a partir de procesos industriales o netamente por el consumo de productos primarios que perdieron su utilidad original. También pueden definirse como una especie de biomasa originada esencialmente por los distintos procesos que involucran materiales orgánicos como la agricultura y ganadería. Las propiedades o características tanto biológicas como químicas de estos desechos van a depender directamente del proceso de transformación y del tipo de materia prima que provienen. No obstante, están compuestos en su mayoría por materiales lignocelulósicos, compuestos fenólicos e ingredientes bioactivos procedentes de las frutas y cítricos (Rojas, Flórez y López, 2018, p.1; Vargas y Pérez 2018, p.61).

Se pueden dividir en dos clasificaciones: residuos de campo como tallos, hojas o semillas que permanecen en el suelo postcosecha o como residuos de procesos tales como cáscaras, pulpa, bagazo, entre otros que se encuentran después de que se produzcan los productos finales para consumo. Su generación es particularmente inconstante por lo que es complejo tener una aproximación de las cantidades producidas a nivel mundial. Por lo tanto, es imperativo que se tomen medidas estrictas para una correcta gestión de residuos debido a que a pesar de ser de origen natural si no tienen un adecuado tratamiento son un gran problema ambiental y social (Romero, 2022, p.2).

#### 2.2 Gestión de residuos agroindustriales

##### 2.2.1 *Gestión de residuos agrícolas*

La industria agrícola es muy importante en Ecuador, puesto que representa aproximadamente el 25% de los ingresos económicos para la población ecuatoriana y continúa en un creciente desarrollo. Por lo cual, es fundamental la gestión de los residuos producidos por la misma. Existe una amplia variedad de tecnologías utilizadas para el aprovechamiento de residuos alimentarios,

entre las cuales debido a su gran potencial energético presentan un mayor índice de uso la pirólisis, la combustión y la gasificación (Aguiar, Enríquez y Uvidia, 2022, p.8).

**Tabla 1-2:** Tecnologías aplicadas para la gestión de residuos agroalimentarios.

Tecnología	Descripción
Pirólisis	Presenta altas tasas de calentamiento, con una temperatura estable cercana a los 500°C y un pronto enfriamiento del valor en la fase de condensación para la obtención de bio-aceite que contiene cetonas, azúcares y agua.
Combustión	Los residuos agroindustriales están constituidos por un elevado contenido de componentes lignocelulósicos y celulósicos que deben someterse a un pretratamiento para poder transformarse en combustibles al utilizar su poder calorífico como por ejemplo centrales térmicas, calderas de centrales azucareras y demás aplicaciones que comprenden el campo de energías renovables.
Gasificación	Consiste en un proceso de transformación de materias primas que contengan base carbonada, en biocarbón, gas y bio-aceite, utilizándolos principalmente para la generación de energía térmica.

**Fuente:** Aguiar, Enríquez y Uvidia, 2022, p.8.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

Para que los procesos termoquímicos mencionados en la tabla anterior tengan mayor eficiencia, es fundamental que los residuos tengan un alto poder calórico, bajo contenido de humedad y un alto contenido de materia volátil, entre otras particularidades (Aguiar, Enríquez y Uvidia, 2022, p.8).

**Tabla 2-2:** Principales alternativas para la gestión de residuos agroalimentarios.

Residuos	Alternativa	Descripción
Residuos de la industria azucarera, grasas y aceites	Biodiésel	Producción de biocombustible mediante transesterificación, obteniendo un 85% de biodiésel utilizado como combustible ecológico.
Fibras, hojas y pencas del agave	Resinas termoplásticas	Se obtienen a través del procesamiento de compuestos lignocelulósicos del agave.
Bagazo de caña, residuos de cebada y yuca	Enzimas industriales	Se producen mediante la inoculación de <i>Penicillium janczewskii</i> en la base orgánica.
Cascarilla de arroz y ceniza	Bloques de concreto no estructural	Son bloques que sirven como alternativa de material de construcción que han sido elaborados a base de cascarilla de arroz y ceniza con más componentes químicos.
Residuos de la industria azucarera y de cereales	Bioetanol	Se obtiene a través de la fermentación de azúcares desechados de la caña de azúcar y cebada junto con materiales celulósicos.
Bagazo de maguey y caña de azúcar	Compostaje	Se trata de un proceso de degradación de materia orgánica gracias a la acción de diversos microorganismos en condiciones anaerobias con la finalidad de obtener un producto alto en nutrientes y estable.

**Fuente:** Aguiar, Enríquez y Uvidia, 2022, p.8.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### **2.2.2 *Gestión de residuos ganaderos***

La actividad ganadera es la segunda actividad humana con influencia directa en el cambio climático. La gestión del estiércol produce óxido nitroso que se origina por la desnitrificación del nitrógeno atrapado en la orina y el estiércol del ganado. Además, se originan emisiones de metano al conservarse en condiciones anaeróbicas ya sea en forma líquida, en tanques o fosas (Espinosa, 2021, p.247).

Generalmente, en Ecuador se gestionan los residuos a través de su almacenamiento para un secado posterior que permita utilizarlos como abono en los suelos destinados para cultivo de plantas debido a su gran contenido de nutrientes necesarios para su desarrollo. Sin embargo, no es suficiente puesto que la cantidad de residuos concentrados en determinadas zonas pequeñas hace que la capacidad correctora del propio sistema no sea suficiente (Valverde, 2018, p.7).

La alternativa más utilizada para la gestión o aprovechamiento de los residuos ganaderos es la producción de biogás (generalmente gas metano), puesto que con la utilización de biodigestores disminuyen considerablemente los gases de efecto invernadero emanados por los estiércoles de los animales tales como metano y dióxido de carbono principalmente, siendo una importante alternativa ecológica que evita la tala de árboles al no necesitar leña para la cocción. La digestión anaerobia posibilita la utilización de la biomasa como fuente de recurso energético renovable (Enríquez, Quevedo y Guamán, 2022, p.20).

### **2.2.3 *Gestión de residuos de la industria láctea***

La producción de leche en Ecuador y en el mundo va creciendo a grandes escalas año tras año, en consecuencia, a una fuerte demanda por parte de la población. Por lo tanto, es inminente la generación de abundantes residuos y a su vez una gran contaminación ambiental principalmente por los sueros desechados y aguas residuales (Luque, Caseres y Masaquiza, 2018, p.2).

Una de las alternativas para la remediación de este problema es el aprovechamiento del lactosuero. Desde algunos años atrás, investigadores han venido trabajando la posibilidad de transformar el lactosuero en bioetanol a través de microorganismos capaces de aprovechar la lactosa contenida en el lactosuero (Luque, Caseres y Masaquiza, 2018, p.10).

Otra posibilidad es la generación de un biol apto para el abono de los pastos con los que se alimenta el ganado, fundamentándose en una economía circular puesto que el lactosuero es un

subproducto de la leche que en la mayoría de los casos se desperdicia o es vertido sin ningún tratamiento previo, lo cual lo convierte en un contaminante ambiental (Urrego, 2020, p.37).

## **2.3 Sistemas de tratamiento**

Los sistemas de tratamiento son un conjunto de procesos que consisten en la transformación de las características biológicas, físicas y químicas de los residuos con la finalidad de neutralizar las sustancias potencialmente peligrosas que contengan y a su vez posibilitar un uso beneficioso a partir de los mismos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España 2018).

### **2.3.1 Vermicompostaje**

El vermicompostaje es un proceso de carácter biotecnológico que se basa en la degradación, estabilización y biooxidación del material orgánico a través de la acción de lombrices de tierra específicas que al alimentarse de los residuos agilizan su descomposición microbiológica, todo esto bajo condiciones mesófilas y aerobias para lograr un producto final estable (Huaccha et al. 2019, p.33).

Las lombrices utilizadas en el vermicompostaje tienen la facultad de ingerir diariamente un aproximado del 50 al 100% de su propio peso. Dichas lombrices degradan los residuos orgánicos gracias a la presencia de microorganismos simbioses que habitan en su intestino ya que generan enzimas extracelulares para descomponer compuestos fenólicos y celulósicos con el aumento de la mineralización del carbono y nitrógeno del material ingerido (Huaccha et al. 2019, p.33).

El vermicompost es un producto muy interesante actualmente puesto que es una alternativa innovadora y muy utilizada para la remediación de suelos afectados por las actividades del hombre. Se conoce que esta práctica se fortaleció principalmente en provincias de la sierra ecuatoriana como Chimborazo, Pichincha y Loja (Balarezo, 2019, p.3).

El producto resultante del vermicompostaje presenta un color café y no se degrada, caracterizándose por un particular contenido microbiano de 2 billones por gramo, alta solubilidad que posibilita una fácil absorción por parte de las raíces de las plantas. Además, se ha constatado que el contenido de macro y micronutrientes en el humus obtenido de lombrices es mayor que en el compost tradicional (Balarezo, 2019, p.4).

### **2.3.2 Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia es un proceso biológico desarrollado en digestores que consiste en una cadena de rutas metabólicas en secuencia conjuntamente de acciones de los distintos grupos tróficos de bacterias anaerobias, las cuales colaboran en la transformación de la materia orgánica compleja en dióxido de carbono y metano. Es fundamental que prevalezca una relación coordinada y equilibrada por parte de los grupos de bacterias involucradas ya que es un proceso complejo (Martín, 2018, p.3).

Este proceso biológico está compuesto por cuatro etapas distintas como: desintegración e hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis en las cuales los residuos orgánicos van convirtiéndose hasta finalmente obtener biogás con una composición principal de metano y dióxido de carbono básicamente (Martín, 2018, p.3).

Las etapas mencionadas anteriormente se describirán a continuación:

1) Hidrólisis: enzimas hidrolíticas excretadas por microorganismos anaerobias se encargan de deshacer los enlaces de proteínas, lípidos y polisacáridos formadores del sustrato para la producción de monómeros como aminoácidos, ácidos grasos y monosacáridos (Martín, 2018, p.4).

2) Acidogénesis: se producen abundantes ácidos grasos volátiles por la asimilación o fermentación de los compuestos por parte de los microorganismos, así como también se generan gases tales como hidrógeno, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, alcoholes (glicerol) y cantidades menores de amoníaco (Martín, 2018, p.4).

3) Acetogénesis: las bacterias acetogénicas de crecimiento lento se encargan del metabolismo de los ácidos grasos volátiles y los alcoholes para producir hidrógeno y ácido acético (Martín, 2018, p.4).

4) Metanogénesis: las bacterias metanogénicas son las encargadas de transformar el hidrógeno, dióxido de carbono y acetato producido en agua, dióxido de carbono y metano (Martín, 2018, p.4).

Este proceso tiene dos objetivos fundamentales que son la obtención de un subproducto mediante la gestión de residuos para una utilización a futuro y el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos para una producción de biogás rentable (Castro, 2018, p.7).

## **2.4 Compostaje**

### **2.4.1 Definición**

El compostaje se define como la conversión aerobia de los residuos orgánicos mediante la acción de hongos y bacterias, debido a lo cual es fundamental resaltar los factores químicos, biológicos y físicos que influyen en su metabolismo con la finalidad de la degradación de la materia orgánica usada para obtener un producto estable de buena calidad agroquímica (Bohórquez, 2019, p.9).

También se puede describir el proceso de compostaje como un proceso de biooxidación de los residuos orgánicos bajo condiciones controladas de humedad, aireación y temperatura para la transformación de la materia orgánica degradable en un producto higienizado con estabilidad, mediante el cual se disminuye la generación de desechos, la contaminación ambiental y los lixiviados que se encuentran en el agua del subsuelo (Chaves et al. 2019, p.41).

Durante este proceso los microorganismos siguen un modelo de sucesión predecible en donde se encuentran poblaciones de microorganismos mesófilos, termófilos y termotolerantes, acondicionados singularmente por la temperatura y representados por diversos géneros o especies de bacterias y hongos (Bohórquez, 2019, p.10).

A través de este proceso se disminuye la generación de desechos de tipo urbano, agrícola, forestal e industrial, la contaminación ambiental y los lixiviados que se encuentran en el agua del subsuelo. Además, es una gran oportunidad de trabajo mediante el cual se posibilita la producción de ingresos económicos (Melendrez y Sánchez, 2019, p.26).

Los materiales utilizados en este proceso se pueden agrupar de la siguiente manera:

**Material verde:** pueden ser los restos de verduras y frutas, restos verdes sacados del jardín como césped, estiércoles, entre otros. Es decir, los que tienen un mayor porcentaje de nitrógeno y agua (Parancán, León y Pérez, 2018, p.25).

**Material café:** pueden ser aquellos que se componen por un alto grado de carbono como restos de paja, aserrín, hojas secas, restos de podas, papel y cartón, pelo e hilos naturales, cáscaras de huevo, entre otros (Parancán, León y Pérez, 2018, p.25).

Una de las mayores ventajas de este proceso es que existe una reducción considerable del uso de agrotóxicos para el aceleramiento de los sistemas de producción, lo cual beneficia los cultivos al no exponerse a químicos que puedan ser dañinos tanto para los humanos y para el suelo, facilitando que los alimentos resultantes sean inocuos y aptos para su consumo.

#### 2.4.1.1 *Etapas*

Existen tres fases relacionadas con la temperatura

1) Fase mesófila: es la parte inicial el proceso y se encuentra a temperatura ambiente. Sin embargo, después de unos 7 días aumenta a los 40-45°C en consecuencia a la actividad de los microorganismos al usar el carbono y nitrógeno para generar calor. Posterior a esto, los residuos orgánicos comienzan su degradación, disminuye el pH y producen ácidos orgánicos (Pedraza y Hernández, 2019, p.53).

2) Fase termófila: después de superar los 45°C se alcanzan hasta los 70 a 80°C por el aumento de la actividad de los microorganismos, por lo que a estas temperaturas los microorganismos mesófilos desaparecen y aparecen los termófilos. En esta etapa se descompone la mayor cantidad de celulosa. Después de los 60°C la actividad de los hongos termófilos se suspende y comienzan las reacciones oxidativas por parte de las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos (Pedraza y Hernández, 2019, p.53).

3) Fase mesófila II o de enfriamiento: tras acabarse las fuentes de carbono y nitrógeno en el material que se encuentra degradándose, nuevamente la temperatura desciende hasta temperatura ambiente y es en esta etapa en donde se toma la decisión de voltear o no la pila para homogeneizarla y que suba la temperatura o dejar que continúe bajando. En esta fase persiste la descomposición de organismos más complejos y se puede observar claramente algunas manchas blancas en las pilas de compostaje que son algunos hongos en crecimiento. Al descender la temperatura a los 40°C, los microorganismos mesófilos vuelven a activarse y el pH puede bajar un poco más (Asociación Catalana de Ingeniería sin Fronteras, 2018, p.8).

4) Fase de maduración: después de varios meses de reacciones secundarias y de que la pila de compostaje se mantenga a temperatura ambiente se obtiene la producción de compost de aspecto oscuro y homogéneo luego de un periodo de enfriamiento (Asociación Catalana de Ingeniería sin Fronteras, 2018, p.8).

#### 2.4.1.2 *Control de las etapas*

Dentro de los parámetros para el control del proceso de compostaje se encuentran los siguientes:



#### 2.4.1.2.1 *Temperatura*

Generalmente la temperatura es uno de los factores de mayor relevancia en reacciones bioquímicas de las células presentes en los organismos debido a que conforme la temperatura aumenta, se aceleran los procesos metabólicos y la velocidad de la degradación de los residuos orgánicos también se altera hasta alcanzar un punto crítico en donde el proceso bajará o disminuirá. Esto a consecuencia de la desnaturalización de las proteínas que interfieren en el metabolismo normal de los microorganismos involucrados (Valverde, 2018, p.10).

Es un indicador decisivo del progreso del proceso de compostaje, debido a la liberación de calor por parte de los microorganismos por el desarrollo de sus actividades de descomposición de la materia orgánica, es decir, indica una mayor o menor actividad microbiana. Es importante mencionar que para cada población de microorganismos existe una temperatura óptima que posibilite crecimiento. Una descomposición aerobia en la que no se superen los 55°C de temperatura tiene una capacidad limitada de destrucción de microorganismos patógenos. Sin embargo, es alrededor de estas temperaturas que se consigue una mayor velocidad de reacción (Valverde, 2018, p.14).

Se considera que tras un crecimiento de los microorganismos dentro del proceso de compostaje se conseguirán alcanzar los 70°C y durante un tiempo apropiado de 3 días aproximadamente será la temperatura máxima que se requiere para la eliminación de los microorganismos y parásitos patógenos. Se necesita que la temperatura durante al menos 10 días se mantenga entre los 55 y 70°C para obtener un producto aséptico (Bohórquez, 2019, p.11).

#### 2.4.1.2.2 *Oxígeno (aireación)*

El factor más importante en el proceso de compostaje es el grado de oxígeno que tienen los microorganismos descomponedores a su disposición, puesto que son aerobios. Especialmente cuando la materia orgánica tiene índices altos de humedad como generalmente sucede con los residuos orgánicos urbanos. Mediante los volteos de las pilas de compostaje se posibilita una mejor descomposición al provisionar el oxígeno y homogenización de residuos (Apaza, 2022, p.1).

Para microorganismos presentes en las pilas de compostaje el oxígeno es un elemento vital, ya que de lo contrario se formarían bacterias anaerobias las cuales son productoras de malos olores por lo cual es necesario la realización de volteos aproximadamente 1 o 2 veces por semana, además de añadir a la pila residuos orgánicos secos que funcionarán como absorbentes de

humedad y proporcionarán porosidad, permitiendo la reducción del apelmazamiento de los residuos orgánicos (Ministerio del Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, 2022, p.21).

El suministro de oxígeno puede ser realizado mediante distintos sistemas de aireación que generalmente suelen ser de forma natural a través de ventilación pasiva cuando la mezcla tiene características de porosidad y posee una estructura favorable para que se ejecute el intercambio gaseoso. La aireación también puede producirse mediante volteos mecánicos o manuales, en donde se facilita la homogenización del material orgánico y además la distribución de los microorganismos existentes, y finalmente la exposición a una mayor cantidad de superficie que agiliza el proceso de descomposición de la materia orgánica (Apaza, 2022, p.14-15).

#### *2.4.1.2.3 Humedad*

Este factor provee un medio adecuado para el transporte de nutrientes dispersos necesarios para las actividades fisiológicas y metabólicas de la población microbiana puesto que la presencia de agua es fundamental. La humedad óptima para el crecimiento de los microorganismos oscila entre el 50 a 70%. Cuando la humedad está por debajo del 30% y por encima del 70% se observa un decrecimiento de la actividad biológica debido a que el agua desplaza al aire en los espacios entre partículas, de modo que produce anaerobiosis al disminuir la transferencia de oxígeno y otros gases como el dióxido de carbono. Es aquí donde comienzan los malos olores, así como una ralentización del proceso (Chaves et al. 2019, p.42).

Una manera fácil y sencilla que permite controlar la humedad se conoce como “puño” y es básicamente tomar con las manos (protegidas con guantes) un puñado y apretarlo. Se considera que la humedad es alta (mayor a 70%) cuando caen más de 10 gotas de agua y cuando el porcentaje de humedad es bajo (menor al 40%) no caen gotas de agua y el material se dispersa después de abrir la mano. Cuando la humedad tiene el porcentaje adecuado (50-70%) solo caen de 2 a 5 gotas de agua y se forma una masa compacta al abrir la mano (Parancán, León y Pérez, 2018, p.14).

#### *2.4.1.2.4 pH*

La influencia del pH en el proceso de compostaje varía según el tipo de microorganismos. Por ejemplo, los hongos son microorganismos capaces de soportar un amplio margen de pH que puede ser desde 5 hasta 8, mientras que para las bacterias el margen se encuentra entre 6 hasta

7.5. Por lo general, a lo largo del proceso existirá una alcalinización progresiva del medio. Este factor aparte de determinar la vida microbiana incluso es un indicador de la evolución del proceso, puesto que aumenta por el amoníaco que se genera por la descomposición de proteínas o disminuye por la formación de ácidos libres (Apaza, 2022, p.14).

#### *2.4.1.2.5 Conductividad eléctrica (CE)*

La conductividad eléctrica por lo general crece debido a un aumento de la concentración de nutrientes a causa de la mineralización orgánica. En otras ocasiones, puede suceder una disminución de la CE debido a fenómenos de lixiviación en la masa provocados por una presencia de humedad excesiva de la misma (Apaza, 2022, p.14).

## **2.5 Tipos de sistemas de compostaje**

### *2.5.1 Sistemas abiertos*

Tienen como característica el estar expuestos a un manejo sencillo o un entorno ligero con un menor costo de inversión. Existen sistemas de apilamiento estático que son: Sistema Beltsville o con aire por succión, sistema Rutgers o con aire soplado y el de ventilación alternante (Quintero, 2021, p.23).

### *2.5.2 Compostaje en pila móvil o por volteo*

Este proceso se realiza en pilas o hileras de la materia orgánica al aire libre para una fermentación durante 8 semanas. La hilera se puede construir de 2 a 2.3 m de alto y de 4 a 5m de ancho en la base con longitud sujeta a cambios. Al inicio se hacen dos voleos por semana con una temperatura de 55°C permanente con el objetivo de renovar la mezcla y el oxígeno. Una de las desventajas más notorias puede ser la liberación de malos olores a causa de estar al aire libre o producir lixiviados por las lluvias (Ávila y Moyano, 2019, p.14).

Consiste en airear a la pila de compostaje mediante volteos mecánicos o manuales del sustrato. Generalmente ocupan mayor espacio ya que en cada volteo se debe mover la pila. Los volteos facilitan la reducción del tamaño de partículas, homogenización de los residuos orgánicos,

mejoramiento de la oxigenación, aumento de la porosidad del suelo y la distribución adecuada de los microorganismos presentes en la fila con la finalidad de evitar la concentración de humedad en un solo punto, lo cual acelera el proceso (Beltrán y Pérez, 2020, p.14).

### **2.5.3 *Compostaje en pila estática con ventilación forzada***

Este proceso se basa en la colocación de la masa de material orgánico encima de una red de tuberías horadadas y conectadas a un ventilador con la función de expulsar o aspirar aire para eliminar las condiciones anaerobias. La regulación del caudal del ventilador permite el control de la temperatura y la aireación. No es necesario un ancho específico puesto que como no se realiza un volteo las dimensiones adecuadas pueden ser de 2 a 2.5m (Ávila y Moyano, 2019, p.14).

### **2.5.4 *Sistemas cerrados***

Este tipo de sistemas se diseñan con el objetivo de menorar el tiempo y área de compostaje para un mayor control de los parámetros durante el proceso, lo cual demanda un cierto nivel de complejidad en su operación y estructura debido a que requiere de reactores un poco más dinámicos y complejos que permiten los procesos de compostaje, aunque con costos un tanto más elevado. Se pueden mencionar los reactores verticales continuos (alturas de 4 a 10m) donde el material compostable se encuentra dentro de una sola masa; en este sistema se controlan las características de los gases, la temperatura y aireación durante los 15 días en que ocurre el compostaje. Los reactores horizontales pueden ser fijos, en los que el compostaje tarda aproximadamente de 15-30 días, dinámicos o de rotación que constan de una forma cilíndrica con un diámetro de 2-3 metros con giros de 2-3 rpm en donde los desechos estarán en el reactor por 24 a 36 horas (Quintero, 2021, p.24).

## **2.6 *Calidad del compostaje***

### **2.6.1 *Parámetros fisicoquímicos***

#### **2.6.1.1 *pH***

La influencia del pH en el proceso de compostaje varía según el tipo de microorganismos. Por ejemplo, los hongos son microorganismos capaces de soportar un amplio margen de pH que puede ser desde 5 hasta 8, mientras que para las bacterias el margen se encuentra entre 6 hasta 7.5. Por lo general, a lo largo del proceso existirá una alcalinización progresiva del medio. Este factor aparte de determinar la vida microbiana incluso es un indicador de la evolución del proceso, puesto que aumenta por el amoníaco que se genera por la descomposición de proteínas o disminuye por la formación de ácidos libres (Apaza, 2022, p.14).

#### *2.6.1.2 Conductividad eléctrica (CE)*

La conductividad eléctrica por lo general crece debido a un aumento de la concentración de nutrientes a causa de la mineralización orgánica. En otras ocasiones, puede suceder una disminución de la CE debido a fenómenos de lixiviación en la masa provocados por una presencia de humedad excesiva de la misma (Apaza, 2022, p.14).

### **2.6.2 Parámetros químicos**

#### *2.6.2.1 Macronutrientes*

Son elementos que deben presentarse en cantidades considerables puesto que son fundamentales para el desarrollo y supervivencia de las plantas. Cabe recalcar que un alto grado de macronutrientes presentes en el suelo no es una garantía de que las plantas estén siendo nutridas correctamente, debido a que para que sirvan de aporte a los cultivos deben encontrarse en una forma asimilable para la planta (García, 2019).

Los macronutrientes tienen diversas funciones dentro de la planta y se pueden dividir en dos categorías dependiendo del porcentaje en que se encuentren presentes en los alimentos. El nitrógeno, potasio y fósforo se consideran como macronutrientes primarios, mientras que, el magnesio, azufre y calcio son macronutrientes secundarios (Zambrano, Herrera y Motta, 2020, p.3).

Están asociados biológicamente a procesos como el equilibrio osmótico, fotosíntesis, rutas metabólicas y varios procesos celulares formando compuestos de alto y bajo peso molecular. Existen además otros macronutrientes como el carbono, oxígeno e hidrógeno que la planta los

obtiene mediante el agua y aire, también son esenciales para el almacenamiento, producción de energía y crecimiento de las células (Romero, 2021, p.9).

Sin la presencia de estos elementos en el suelo se dificulta grandemente el desarrollo correcto de los cultivos y aún más su aporte a la alimentación del ser humano puesto que son los principales consumidores de los frutos que les proporciona el suelo.

#### *2.6.2.1.1 Nitrógeno*

Se define como el nutriente de mayor importancia para la producción de alimentos, principalmente los cereales. Sin embargo, es muy complicado de manejar. Alrededor del 78% de la atmósfera del planeta está constituida por nitrógeno en forma molecular, es decir, N<sub>2</sub>. A pesar de ser una gran parte del aire que respiramos, los organismos vivos en su mayoría no lo pueden asimilar de la misma forma. El nitrógeno molecular tiene que someterse a un proceso de carácter natural conocido como fijación de nitrógeno para lograr ser captado por las plantas y ser parte de su nutrición. La necesidad del nitrógeno en las plantas radica en la producción de aminoácidos que formarán proteínas y posterior a esto producirán células. Además, forma parte de los componentes fundamentales del ADN. Es básico para el desarrollo de las plantas al ser un componente principal de la clorofila (Orchardson, 2020).

La fijación natural del nitrógeno sucede cuando las bacterias que fijan el nitrógeno, las cuales se encuentran en los nódulos de las raíces de plantas leguminosas, transforman el material orgánico en amonio y luego en nitrato. De esta forma, las plantas logran extraer el nitrato del suelo y descomponerlo en el nitrógeno que requieren. Por otro lado, las bacterias desnitrificantes transforman el exceso de nitrato en nitrógeno inorgánico nuevamente que se liberará a la atmósfera. Este proceso también puede ser canalizado por un rayo, cuyo calor destruirá los enlaces triples del nitrógeno de la atmósfera y liberará sus átomos para que al mezclarse con el oxígeno produzcan óxido nítrico que se disuelve con la lluvia como ácido nítrico y es absorbido por el suelo (Orchardson, 2020).

#### **- Deficiencia de nitrógeno en el suelo**

Se refleja en sembríos con vegetaciones raquíticas. Cuando esto sucede el contenido de proteínas es alto, mientras que, el contenido de azúcares es alto por lo que el nitrógeno es insuficiente para poder combinarse con todas las cadenas carbonadas que normalmente tienen como objetivo la formación de proteínas. El porcentaje de nitrógeno puede ser inconstante dentro de la planta y

cuando el suministro no es el adecuado se traslada a las hojas jóvenes, luego a las hojas viejas provocando clorosis y un envejecimiento prematuro que ocasiona la caída de las hojas. Cuando el nitrógeno está en cantidades insuficientes se provocará una maduración acelerada del fruto y un menor rendimiento en la producción. Sin embargo, esta deficiencia es poco común en suelos cultivados (Benimeli et al. 2019, p.1-2).

#### - **Exceso de nitrógeno en el suelo**

Ocurre un crecimiento vegetativo excesivo de las plantas cuando el nitrógeno es aplicado en cantidades superiores a las necesarias. Las hojas se tornarán de un color verde oscuro, las células de los tallos comenzarán su elongación, pero al ser débiles el peso del ápice provocará que se fracturen por situaciones como vientos y lluvias intensas. Además, esto puede provocar un retraso en la maduración de la planta y ocasionar susceptibilidad a enfermedades principalmente causadas por hongos o plagas de insectos porque los tejidos permanecen verdes y tiernos durante un periodo de tiempo largo. También disminuye la calidad de los cultivos ya que los alimentos tendrán un color y sabor desagradable o niveles bajos de vitaminas y azúcares en ciertos vegetales y cultivos de raíz (Benimeli et al. 2019, p.2).

#### 2.6.2.1.2 *Potasio*

El potasio desempeña un papel esencial en las plantas al ser uno de los macronutrientes primarios del suelo. Ayuda al mantenimiento de altos niveles de turgencia mediante la retención de agua en las células, en el proceso de fotosíntesis participa en la activación de enzimas en la fotosíntesis y en la calidad de los cultivos (Beltrán et al. 2019, p.374).

Este elemento se encuentra en la planta casi tanto como el nitrógeno, ocupa el segundo puesto. Está involucrado en más de 60 actividades enzimáticas, en la fotosíntesis y en el movimiento de fotosintatos a los órganos de almacenamiento que son las semillas, en la producción de resistencia contra varias plagas, enfermedades y condiciones de estrés, así como en la economía del agua (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Es importante conocer que el potasio suele presentarse en cuatro formas por lo general según a la cantidad de potasio asimilable por parte de la planta. Su disponibilidad dependerá de las condiciones ambientales y del suelo. En primera instancia se encuentra el potasio estructural, no

es absorbido por las plantas y se refiere a la fracción en formación por parte de los minerales primarios como feldespatos y micas, constituyendo el 90 al 99% del potasio total. En segundo lugar, el potasio soluble que ya puede ser asimilado por las plantas y se presenta en concentraciones pequeñas de 0.1 a 1000ppm siendo renovado constantemente. Después el potasio intercambiable que se refiere a la fracción adsorbida en el complejo de cambio y que se intercambia con otros cationes. Está en equilibrio con la solución del suelo y se desplaza de forma rápida cuando las plantas absorben el potasio del suelo. Es la forma que de mejor manera puede ser asimilada por las plantas. Finalmente, el potasio fijado hace referencia a un potasio no intercambiable que se acumula en el espacio interlaminar de las arcillas (García, 2019).

#### 2.6.2.1.3 Fósforo

El fósforo es un elemento no renovable que determina el rendimiento de las plantas, puede favorecerlas o limitarlas. Se considera como uno de los elementos disponibles en menor cantidad y como consecuencia a esto se ha incrementado la producción de fertilizantes fosforados, por lo que, las reservas fosfóricas a nivel mundial se están agotando y se estima su pérdida total en aproximadamente 100 años. La importancia de este elemento radica en la creación de moléculas de los ácidos nucleicos y se encuentra en los procesos energéticos de las plantas en forma de ATP. Este mineral se considera inmóvil en el suelo, a pesar de que se registran pérdidas por erosión, lavado o escurrimiento (Sánchez 2018, p.1-15).

Por otro lado, el fósforo en el suelo se encuentra en porcentajes del alrededor del 0.05% y tan solo el 0.01% puede ser asimilado por las plantas, lo que en parte explica su importancia y la necesidad de su utilización. Se origina en las apatitas o en los depósitos de fosfato natural en donde se libera mediante meteorización por la actividad de factores bióticos y abióticos. El fósforo inorgánico se presenta en el suelo como fosfatos de calcio, hierro, aluminio o magnesio en las arcillas del caolín. Por lo tanto, la planta no puede asimilar este elemento al ser precipitadas o fijadas. Puede encontrarse en el suelo orgánico e inorgánico de dos formas diferentes y su disponibilidad variará según las reacciones fisicoquímicas y biológicas del suelo. Finalmente, para que las plantas puedan asimilar el fósforo presente en el suelo este deberá encontrarse en la solución del suelo como iones fosfato monoácido y diácido (Sánchez 2018, p.15-16).

Contenidos excesivos de fósforo en el suelo pueden ocasionar que las concentraciones de clorofila tiendan a disminuir drásticamente por el antagonismo presente con aniones como el  $\text{NO}_3^-$  debido a que la capacidad de fotosíntesis y la clorofila mantienen una relación directamente proporcional con el contenido de nitrógeno y fósforo en la planta. En cambio, cuando existe una deficiente



cantidad de fósforo, el contenido de clorofila sucede como una forma de evitar el exceso de captación de luz con el objetivo de proteger el fotosistema II del daño lumínico. Uno de los efectos más notorios a causa de una cantidad insuficiente de fósforo es la reducción en el número de hojas y además se provocaría un crecimiento menor y la emisión de nuevos órganos vegetativos porque el fósforo es un nutriente presente en concentraciones fuertes en los tejidos meristemáticos (Novoa, Miranda y Marina, 2018, p.296-299).

#### 2.6.2.2 *Micronutrientes*

Los tipos de suelo se diferencian bastante según la presencia de elementos que contengan, puesto que van a diferir en su comportamiento dependiente de una serie de propiedades. Las concentraciones de micronutrientes y el origen de estos de igual forma se sujetan en gran medida a la composición química del material originario y a las condiciones medioambientales de cada sector. El panorama de los micronutrientes es un tanto más complejo en comparación al de los macronutrientes debido a su bajo contenido total presente en el suelo y una proporción muy pequeña de ese total puede ser asimilada por las raíces de la planta. Además, su deficiencia repercute de manera negativa en la producción, aunque en menor proporción que la influencia de los macronutrientes (Ríos, 2020, p.45).

El requerimiento de micronutrientes varía según la especie vegetal a cultivarse. Estos elementos tienen mayor importancia en los cultivos intensivos que en los extensivos puesto que en los cultivos intensivos una deficiencia de micronutrientes afecta a parámetros como la firmeza y el color de los frutos que pueden provocar trastornos fisiológicos en la postcosecha. Por otro lado, los micronutrientes también participan en la formación de complejos enzimáticos ligando una enzima con un sustrato. Actualmente se conocen varios micronutrientes como el Cu, Zn y Mn que se encuentran en las isoenzimas superóxido dismutasa, las cuales participan como mecanismos de barrido para eliminar radicales tóxicos de oxígeno con el objetivo de proteger las biomembranas, la clorofila, las proteínas y a su vez el ADN (Yepes, 2019, p.94).

##### 2.6.2.2.1 *Hierro*

El hierro puede encontrarse en grandes concentraciones como hierro oxidado, es decir, hierro férrico cuando los suelos aeróbicos tienen buena oxigenación. Sin embargo, cuando este elemento

se encuentra en estado de oxidación es insoluble y por lo tanto no puede ser asimilado por las plantas, lo cual tiene como consecuencia una deficiencia de hierro. Este mineral tiene un rol activo en la regulación de funciones críticas en las plantas como la respiración mitocondrial, absorción de nitrógeno, fotosíntesis, regulación hormonal, etc. Es un cofactor enzimático que posibilita las reacciones químicas y estabiliza las proteínas de manera regulada. Aproximadamente más del 90% del hierro asimilado es almacenado en los cloroplastos en donde es usado para resguardar la funcionalidad e integridad estructural de la membrana del tilacoide y que el proceso de fotosíntesis sea eficiente. Por todas las razones mencionadas anteriormente es que el hierro se considera un elemento fundamental para el desarrollo y crecimiento adecuado de las plantas (Heeren, 2021, p.6).

La presencia de hierro en suelos agrícolas es común porque es un indicador del estado de oxidación de diversos tipos de suelos y también actúa como reductor principal de la materia orgánica por su importante función en procesos enzimáticos. Generalmente se presenta en sus estados de oxidación comunes y son  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  (Naranjo, Vera y Mora, 2021, p.2).

Un déficit de hierro en el suelo trae consecuencias negativas para el desarrollo y crecimiento de las plantas, por lo cual, las plantas han desarrollado estrategias de absorción del hierro del suelo. En primer lugar, se encuentra la reducción del hierro a hierro férrico y hierro ferroso, esta estrategia es usada por dicotiledóneas y no-gramíneas en donde también utilizan una reductasa y un transportador. En segundo lugar, las gramíneas utilizan una estrategia que se basa en la liberación de fito-sideróforos a la rizosfera para que quelen el hierro férrico y formen un complejo que se transportará al interior de la planta. Por el contrario, cuando existe un exceso de hierro se observan casos de toxicidad reportados con valores de  $pH < 5$  en el suelo y cuando esto sucede, es decir, que las concentraciones de hierro superan las 300 ppm se considera un suelo tóxico para la mayoría de los cultivos. Cuando el hierro se encuentra en estado ferroso es soluble y puede ser asimilado por la planta, lo cual produce niveles mayores de hierro disponible en el suelo (Heeren, 2021, p.6-7).

#### 2.6.2.2.2 *Manganeso*

Este micronutriente ocupa el segundo lugar en importancia después del hierro y al igual que cualquier otro elemento es un factor decisivo para el desarrollo de la planta si se encuentra en bajas o altas cantidades. Actúa como catalizador en procesos de oxidación y reducción, también participa en síntesis de proteínas y procesos fotosintéticos. Es asimilable para las plantas cuando

se encuentra como ion Mn y su absorción disminuye cuando en el suelo existen cantidades abundantes de magnesio, cobre, zinc, calcio y potasio (Hernández, 2022, p.47).

#### 2.6.2.2.3 *Cobre*

Cuando el suelo no tiene una aireación adecuada las plantas lo asimilan como catión cuproso, y, por el contrario, cuando el suelo tiene buena oxigenación las plantas lo captan como catión cúprico. Las cantidades que una planta generalmente requiere de este elemento son pequeñas, es un elemento poco móvil que suele acumularse en el aparato mitocondrial y en las semillas. Se puede percibir una deficiente de este micronutriente cuando las hojas jóvenes se tornan de color verde oscuro, disminuye la formación de espigas o existe un aumento de aminoácidos y se frena la función proteica de las células, es decir, el cobre es un activador de enzimas que participa en la síntesis de los ácidos nucleicos (Rodríguez y Buitrago, 2019, p.41).

#### 2.6.2.2.4 *Zinc*

Este mineral se encuentra presente en una amplia gama de procesos fisiológicos que influyen de manera negativa en la producción cuando existen cantidades insuficientes, se puede observar esta repercusión tanto en la disminución de la calidad de los frutos como en el rendimiento. Aproximadamente el 50% de los suelos agrícolas que se dedican al cultivo de cereales poseen concentraciones insuficientes de zinc. La disminución de este micronutriente no influye únicamente en el rendimiento de los sembríos sino también en el valor nutricional de los alimentos. En la actualidad es considerado como el nutriente con mayor capacidad limitante en la producción agrícola después del nitrógeno y el fósforo. Su deficiencia suele estar asociada con suelos de ambientes tropicales, con pH alcalino o neutro, concentraciones de calcio y magnesio elevadas (Cobo et al. 2019, p.23).

#### 2.6.2.2.5 *Boro*

El boro está dentro de los siete micronutrientes principales para el desarrollo normal de las plantas, particularmente en todo el reino vegetal. Es importante para la floración, cuajado de frutos, formación de semillas y el sistema radicular de plantación. Regula el contenido de agua y

tiene como función principal la transportación de azúcares en las plantas que se absorben como ácido bórico. En el interior de la planta se puede considerar como un elemento poco móvil. Se utiliza en mayor cantidad para los cultivos de periodos cortos ya que hay una mayor absorción por parte de la planta con el objetivo de mejorar los rendimientos de la producción (Mora, 2019, p.1).

Este elemento se encuentra en el suelo de dos formas principales: rocas y minerales. Por su naturaleza no iónica es muy vulnerable a lixiviar en zonas húmedas o en suelos de textura grueso principalmente. El boro suele encontrarse en exceso en zonas áridas o semiáridas, mientras que, las cantidades insuficientes de este mineral son reiteradas en suelos con  $\text{pH} > 6.5$ . Por otro lado, la concentración de equilibrio en la solución del suelo está sujeta a la cantidad del boro total, el contenido de humedad y la cantidad de sitios de adsorción (Montoya et al. 2020, p.5).

El déficit de boro puede provocar susceptibilidad en las plantas ante el ataque de enfermedades hacia sus raíces ya que las paredes celulares son menos fuertes y permiten el rápido ingreso de microorganismos patógenos y como consecuencia se ve afectada la maduración de las plantas. Un exceso de boro es dañino para el crecimiento normal de las plantas puesto que provoca clorosis en las puntas de las hojas, lo cual posteriormente se vuelve necrótico hasta causar la muerte y defoliación (Mora, 2019, p.1).

### 2.6.2.3 *Metales pesados*

Se definen como un conjunto de metales, semimetales y no metales que están vinculados con la contaminación y demás problemas de ecotoxicidad y toxicidad, son componentes de origen natural en los suelos que constituyen parte del sustrato geológico y son liberados al suelo mediante edafogénesis en consecuencia a la alteración de minerales primarios y la formación del complejo arcillo-húmico y la fracción coloidal. Suelen dividirse según su función, que puede ser función biológica conocida o no (Lago, 2018, p.29).

Son minerales que su acumulación en el medio ambiente constituye un riesgo grave para la salud a nivel global puesto que enfermedades oncológicas, hepáticas y renales se encuentran asociadas a la presencia de altas concentraciones de estos elementos; también son un peligro importante frente a la biodiversidad de flora y fauna. A pesar de que la generación de metales pesados se asocia principalmente con actividades industriales, explotación petrolera, entre otras, las actividades agrícolas también tienen un papel significativo puesto que suelen contaminar el suelo a largo plazo a causa del uso de agroquímicos y fertilizantes, los cuales tienen en su composición metales pesados como el cobre. Esto suele potenciarse por las interacciones que ocurren allí como

la adsorción en la micela coloidal o la formación de complejos con compuestos orgánicos (Mendoza et al. 2021, p.2).

Los metales pesados como el plomo, cobre, níquel, mercurio y cadmio en áreas de alta presión antropogénica se consideran contaminantes ambientales alarmantes, debido a que tiene grandes repercusiones en el sector agrícola como problemas en la comercialización de alimentos ya que no serían inocuos (Aguilar, 2019, p.8).

#### 2.6.2.3.1 *Níquel*

El níquel no es un caso común de metal pesado por algunos factores, entre los cuales tenemos que cumple con el criterio de elemento esencial de forma indirecta ya que también es un micronutriente. La deficiencia de este metal ocasiona innumerables efectos sobre el suelo, un exceso de este elemento ocasiona síntomas y alteraciones fisiológicas como la clorosis, necrosis y composición de lípidos. Otra situación para que el níquel sea considerado atípico es su presencia en la ureasa, formando una metaloenzima ubicua. Generalmente la contaminación del suelo por este metal se da por fuentes naturales, por lo que, las actividades antropogénicas no tienen tanta relevancia a comparación de otros contaminantes (García et al. 2018, p.709).

Un dato interesante es que desde el primer acumulador de níquel del mundo descubierto al menos 320 especies de plantas (pertenecientes a distintas familias) se han reportado como hiperacumuladoras de níquel. Por ejemplo, *Euphorbiaceae*, *Brassicaceae*, y *Asteraceae* son familias de plantas representadas frecuentemente (García et al. 2018, p.709).

#### 2.6.2.3.2 *Cromo*

El cromo es un elemento de color blanco, simbolizado por Cr y de número atómico 24. En su estado de oxidación trivalente es fundamental tanto en humanos como en animales porque tiene efectos beneficiosos acerca de la función biológica como en el mecanismo de la insulina. Este metal se deposita en el agua y suelo debido a la contaminación ambiental que se causa por los desechos generados en la curtiembre, manufactura de productos o producción de textiles. Se conoce que el cromo Cr<sup>3+</sup> no es dañino para la salud pues es excretado por el cuerpo a través de la orina (Lasluiza, 2022, p.9).

#### 2.6.2.3.3 *Plomo*

Está ampliamente distribuido en el ambiente puesto que ha sido utilizado en la industria a lo largo de los años, lo cual, eleva su toxicidad para la salud y el ambiente, siendo actualmente uno de los principales contaminantes ambientales potencialmente patológico. Los trabajadores de las industrias minera, metalúrgica, reciclaje de baterías y fabricación de pinturas y los niños son los principales grupos de riesgo. El plomo actúa de manera que suplanta los cationes polivalentes en las maquinarias moleculares del organismo y es posible por la estructura iónica que le facilita el establecimiento de interacciones favorables con los grupos que gestionan los cationes polivalentes en las proteínas. No cabe duda que el plomo es un metal muy útil en el trabajo del humano pero muy peligroso para nuestro cuerpo, es un metal pesado cuya dosis mínima de toxicidad es de 0.5 mg/L (Villa, 2018, p.16-18).

#### 2.6.2.3.4 *Arsénico*

Este elemento se encuentra generalmente de forma trivalente, en estado de oxidación, en forma orgánica e inorgánica, por lo que la principal exposición es mediante agua y alimentos. El arsénico se encuentra frecuentemente en las rocas, la biosfera, la hidrosfera y el suelo. La fuente principal de este metal son los compuestos de tipo agroquímico, la fundición y las actividades mineras, así como también puede ocurrir mediante el estiércol o la meteorización del suelo. Se moviliza mediante una mezcla de reacciones de procesos naturales como la actividad biológica, emisiones volcánicas, meteorización, procesos antropogénicos, minería, uso de pesticidas, combustibles fósiles, aditivos de alimentos, pesticidas, entre otros (Lagos, 2020, p.33-34).

#### 2.6.2.3.5 *Selenio*

Este metal se encuentra escaso en la corteza de la tierra. Sin embargo, se recupera con facilidad de la atmósfera está ampliamente distribuido en el suelo. Las condiciones de óxido-reducción, el pH, la solubilidad de las sales, las interacciones biológicas y las reacciones sintéticas determinarán su concentración en la tierra. La cantidad promedio de selenio presente en los suelos generalmente es menor a 0.2 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que, suelos que contienen concentraciones mayores de 2 mgkg<sup>-1</sup> se clasificarán como seleníferos (Garduño y Márquez, 2018, p.328).

El consumo de concentraciones elevadas de selenio a través de los alimentos puede acarrear enfermedades muy graves como temblores, dificultad para respirar, fallo renal, insuficiencia o ataques cardiacos y también síntomas menores, pero no menos importantes como diarrea, náuseas, erupciones dérmicas, caída de cabello o problemas en el sistema nervioso (National Institutes of Health, 2019, p.2).

#### 2.6.2.3.6 *Mercurio*

Este metal es un potente toxico para el suelo ya que tiene como característica una alta capacidad de biomagnificación y bioacumulación, lo que genera alteraciones genéticas en animales, plantas y microorganismos, incluso alteraciones en el ser humano. A través de los años se ha utilizado cotidianamente en la industria y su impacto tanto en la salud como en el ambiente aumenta cada vez más (Huerta et al. 2018, p.1193).

El mercurio presenta enlaces metálicos muy débiles, por lo que es líquido a presión atmosférica y a 20°C. La intoxicación por este elemento origina afectaciones a nivel pulmonar y gastrointestinal, aparte de afecciones hepáticas, daño renal, teratogénesis y alteraciones reversibles e irreversibles a nivel del Sistema Nervioso Central. Puede ser liberado de forma natural o antropogénica, en cuanto a la primera forma de liberación ocurre mediante la movilización del mercurio de la corteza terrestre por erosión en las rocas o actividad volcánica. De igual forma puede ser liberado a través de actividades relacionadas con la actividad humana mediante el movimiento de impurezas de mercurio en materias primas utilizadas por el hombre (López, 2019, p.8).

#### 2.6.2.4 *Parámetros microbiológicos*

##### 2.6.2.4.1 *Enterobacterias*

Esta familia de bacterias, conocida como *Enterobacteriaceae* se establece por un grupo grande y diverso de bacterias Gram negativas. Generalmente se encuentran en el tubo digestivo, el suelo, el agua y, por ende, en la vegetación; lo cual hace que sean parte de la microbiota intestinal de animales y humanos. El recuento total de enterobacterias se considera uno de los parámetros esenciales para analizar la seguridad e inocuidad alimentaria. Se utiliza como indicador de buenas prácticas de fabricación y también como indicador de contaminación fecal (Castillo, 2018, p.3).

#### 2.6.2.4.2 *Escherichia coli*

Es una bacteria que se localiza normalmente en el intestino humano y en los animales de sangre caliente, la mayoría de sus cepas son inofensivas. Sin embargo, *E. coli* productora de toxina Shiga (STEC) es capaz de provocar graves enfermedades a través del consumo de alimentos. El hombre se infecta por esta bacteria básicamente por el consumo de alimentos contaminados que pueden ser hortalizas y semillas germinadas crudas contaminadas, leche cruda o carne picada cruda o no cocida lo suficiente. STEC fabrica toxinas conocidas como toxinas Shiga por la similitud con las toxinas producidas por *Shigella dysenteriae*. STEC es capaz de crecer en temperaturas con rangos entre 7°C y 50°C, siendo los 37°C la temperatura óptima para su desarrollo. Incluso pueden proliferar en alimentos con un pH de hasta 4.4 o con una actividad de agua mínima de 0.95. Es importante tener en cuenta que esta bacteria se puede destruir con la cocción de alimentos que alcancen temperaturas de 70°C en adelante (OMS, 2018).

*E. coli* es un importante indicador de contaminación fecal en el agua y en la leche, de esta forma, es también un indicador del estado higiénico del alimento (Huerta 2020). Al ser esta bacteria una importante fuente de enfermedades se considera de carácter imperativo buscar mecanismos para poder eliminarla. Por ejemplo, en esta investigación se ha utilizado el riego de lactosuero en las pilas de compostaje como mecanismo de eliminación de microorganismos para poder obtener un compost de calidad.

#### 2.6.2.4.3 *Salmonella*

Es una bacteria Gram negativa cuyo comportamiento es como patógeno anaerobio facultativo que está presente en el intestino de personas y animales sanos. El medio principal de contaminación de alimentos y agua son las heces, puesto que, cuando el patógeno llega a los alimentos frescos tiene la capacidad de multiplicarse rápidamente con el peligro de causar una salmonelosis (infección gastrointestinal) (Mora, 2018, p.111).

La infección causada por *Salmonella spp.* es comúnmente ocasionada mediante intoxicación alimentaria. Aproximadamente afecta cada año a varios millones de personas alrededor del mundo y causa más de 10000 muertes. En vista del alto grado de peligrosidad, se recomienda a las personas mantener una adecuada higiene a la hora del consumo de alimentos puesto que se transmite principalmente por la ingesta de productos contaminados (Marcillo et al. 2019, p.494).



#### 2.6.2.4.3.1 *Enfermedades de transmisión alimentaria*

Constituyen un problema a nivel mundial de gran magnitud, puesto que causan altos índices de morbilidad y mortalidad. Según la OMS, se estima que año tras año en todos los continentes se enferman alrededor de 600 millones de personas por el consumo de alimentos contaminados y aproximadamente 420000 mueren por las mismas razones. Las bacterias que causan enfermedades de transmisión alimentaria se consideran como peligrosas y son *E. coli* enterohemorrágica, *Campylobacter jejuni* y *Salmonella typhimurium* (Chavarría et al. 2019, p.1001).

## 2.7 **Legislación**

### 2.7.1 *Instructivo de la Normativa General para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en Ecuador*

#### 2.7.1.1 *Artículo 18. De la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas*

Tanto la actividad biológica como la fertilidad natural del suelo deberán ser mantenidas e incrementadas por medio de:

- a) La fertilidad y la actividad biológica del suelo deberán ser mantenidas o incrementadas mediante la rotación plurianual de cultivos o asociación de cultivos para el caso de los perennes que comprenda las leguminosas y/u otros cultivos de abonos verdes y la aplicación de estiércol animal o materia orgánica, ambos de preferencia compostados (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).
- h) Para la activación del compost podrán utilizarse preparados adecuados a base de plantas o preparados de microorganismos (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).
- i) Se recomienda para el compostaje del estiércol el seguir cualquiera de los siguientes procedimientos para reducir el riesgo de contaminación microbiológica en el producto final:
  - 1. Se aplique estiércol sin procesos de compostaje para productos no destinados al consumo humano (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).

2. El estiércol se someta a un proceso de compostaje en donde se garantice y registre que la relación C:N de las materias primas se encuentre dentro del rango de 25:1 a 40:1, que a lo largo del proceso de compostaje se den 5 volteos y al menos durante 5 semanas se mantenga dentro de un rango de temperatura de 55°C a 76°C (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).

3. El compost sea sometido a cualquier proceso equivalente cuyos resultados microbiológicos no sobrepasen los 1000 NMP (número más probable) de coliformes fecales por gramo de estiércol procesado y no más de 3 NMP de Salmonella por cada 4 gramos de estiércol procesado (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).

### **2.7.2 Acuerdo ministerial 097**

La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional (Ministerio del Ambiente, 2015).

Determina o establece:

Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua, las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores establecidas en la ley, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos, los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, los permisos de descarga, los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas, los métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua (Ministerio del Ambiente, 2015).

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

#### **a. Consumo humano y uso doméstico.**

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficiales o subterráneas, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como:

a. Bebida y preparación de alimentos para consumo humano, b. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios (Ministerio del Ambiente, 2015).

De ser necesario para alcanzar los límites establecidos en la Norma INEN para agua potable se deben implementar procesos de tratamiento adecuados y que permitan alcanzar eficiencias óptimas, con la finalidad de garantizar agua de calidad para consumo humano (Ministerio del Ambiente, 2015).

**c. Uso Agrícola o de riego.**

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos (Ministerio del Ambiente, 2015).

**2.7.3 Código orgánico del ambiente**

Establece en el artículo 15 de la Constitución del Ecuador el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (COA 2017, p.4).

El artículo 71 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce a la naturaleza el derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (COA, 2017, p.4).

#### **2.7.4 Reglamenteo al código orgánico del ambiente**

Este reglamento registrado oficialmente en el 2019, indica en la Sección 4a el aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos para la industria, en donde habla acerca del aprovechamiento, contenido en el artículo 599 que se verá a continuación:

Art. 599.- Aprovechamiento. - La Autoridad Ambiental Nacional definirá en la norma secundaria correspondiente los parámetros mediante los cuales se determinará si los generadores industriales están obligados o no al cumplimiento del aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos para la industria. En caso de determinarse la obligatoriedad, los generadores industriales deberán establecer e impulsar mecanismos de aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos generados en su actividad productiva, en el cual constaran los sistemas o procesos mediante los cuales los residuos recuperados, dadas sus características, serán reincorporados en el ciclo económico y productivo, por medio del reciclaje, reutilización, **compostaje**, incineración con fines de generación de energía u otras alternativas que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y económicos (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2019, p.126).

Los sistemas o procesos de aprovechamiento deberán considerar los siguientes criterios: realizarse en condiciones ambientales, de seguridad industrial y de salud, de tal manera que se minimicen los riesgos, deberán ser controlados por parte del prestador del servicio público y de las autoridades nacionales, en sus respectivos ámbitos de competencia, ser técnica, financiera, social y ambientalmente sostenibles, la recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos deberá efectuarse según lo establecido en la normativa aplicable; y promover la competitividad mediante mejores prácticas, nuevas alternativas de negocios y generación de empleos. Los mecanismos de aprovechamiento formarán parte del plan de manejo ambiental y los generadores industriales obligados deberán reportar las actividades ejecutadas como parte de los informes ambientales de cumplimiento, informes de gestión ambiental o auditorías de cumplimiento, según el caso (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2019, p.126).

#### **2.7.5 Legislación europea**

En Ecuador y en Sudamérica en general aún no se establecen normativas específicas en cuanto a técnicas de aprovechamiento de residuos y por ende la población desconoce de su importancia. Principalmente en Ecuador que en su mayoría únicamente existen manuales acerca de compostaje, pero no se ahonda en el tema.

A diferencia de países europeos en donde existe un sinnúmero de legislaciones para las técnicas de aprovechamiento de residuos como el compostaje. Es por ello por lo que tras haber realizado una búsqueda bibliográfica se obtuvo la siguiente información:

En la Comunicación de la Comisión sobre los pasos futuros en la gestión de biorresiduos en la Unión Europea (COM (2010) 235)3, la Comisión Europea afirma que el compost y el digestato de los biorresiduos son materiales infrautilizados. La fracción que contiene material biodegradable se composta o se digiere anaeróbicamente, de acuerdo con los métodos que se describen a continuación. Por compostaje y digestión, el volumen del material y su degradabilidad adicional se reducen (estabilización) (Siebert y Gilbert, 2014, p.5).

*Escherichia coli* o enterococos se utilizan como indicadores del proceso de higienización. El estado de higiene del producto se prueba con Salmonella, que debe estar ausente en 5 muestras de 25 g del producto. Según el artículo 32 del Reglamento (CE) n° 1069/2009, los abonos orgánicos (compost y residuos de la producción de biogás) estarán bajo estricto control hasta el uso final de dicho material (Siebert y Gilbert, 2014, p.59).

Las reglas de uso incluyen regulaciones directas como restricciones de dosificación (cantidad admitida de compost por hectárea) y normas indirectas como protocolos de buenas prácticas agrícolas (BPA) y requisitos de condicionalidad en la aplicación agrícola. Estos últimos se refieren principalmente a la fertilización, que debe ejecutarse de manera que considere los nutrientes en el suelo y en el compost, así como la absorción por la planta y manejar la materia orgánica con el objetivo de mantener los suelos en un estado adecuado (Siebert y Gilbert, 2014, p.59).

Las principales restricciones en los países de la UE suelen tener que ver con la cantidad permitida de compost (toneladas de materia seca) con un contenido máximo de metales pesados (clase de compost) que se puede esparcir anualmente, o durante dos a cinco años. El "Anexo 6: Reglamento de uso de compost" proporciona una descripción general de las restricciones vigentes. En algunos casos, el factor que limita las tasas de aplicación no son sólo los metales pesados sino también el contenido de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno (Siebert y Gilbert, 2014, p.59).

**Tabla 3-2:** Requisitos de calidad del producto para compost.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Contenido orgánico mínimo:</b>	15% sobre el peso de materia seca
<b>Estabilidad mínima</b>	15 mmol O <sub>2</sub> /kg materia orgánica/hora
	Ausencia de Salmonella en 50 g de muestra  1000 UFC/g de masa fresca para <i>E. coli</i>
<b>Contenido limitado de malezas viables y propágulos de plantas:</b>	2 semillas de malas hierbas viables por litro de compost
<b>Contenido limitado de impurezas macroscópicas:</b>	0.5 % sobre peso de materia seca para vidrio, metal y plástico > 2 mm a determinar por el método de tamizado en seco.
<b>Contenido limitado de metales pesados y contaminantes orgánicos:</b>	en mg/kg de peso seco. Cadmio: 1.5; cromo: 100; cobre: 100; mercurio: 1; níquel: 50; plomo: 120 y para zinc: 400 mg/kg en peso seco.

Fuente: Siebert y Gilbert, 2014, p.276.

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.



### 3.2 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental ya que la información se obtiene a través del análisis de las variables dependientes, en este caso fueron parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos, modificando la variable independiente en las pilas (lactosuero) para definir si el uso de lactosuero durante el proceso de compostaje permite mejorar la calidad microbiológica y agroquímica del compost. Además, posee un método de investigación cuantitativo donde los parámetros de calidad son cuantificados y comparados mediante métodos estadísticos.

### 3.3 Diseño de las pilas de compostaje

Las pilas de compostaje fueron elaboradas a partir de residuos de haba, maíz y estiércol de vaca con peso de 1 tonelada cada una y con un porcentaje de 60% de maíz correspondiente a 600 kg, 5% de habas correspondiente a 50 kg y 35% de estiércol de vaca correspondiente a 350 kg. Una vez armadas las pilas se regó la pila 1 con agua corriente y la pila 2 con 50% de lactosuero.



**Ilustración 2-3:** Elaboración de las pilas de compostaje.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.4 Unidades experimentales y técnicas de muestreo



### **3.4.1 Unidades experimentales**

Las unidades experimentales correspondieron a dos pilas de compostaje formadas por estiércol de vaca, residuos de haba y maíz, donde la primera pila fue regada con agua corriente y la segunda pila con 50% de lactosuero inicialmente.

### **3.4.2 Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra fue determinado a partir de los volteos requeridos durante las diferentes etapas del proceso de compostaje, tomando un total de 6 muestras de 500 g para realizar pruebas fisicoquímicas y químicas, mientras que para realizar pruebas microbiológicas se tomaron 6 muestras de 50 g de cada una de las pilas de compostaje. Obteniendo un total de 24 muestras correspondientes a la muestra inicial, primer volteo, segundo volteo, tercer volteo, cuarto volteo y muestra final para cada una de las pilas respectivamente.

### **3.4.3 Método de muestreo**

Las muestras fueron tomadas según el método de cuarteo tomando 7 submuestras de diferentes partes de las unidades experimentales, para al final obtener una muestra representativa. Las muestras destinadas a ser utilizadas para análisis y medición de parámetros fisicoquímicos y químicos se tomaron en costales para su posterior tratamiento inicial, en tanto las muestras microbiológicas fueron tomadas en recipientes de orina estériles.



**Ilustración 3-3:** Recolección de muestras.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes  
Alessandro, 2023

#### **3.4.4 Técnicas para la recolección de datos**

Las técnicas para la recolección de datos se basaron en las siguientes determinaciones:

- Caracterización inicial de las materias primas, residuos de haba, maíz y estiércol de vaca, donde se analizaron parámetros de porcentaje de humedad, % MO, pH, CE, C/N, índice de germinación, determinación de macronutrientes P y Ca, micronutrientes Fe y Mn y análisis de metales pesados Ni, Cr, Pb, As, Se y Hg.
- Medición de parámetros fisicoquímicos (pH, CE) y químicos (% MO, C/N, polifenoles, P, Ca, Fe, Mn, Ni, Cr, Pb, As, Se, Hg) y microbiológicos (IG, cuantificación de enterobacterias, *E.coli*, coliformes y determinación de *Salmonella spp.*) en la muestra inicial de desarrollo de las pilas.
- Inspección y monitoreo de los parámetros de control estandarizados para las pilas de compostaje como temperatura, porcentaje de humedad y porcentaje de oxígeno a lo largo de las diferentes etapas del proceso.
- Análisis de los parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos de las muestras finales obtenidas, a fin de determinar la calidad agroquímica y microbiológica del compost.

- Tabulación y análisis estadístico de los resultados obtenidos con ayuda del software Excel e IBM SPSS.
- Todas las técnicas y procedimientos utilizados para tratamiento inicial de las muestras, determinación de parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos fueron aplicadas según el manual de procedimientos establecido en el Laboratorio de investigación del Grupo GAIBAQ.

### **3.4.5 *Medición de parámetros de control del proceso de compostaje en Pilas Windrow***

La medición de los parámetros de control donde la temperatura es el punto crítico durante cada una de las etapas del proceso se realizó diariamente al igual que el control del % de humedad para conocer cuando era necesario regar la pila y % de oxígeno a fin de conocer cuando era requerido un volteo. Estas mediciones fueron realizadas mediante un termómetro digital, higrómetro y oxímetro para suelos, tomando 4 puntos referenciales de cada pila, con la final de seguir las reglamentaciones establecidas en la (European Comission 2014).



**Ilustración 4-3:** Medición de los parámetros de control.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.5 Materiales, equipos y reactivos

#### 3.5.1 *Materiales*

- Tubos para centrífuga de 50 mL
- Gradilla para tubos de centrifuga
- Vasos de precipitación
- Espátula
- Piseta
- Tamiz
- Mortero y pistilo
- Crisoles
- Capsulas de porcelana
- Pipetas automáticas de volumen variable
- Pipetas volumétricas de vidrio
- Micropipeta
- Pera de succión
- Erlenmeyer
- Balones aforados
- Filtro de membrana de 47 mm y 0,45  $\mu\text{m}$
- Cajas Petri
- Embudo Buchner
- Papel filtro
- Papel aluminio
- Tubos de digestión Kjeldahl
- Tubos de ensayo
- Gradillas para tubo de ensayo
- Algodón
- Lámpara de alcohol
- Asa microbiológica
- Placas Petrifilm para el recuento de enterobacterias
- Placas Petrifilm para el recuento de *E.coli* / Coliformes

### **3.5.2 Equipos**

- Balanza analítica
- Microbalanza
- Agitador mecánico
- pH-metro
- Centrifuga
- Conductímetro
- Estufa
- Desecador
- Mufla
- Cabina de extracción
- Reverbero
- Equipo de filtración
- Incubadora
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Espectrofotómetro de absorción UV
- Sistema Kjeldahl
- Autoclave
- Cabina de flujo laminar

### **3.5.3 Reactivos**

- Agua destilada
- Agua destilada-desmineralizada
- Dicromato de potasio 1 N
- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido fosfórico 85%
- Sulfato ferroso 0,5 N
- Difenilamina
- Ácido gálico
- Reactivo Folin-Ciocalteu 2 N
- Etanol 50 %
- Ácido nítrico
- Ácido clorhídrico 10%

- Hidróxido de sodio 0,5%
- Borohidruro de sodio
- Estándar de níquel
- Estándar de plomo
- Estándar de cromo
- Estándar de hierro
- Estándar de manganeso
- Estándar de Arsénico
- Estándar de selenio
- Estándar de calcio
- Estándar de mercurio
- Molibdato de Amonio
- Tartrato de potasio
- Ácido ascórbico
- Ácido bórico
- Sulfato de potasio
- Sulfato de cobre
- Peptona
- Agar *Salmonella Shigella*
- Caldo tetrionato

### **3.6 Preparación inicial de las muestras**

Cada una de las muestras de 500 g obtenidas de las pilas fueron tratadas inicialmente por un proceso de secado y triturado. Para el secado las muestras fueron colocadas en bandejas previamente etiquetadas y llevadas a la estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas, posterior a esto se realizó el triturado de las muestras con la ayuda de un molino y tamizadas con la ayuda de un tamiz de 2 mm, y el resultado obtenido se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético para su posterior análisis. Las muestras de 50 g destinadas a ser utilizadas en análisis microbiológicos se colocaron en bolsas de cierre hermético, previamente etiquetadas para cada una. Estas muestras fueron homogeneizadas mediante un proceso de agitación y mezclado manual de 20 minutos y subsiguiente fueron analizadas.



**Ilustración 5-3:** Muestras microbiológicas en bolsas plásticas son cierre hermético.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### **3.7 Determinación de parámetros de calidad de las pilas**

#### **3.7.1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas**

##### **3.7.1.1 Determinación de pH**

Para la determinación de pH se pesaron 4 g de la muestra previamente tratada y se colocó en un tubo para centrífuga junto con 40 mL de agua destilada, posterior a esto se llevó al agitador mecánico durante 2 horas y se dejó sedimentar, para finalmente medir el pH en el líquido sobrenadante con la ayuda del pH-metro.



**Ilustración 6-3:** Determinación de pH.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo  
Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.1.2 *Determinación de conductividad eléctrica*

Para la determinación de CE se pesaron 4 g de la muestra previamente tratada y se colocó en un tubo para centrifuga junto con 40 mL de agua destilada, posterior a esto se llevó al agitador mecánico durante 2 horas y a la centrifuga por 4 minutos a 1000 rpm, más adelante se filtró el resultado de la centrifuga con papel filtro normal y se midió la CE con ayuda del conductímetro.





**Ilustración 7-3:** Determinación de CE.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo  
Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.2 *Análisis de las propiedades químicas*

#### 3.7.2.1 *Determinación del porcentaje de humedad*

El proceso para la determinación del porcentaje de humedad de la materia prima inicial empezó con la tara los crisoles a 105°C durante 24 horas, posterior a esto se pasaron los crisoles al desecador hasta que alcancen temperatura ambiente, una vez tomado el peso de los crisoles se añadieron 5 g de muestra y se anotó el peso total con todos los decimales, a continuación se colocaron los crisoles en la estufa durante 24 horas a 105°C, transcurrido este tiempo se pesaron los crisoles y finalmente se realizaron los cálculos necesarios según la siguiente formula:

$$\%H = \frac{(\text{peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cápsula} + \text{muestra seca})}{(\text{peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cápsula vacía})} * 100$$

**Ecuación 1-3:** Determinación del porcentaje de humedad



**Ilustración 8-3:** Colocación del crisol en la estufa.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.2.2 *Determinación del porcentaje de materia orgánica*

Para la determinación del porcentaje de materia orgánica primero se tararon los crisoles a 105°C durante 24 horas y pasaron al desecador hasta alcanzar temperatura ambiente, posteriormente se añadieron 3 g de muestra y se anotó el peso con todos los decimales. El crisol fue llevado a la estufa durante dos horas, colocado en el desecador y anotado su peso, para ser llevado a la mufla durante 24 horas a 430°C y finalmente pesar la muestra para realizar los cálculos según la siguiente formula:

$$\%MO = \frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso del crisol vacío})} * 100$$

**Ecuación 2-3:** Determinación del porcentaje de materia orgánica



**Ilustración 9-3:** Colocación del crisol en la mufla.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.2.3 *Determinación de C/N*

Para la determinación de carbono orgánico se pesaron 15 mg de la muestra previamente tratada y se colocaron en un matraz junto con 5 mL de dicromato de potasio 1 N, posterior a esto se añadieron lentamente 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se dejó reposar por 30 minutos, para después añadir 50 mL de agua destilada y desionizada y 5 mL de ácido fosfórico al 85%, finalmente se realizó una titulación utilizando difenilamina como indicador y sulfato ferroso como titulante hasta obtener una coloración verde esmeralda.

Para la determinación de nitrógeno orgánico se colocaron 2 g de la muestra en un tubo Kjeldahl y se registró el peso de este para posteriormente añadir 3.4 g de sulfato de potasio, 0.2 g de sulfato de cobre y 25 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se colocaron los tubos en el digestor y una vez acabada la digestión y alcanzada temperatura ambiente se procedió a la destilación con ayuda del equipo automático, después se añadieron 10 gotas del indicador rojo de metilo y verde de bromocresol para finalmente realizar una titulación con HCl 0.1 N.



**Ilustración 10-3:** Uso del digestor Kjeldahl.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

#### 3.7.2.4 *Determinación de polifenoles*

La determinación de polifenoles se realizó en un extracto acuoso colocando 2 g de la muestra seca junto con 40 mL de agua desionizada en un tubo para centrifuga, posterior a esto se llevó al agitador mecánico por dos horas y a la centrifuga a 3000 rpm por 5 minutos. Después se filtró el resultado con la ayuda de un equipo de filtración al vacío y se prepararon los estándares a partir de una solución de ácido gálico 1000 ppm, añadiendo en cada uno 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 5 mL de carbonato sódico al 20%, posterior a esto se colocó 1 mL del extracto acuoso obtenido anteriormente junto con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 5 mL de carbonato sódico al 20% en un balón de aforo de 50 mL. Una vez colocados los reactivos y aforado los estándares y la muestra se realizó la curva de calibración, para finalmente medir la absorbancia de la muestra en un espectrofotómetro UV visible. La concentración obtenida se transformó a mg/kg según la siguiente fórmula:

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C \text{ mg/L} * \text{Factor Dilución}) * (\text{Volumen muestra} * \frac{1L}{1000 \text{ mL}})}{\text{Peso muestra} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}$$

**Ecuación 3-3:** Transformación de mg/L a mg/kg



**Ilustración 11-3:** Medición de la muestra en el espectrofotómetro UV-VIS.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.2.5 *Tratamiento inicial de digestión ácida*

Las muestras para la determinación de fósforo y metales pesados deben ser tratadas inicialmente mediante un proceso de digestión ácida. Para este método se tomaron 2 g de la muestra seca y se colocaron en un Erlenmeyer de digestión junto con 10 mL de HNO<sub>3</sub> en la cabina de extracción, después se calentó la muestra a 95°C durante 10 minutos sin hervir hasta evaporar la solución por aproximadamente dos horas, posterior a esto y con la muestra a temperatura ambiente se agregaron 2 mL de agua y 3 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, además se añadió 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> continuamente hasta observar un burbujeo mínimo. Se continuó calentando la solución durante dos horas y se

agregaron 10 mL de HCL concentrado, para finalmente filtrar la solución con papel filtro Whatman grado 41.



**Ilustración 12-3:** Colocación de HCl a la solución.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.2.6 *Determinación de macronutrientes*

#### 3.7.2.6.1 *Fósforo*

Para la determinación de fósforo se tomaron 5 mL de la muestra de la digestión ácida y se llevó a un pH de 3 a 3.5 con ayuda de hidróxido de sodio. Por otro lado, se tomó una solución inicial de fosfato monopotásico de 1000 ppm de P para preparar los estándares a concentraciones de 0.1, 0.4, 0.8, 1.5 y 2 ppm, posterior a esto se aforó la solución de la muestra a 50 mL y se tomaron 5 mL de la solución aforada y 5 mL de cada estándar preparado, para añadir 5 mL de la solución de color para fósforo y medir en el espectrofotómetro UV-VIS.



**Ilustración 13-3:** Medición de fósforo en el espectrofotómetro UV-VIS.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

#### 3.7.2.6.2 Calcio

Para realizar la determinación de Ca primero se debió llevar un tratamiento inicial de la muestra, para esto se pesaron 2 g de la muestra seca y tamizada y se colocaron en tubos para centrifuga junto con 50 mL de acetato de antimonio 1 M, después se llevaron al agitador mecánico por 20 minutos y se colocaron en la centrifuga para finalmente filtrar la solución y almacenarla en refrigeración para su posterior determinación.

Una vez realizada la extracción la determinación de calcio se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Ca estándares de 0.5, 1, 2, 4 y 6 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de  $\text{HNO}_3$  al 1 % necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerida anteriormente, obteniendo la concentración de calcio presente en la muestra.



### 3.7.2.7 Determinación de micronutrientes

#### 3.7.2.7.1 Hierro

Para realizar la determinación de hierro primero se debe llevar a cabo un tratamiento inicial de la muestra, para esto se pesaron 4 g de la muestra seca y tamizada y se colocaron en tubos para centrifuga junto con 40 mL de la solución extractora doble ácido (50 mL de HCl 1 M y 2.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mL aforada a 1 L), posterior a esto se llevaron a agitación mecánica por 20 minutos y se colocaron en la centrifuga para finalmente filtrar la solución y almacenarla en refrigeración para su posterior análisis.

La determinación de hierro se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Fe estándares de 0.25, 0.5, 1, 2 y 3 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de HNO<sub>3</sub> al 1 % necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerada anteriormente, obteniendo la concentración de hierro presente en la muestra.



**Ilustración 14-3:** Lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.



### 3.7.2.7.2 *Manganeso*

Para realizar la determinación de manganeso primero se debe llevar a cabo un tratamiento inicial de la muestra, para esto se pesaron 4 g de la muestra seca y tamizada y se colocaron en tubos para centrifuga junto con 40 mL de la solución extractora doble ácido (50 mL de HCl 1 M y 2.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mL aforada a 1 L), posterior a esto se llevaron a agitación mecánica por 20 minutos y se colocaron en la centrifuga para finalmente filtrar la solución y almacenarla en refrigeración para su posterior análisis.

La determinación de manganeso se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Mn estándares de 0.25, 0.5, 1, 2 y 4 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de HNO<sub>3</sub> al 1% necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerida anteriormente, obteniendo la concentración de hierro presente en la muestra.

### 3.7.2.8 *Determinación de metales pesados*

#### 3.7.2.8.1 *Níquel*

La determinación de níquel se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Ni estándares de 0.2, 0.5, 1, 1.5 y 2 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de HNO<sub>3</sub> al 1% necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerida anteriormente, obteniendo la concentración de níquel presente en la muestra.



**Ilustración 15-3:** Preparación de la solución de  $\text{HNO}_3$  1%.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

#### 3.7.2.8.2 Cromo

La determinación de cromo se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Cr estándares de 0.3, 0.5, 1, 1.5 y 2 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de  $\text{HNO}_3$  al 1% necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerada anteriormente, obteniendo la concentración de cromo presente en la muestra.

#### 3.7.2.8.3 Plomo

La determinación de plomo se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Pb estándares de 0.3, 0.6, 0.9, 1.5 y 3 ppm. Además, se prepararon 250 mL de una solución de  $\text{HNO}_3$  al 1% necesarios para aforar a 50 mL los estándares. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra digerada anteriormente, obteniendo la concentración de plomo presente en la muestra.

#### 3.7.2.8.4 *Arsénico*

Para la determinación de arsénico primero se debió preparar una solución reductora formada de 10% de yoduro de potasio y 10% de ácido ascórbico. Una vez preparada la solución reductora se tomaron 16 mL de la muestra digestada anteriormente y se adicionaron 2 mL de la solución reductora y 2 mL de ácido clorhídrico. Asimismo, se prepararon soluciones de 0.5% de hidróxido de sodio y de 0.6% borohidruro de sodio para la lectura en el equipo de absorción atómica.

La determinación de arsénico se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de As estándares de 0.005, 0.01, 0.02, 0.04 y 0.05 ppm siguiendo las mismas adiciones que las muestras. Además, los estándares se aforaron a 50 mL con agua ultrapura. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra preparada anteriormente, obteniendo la concentración de arsénico presente en la muestra.

#### 3.7.2.8.5 *Selenio*

Para la determinación de selenio se tomaron 5 mL de la muestra digestada y se adicionaron 5 mL de ácido clorhídrico concentrado, después se calentó a baño maría a 90°C por 30 minutos. Además, se prepararon soluciones de 10% de ácido clorhídrico y de 0.5% de hidróxido de sodio + 0.6% de borohidruro de sodio para la lectura del equipo. La determinación de selenio se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Se estándares de 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 y 0.05 ppm siguiendo la misma adición de HCl para cada estándar. Asimismo, los estándares se aforaron a 50 mL con agua ultrapura. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra preparada anteriormente, obteniendo la concentración de selenio presente en la muestra.

#### 3.7.2.8.6 *Mercurio*

Para la determinación de mercurio primero se debieron preparar soluciones de ácido clorhídrico al 10% y una solución al 0.5% de hidróxido de sodio + borohidruro de sodio al 0.6% para la lectura en el equipo. La determinación de mercurio se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros, para ello fue necesario preparar a partir de una solución madre de 1000 ppm de Hg estándares de 0.005, 0.01, 0.02, 0.03 y 0.04 ppm. Además, los estándares se aforaron a 50 mL con agua acidulada al 1% de HCl. Después de leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica y obtener la curva de calibración de manera automática en el equipo, se leyó la muestra preparada anteriormente, obteniendo la concentración de mercurio presente en la muestra.



**Ilustración 16-3:** Preparación de la solución de HCl 10%.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.3 *Análisis de las propiedades biológicas*

#### 3.7.3.1 *Determinación del índice de germinación*

Para la determinación del índice de germinación se pesaron 2 g de la muestra seca y tamizada y se preparó una dilución de las muestras 1:15, colocando inicialmente 3 mL de agua desionizada y se esperaron 30 minutos, para posteriormente colocar 27 mL y llevar al agitador orbital por 30 minutos. Después las diluciones de las muestras se colocaron en la centrifuga a 4000 rpm por 10 minutos y se filtraron al vacío las soluciones con la ayuda de filtros de membrana 0.45  $\mu\text{m}$ . A

continuación, en cajas Petri cubiertas de papel filtro se colocaron 8 semillas de berro y se añadieron 2 mL del extracto obtenido en cada una, obteniendo un total de 10 repeticiones por cada muestra. Las cajas Petri cubiertas de papel aluminio fueron llevadas a la incubadora a 27.5°C por 28 horas, una vez transcurrido el tiempo de incubación se retiraron las cajas Petri y se colocó 1 mL de una solución 1:1 etanol y agua para detener el crecimiento de las plantas. Por último, se retiraron las semillas y se colocaron en una hoja para cuantificar el número de semillas germinadas y la longitud de sus raíces. Los resultados obtenidos expresados en porcentaje se obtuvieron según la siguiente ecuación:

$$\%IG = \frac{\%GERMINACIÓN * \%CRECIMIENTO RAICES}{100}$$

**Ecuación 4-3:** Cálculo del porcentaje de índice de germinación



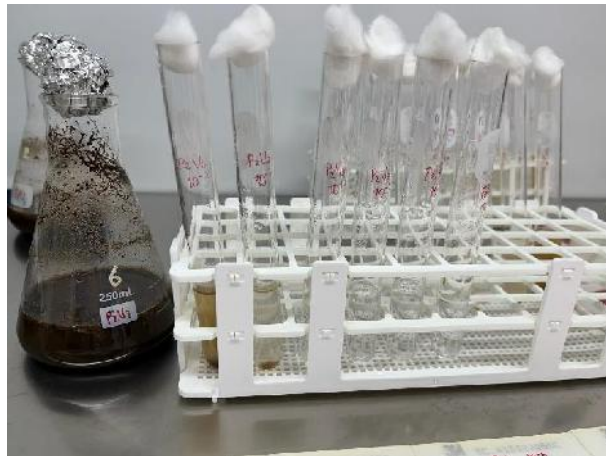
**Ilustración 17-3:** Cajas Petri con semillas de berro.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### **3.7.4** *Análisis de los parámetros microbiológicos*

#### **3.7.4.1** *Método de diluciones sucesivas*

Para realizar los análisis microbiológicos primero se debieron llevar a cabo diluciones sucesivas con la finalidad de lograr obtener placas donde sea posible realizar un recuento bacteriano. Para esto se siguió el procedimiento instaurado en la norma ISO-6887-1. Siguiendo la normativa se preparó una solución de peptona al 0,1% necesaria para realizar las diluciones, en un matraz se colocaron 90 mL del agua de peptona al 0,1 % y 9 mL en 6 tubos para las diluciones  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  y  $10^{-7}$  respectivamente. A continuación, los tubos y el matraz fueron llevados a la autoclave colocando el programa 7 para líquidos en el equipo. Después se añadieron 10 g de la muestra tomada en recipiente estériles para obtener una dilución  $10^{-1}$  y se homogeneizo realizando movimientos circulares por aproximadamente 30 segundos. Finalmente se tomó 1 mL de la dilución  $10^{-1}$  y se colocó en el tubo de la dilución  $10^{-2}$  agitando suavemente y así sucesivamente hasta llegar a la dilución  $10^{-7}$ . Los materiales utilizados en el procedimiento fueron autoclavados previamente y el procedimiento se realizó en la cabina de flujo laminar para evitar posibles contaminaciones (International Organization for Standardization 2017, p.11).



**Ilustración 18-3:** Diluciones sucesivas.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes

Alessandro, 2023.

#### 3.7.4.2 *Cuantificación de Enterobacterias*

El recuento de Enterobacterias se realizó en placas petrifilm para el recuento de Enterobacterias, primero se colocó la placa en una superficie plana y nivelada y se levantó la película superior, después se tomó 1 mL de cada una de las diluciones y se colocó en forma perpendicular en el centro de las placas etiquetadas previamente, a continuación, se bajó con cuidado la película superior para evitar la formación de burbujas de aire. Mas adelante se situó el dispersor sobre

cada una de las películas y se presionó suavemente. Finalmente, las placas se colocaron una sobre otra y fueron llevadas a la incubadora por 24 horas a 35°C según AOAC método oficial de análisis OMA 2003.01. La lectura de las placas después de la incubación se realizó de acuerdo con la guía de interpretación de placas petrifilm para el recuento de enterobacterias (3M, 2017, p.1-6).

El cálculo de las UFC/g se realizó según la siguiente fórmula:

$$UFC/g = \frac{NC * FDD}{Vs}$$

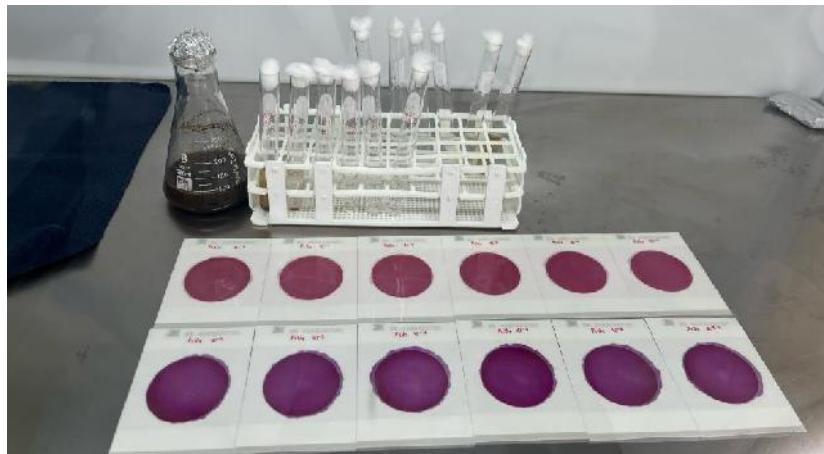
**Ecuación 5-3:** Cálculo para el recuento de enterobacterias

Donde:

**NC:** Número de colonias en la última placa que cumpla el rango (15-100)

**FDD:** Factor de dilución

**Vs:** Volumen de siembra



**Ilustración 19-3:** Siembra de Enterobacterias en petrifilm.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 3.7.4.3 Cuantificación de *E. coli* / Coliformes

El recuento de *E. coli* / Coliformes se realizó en placas petrifilm para el recuento de *E. coli* / Coliformes, primero se colocó la placa en una superficie plana y nivelada y se levantó la película superior, después se tomó 1 mL de cada una de las diluciones y se colocó en forma perpendicular

en el centro de las placas etiquetadas previamente, a continuación, se bajó con cuidado la película superior para evitar la formación de burbujas de aire. Mas adelante se situó el dispersor sobre cada una de las películas y se presionó suavemente. Finalmente, las placas se colocaron una sobre otra y fueron llevadas a la incubadora por 24 horas a 35°C para coliformes y por 48 horas a 35°C para *E.coli* según AOAC método oficial 991.14. La lectura de las placas después de la incubación se realizó de acuerdo con la guía de interpretación de placas petrifilm para el recuento de *E. coli* / Coliformes (3M, 2015, p.1-6).

El cálculo de las UFC/g se realizó según la siguiente fórmula:

$$UFC/g = \frac{NC * FDD}{Vs}$$

**Ecuación 6-3:** Cálculo para el recuento de *E. coli* / Coliformes

Donde:

**NC:** Número de colonias en la última placa que cumpla el rango (15-150)

**FDD:** Factor de dilución

**Vs:** Volumen de siembra



**Ilustración 20-3:** Siembra en petrifilm para el recuento de *E.coli* / Coliformes.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.



#### 3.7.4.4 Determinación de *Salmonella spp.*

La determinación de *Salmonella spp.* se realizó según la normativa ISO-6579-1, donde primero se llevó a cabo un pre-enriquecimiento en un medio líquido no selectivo, para esto se preparó una solución de 225 mL agua peptonada tamponada siguiendo las indicaciones del envase, para cada una de las muestras y se colocó en un Erlenmeyer junto con 25 g de la muestra tomada en recipientes estériles, a continuación, los matraces fueron llevados a la incubadora por 18 horas a 37°C. Una vez terminado el tiempo de incubación se realizó un enriquecimiento selectivo preparando caldo tetracionato, se colocaron 10 mL del caldo preparado en 3 tubos de ensayo para cada muestra junto con 1 mL del cultivo pre-enriquecido y se llevó a incubación por 24 horas a 37°C (International Organization for Standardization, 2017, p.4-5).

Para la siembra de *Salmonella spp.* se preparó agar *Salmonella Shigella* siguiendo las indicaciones del envase y tomando en cuenta que cada caja Petri requiere de 10 mL de agar. Una vez terminado el tiempo de incubación del enriquecimiento selectivo se sembró con la ayuda de un asa bacteriológica, cada una de las muestras en las cajas Petri etiquetadas previamente por el método de siembra en estría, y se llevaron a la incubadora por 24 horas a 37°C. Finalmente una vez transcurridas las 24 horas se leyeron cada una de las placas indicando presencia si las colonias presentaban una coloración negra y ausencia si no existían colonias con estas características. Los materiales utilizados en el procedimiento fueron autoclavados previamente y el procedimiento se realizó en la cabina de flujo laminar para evitar posibles contaminaciones (International Organization for Standardization, 2017, p.5).



**Ilustración 21-3:** Siembra de *Salmonella spp.* en agar SS

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

## CAPÍTULO IV

### 4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización inicial de los residuos

##### 4.1.1 Caracterización fisicoquímica de los residuos

**Tabla 4-4:** Caracterización fisicoquímica de los residuos

Muestra	Materia seca (%)	pH	CE (ds/m)
Maíz	78.82	4.84	3.42
Haba	85.17	4.96	5.52
Estiércol	77.68	7.79	6.06

CE: conductividad eléctrica

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

##### 4.1.1.1 Porcentaje de materia seca

Según Escobar et al. (2020, p.1) la materia seca es la parte que queda del forraje fresco que puede ser ensilaje, heno o granos, a la que se le ha extraído el agua mediante secado forzado. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 4-4) se puede observar que los porcentajes de materia seca de los residuos de maíz, haba y estiércol son valores altos que superan el 75% en todos los casos, lo que significa niveles de agua bajos entonces al existir menor humedad se facilitará el intercambio gaseoso y el aporte de oxígeno en el proceso de compostaje.

##### 4.1.1.2 pH

Según Sepúlveda, Tapia y González (2011, p.35) el pH influye directamente en el compostaje por su papel en la dinámica de los procesos microbianos, existiendo una relación directamente proporcional. En procesos de compostaje se puede observar una descomposición satisfactoria de la materia cuando durante el proceso el pH se mantiene superior a 7.5. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 4-4) se puede observar que el maíz, el haba y el estiércol vacuno presentan una media de pH de 4.84;4.96 y 7.79 respectivamente. Por lo cual, la mezcla de estos residuos conllevaría a la obtención de un pH idóneo que favorezca el proceso de compostaje, resaltando que el estiércol de vaca es el residuo con el pH más cercano, lo que además demuestra la importancia de su aplicación en estos procesos.

#### 4.1.1.3 CE

Según Ramos (2021, p.11) la conductividad eléctrica es un parámetro que permite conocer la mineralización de los residuos, y tiende a incrementarse durante el proceso de compostaje. Los valores idóneos de CE al final del proceso deben ser inferiores a 6ds/m de acuerdo con la legislación de la Normativa Española. Con base a lo expuesto anteriormente en la (Tabla 4-4) se puede observar que efectivamente los residuos utilizados para el proceso de compostaje cumplen satisfactoriamente con este parámetro puesto que se determinaron valores de 3.42; 5.52 y 6.06 para los residuos de maíz, haba y estiércol respectivamente. El estiércol vacuno presenta una CE un poco superior a la ideal, sin embargo, al ser una variación leve no afecta al proceso.

#### 4.1.2 Caracterización química de los residuos

**Tabla 5-4:** Caracterización química de los residuos

Muestra	MO (%)	Corg (%)	N <sub>T</sub> (%)	C/N	% IG
Maíz	91.26	43.65	0.74	59.45	0.80
Haba	88.58	41.08	3.32	12.40	0.00
Estiércol	77.71	40.95	2.16	19.05	45.70

MO: Materia orgánica; Corg: Carbono orgánico; N<sub>T</sub>: Nitrógeno total; C/N: Relación carbono nitrógeno; IG: Índice de germinación

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

##### 4.1.2.1 Porcentaje de materia orgánica

Román, Martínez y Pantoja (2013, p.20) mencionan que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que vuelve al suelo luego de un proceso de descomposición microbiana. Y una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que contiene nutrientes disponibles y de liberación lenta que son útiles para la nutrición de las plantas. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 5-4) se puede observar que los porcentajes de MO de los residuos de maíz, haba y estiércol son elevados por lo que su utilización en el proceso de compostaje sirve como un gran aporte de materia orgánica dando como resultado un compost de alto valor.

#### 4.1.2.2 C/N

Según Gamarra et al. (2018, p.7) la relación C/N es un parámetro que permite conocer la tasa de nitrógeno disponible para las plantas; valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales. Mientras que, valores entre 10 y 14 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 5-4) la media de la relación C/N para los residuos fue de 59.45; 12.40 y 19,05 para el maíz, el haba y el estiércol respectivamente. Se demuestra que como los residuos de maíz contienen una relación C/N muy alta su proceso de descomposición será más lento en comparación con los residuos de haba y estiércol que al tener niveles adecuados enmarcados entre 10 y 14 su proceso de compostaje se produce de mejor manera.

#### 4.1.2.3 Índice de germinación

Según Rodríguez et al. (2014, p.311) el IG es un indicador de la interacción de los factores que promueven o inhiben la germinación, así como los respectivos factores que favorecen o impiden el crecimiento de la radícula. Con base a lo expuesto anteriormente se puede observar que el porcentaje de índice de germinación de los residuos de maíz y haba son muy bajos lo que quiere decir que contienen componentes fitotóxicos que inhiben la germinación de la semilla mientras que el porcentaje de índice de germinación del estiércol de vaca es elevado, demostrando que las características de este residuo promueven la germinación de la semilla favoreciendo el crecimiento de la radícula.

#### 4.1.3 Caracterización de los macro y micronutrientes de los residuos

**Tabla 6-4:** Caracterización de los macro y micronutrientes de los residuos

Muestra	P(mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)
Maíz	3.05	2579.00	26.50
Haba	3.85	8594.00	44.50
Estiércol	7.47	14344.50	93.00

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

#### 4.1.3.1 Fósforo

En la (Tabla 6-4) se puede observar las concentraciones de fósforo en mg/kg determinados de cada residuo, destacando el estiércol de vaca con un valor mayor de 7.47 mg/kg en comparación a los residuos de maíz y haba. Es por ello que García (2014, p.3) menciona que los estiércoles son utilizados como fuentes externas de fósforo para el suelo ya que es uno de los macronutrientes esenciales para el correcto crecimiento, calidad y productividad de los cultivos. Además, debido a su importancia se ha potenciado la reutilización del fósforo contenido en los residuos orgánicos que constituyen la materia prima para los procesos de compostaje que darán como resultado un compost con las concentraciones de fósforo adecuadas para el suelo y los cultivos.

#### 4.1.3.2 Calcio

Según Ituyan y Rivera (2009, p.22) el calcio es un macronutriente que se encarga de la estimulación del desarrollo de hojas y raíces. Además, tiene influencia directa en el rendimiento al mejorar las condiciones de las raíces, disminuyendo la solubilidad y toxicidad del Mn, Cu y Al, aumentando la disponibilidad del Mb y la absorción de otros nutrientes, también estimula la actividad microbiana como en el caso de las bacterias fijadoras de nitrógeno las cuales requieren calcio en grandes cantidades. Cuando existe deficiencia de calcio las plantas presentan un pobre crecimiento de brotes terminales y tejidos apicales de sus raíces. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 6-4) se puede apreciar que los residuos utilizados para el proceso de compostaje presentan altas concentraciones de calcio y en mayor proporción el estiércol vacuno, lo cual confirma la acertada utilización de estos residuos para obtener un compostaje que le aporte al suelo los nutrientes tan necesarios como lo es el calcio.

#### 4.1.3.3 Manganeso

Gómez, López y Cifuentes (2006, p.341) en su estudio mencionan que el manganeso es un catión que se encuentra presente en las plantas involucrado en procesos de activación de las enzimas fosfotransferasa, deshidrogenasas y fosfomutatas. Interviene en la síntesis de clorofila y en sistemas de oxido-reducción del proceso de fotosíntesis, por lo que, es esencial en el proceso de respiración, la síntesis de proteínas, el metabolismo del nitrógeno y azúcares. Además, plantas con contenidos adecuados de este elemento tienen a presentar una mayor fotosíntesis neta. Con lo expuesto anteriormente en la (Tabla 7-4) se puede observar que los residuos de maíz, haba y estiércol utilizados para la formación de pilas de compostaje presentan concentraciones de

manganeso razonables y con la mezcla de estos residuos se podrá obtener un compost capaz de aportar este micronutriente al suelo debido a la importancia que representa para los cultivos.

#### 4.1.4 Caracterización de los metales pesados de los residuos

**Tabla 7-4:** Caracterización de los metales pesados de los residuos

Muestra	Cr (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	As(mg/Kg)	Se (mg/Kg)	Hg(mg/Kg)
Maíz	19.50	8.00	0.20	1.01	< 0,05
Haba	31.00	23.00	0.59	<0.1	0.33
Estiércol	85.50	13.00	0.50	0.75	0.05

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

##### 4.1.4.1 Cromo

Según Quinapanta (2017, p.22) el cromo es un metal pesado que en elevadas concentraciones puede provocar un menor crecimiento y productividad de las plantas ya que produce alteraciones nutricionales de absorción y translocación de distintos elementos esenciales. Por lo que, en la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente promulgado en el año 2003, en el libro VI de Calidad Ambiental, Anexo 2 de la Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, en lo referente a la calidad del suelo indica que son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante en el suelo, en donde el límite permisible de cromo es de 20 mg/Kg. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 7-4) se puede observar que la concentración de cromo en los residuos de maíz se encuentra dentro del límite permisible con un valor de 19.50 mg/Kg, mientras que los residuos de haba y estiércol presentan concentraciones mayores a 30 mg/Kg.

##### 4.1.4.2 Níquel

Según Muñiz et al. (2015, p.26) el níquel es un elemento esencial para las plantas superiores, como cofactor de la enzima ureasa y por su efecto en la nodulación de las leguminosas y en la nitrificación y mineralización del nitrógeno. Sin embargo, su exceso en forma disponible a las plantas puede ser tóxico, y por tal motivo es considerado como un metal pesado. La concentración de níquel total en los suelos del mundo varía entre 0.2 y 450 mg/Kg y su contenido medio entre 19 y 22 mg/Kg. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 7-4) se puede observar que las concentraciones de níquel presente en los residuos de maíz, haba y estiércol no excede el contenido medio y además según la Legislación española en un compost de clase A se permiten

hasta concentraciones de níquel de 25 mg/Kg. Demostrando así que los residuos utilizados cumplen con los requerimientos para producir un compost de calidad.

#### *4.1.4.3 Arsénico*

En el Manual Técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola, Suárez (2020, p.25) menciona que el límite máximo permitido de arsénico es de 40 mg/Kg en productos utilizados en cultivos como lo es el compost. Por lo que, con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 7-4) se demuestra que la concentración de arsénico en los residuos utilizados para el proceso de compostaje cumple con el límite permisible de arsénico e incluso presentan concentraciones muy bajas de este metal pesado.

#### *4.1.4.4 Selenio*

Según Acosta (2007, p.31) el selenio es un metal pesado que cumple con funciones biológicas esenciales para los mamíferos y algunas plantas. Sin embargo, puede existir una toxicidad de moderado a alto cuando los niveles de selenio en el suelo van de 5-30 mg/Kg. Este elemento puede ser dañino para los animales cuando se encuentra en el forraje y está disponible para las plantas cuando la acidez del suelo es baja. Con base en lo mencionado anteriormente en la (Tabla 7-4) se puede observar que las concentraciones de selenio en los residuos de maíz, haba y estiércol son bajas y no superan en el rango establecido para considerar una posible toxicidad de grado moderado a alto, por lo que se demuestra que los residuos utilizados para la elaboración de pilas de compostaje se encuentran dentro de los parámetros permisibles en cuando a la presencia de dicho metal pesado.

#### *4.1.4.5 Mercurio*

Fernández (2018, p.24) en su trabajo de fin de máster titulado “Determinación y seguimiento de metales pesados en componentes de origen del compost” menciona que el límite máximo de metales pesados como el mercurio en productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal para que sean catalogados como Clase A, deberán presentar una concentración máxima de 0.4 mg/kg de mercurio. Con base en lo expuesto anteriormente en la (Tabla 7-4) se puede demostrar que los residuos de maíz, haba y estiércol de vaca utilizados para

la elaboración de las pilas de compostaje cumplen con los requisitos y posibilitarán la obtención de un compost de Clase A puesto que ningún residuo excede el límite máximo establecido.

#### 4.2 Análisis de la evolución de los parámetros fisicoquímicos

**Tabla 8-4:** Evolución de parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje

Muestra	pH	CE (ds/m)	MO (%)	N <sub>T</sub> (%)	C/N
<i>Pila 1: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol</i>					
<b>P1-ARM</b>	7.56 a	4.09 a	83.8 d	1.29 a	35.01 f
<b>P1-V1</b>	7.83 a	4.89 b	77.81 c	1.51 a	26.61 e
<b>P1-V2</b>	8.24 a	5.98 c	73.27 b	1.53 a	23.06 d
<b>P1-V3</b>	7.83 a	6.1 d	69.42 a	2.18 b	17.72 c
<b>P1-V4</b>	8.55 a	6.18 e	69.34 a	2.65 c	14.46 b
<b>P1-MAD</b>	8.00 a	6.87 f	69.67 a	3.06 d	12.36 a
<b>F-ANOVA</b>	<b>2<sup>NS</sup></b>	<b>20391***</b>	<b>633***</b>	<b>168***</b>	<b>694***</b>
<i>Pila 2: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol + lactosuero</i>					
<b>P2-ARM</b>	7.70 d	4.28 a	84.14 e	1.35 a	30.96 e
<b>P2-V1</b>	6.85 a	4.92 b	77.37 d	1.62 ab	25.75 d
<b>P2-V2</b>	7.25 c	5.63 c	74.13 c	1.84 bc	22.44 c
<b>P2-V3</b>	6.82 a	6.71 d	71.50 b	2.01 c	18.08 b
<b>P2-V4</b>	7.13 b	7.02 e	71.8 b	2.83 d	12.76 a
<b>P2-MAD</b>	8.02 e	7.31 f	70.76 a	3.19 e	11.54 a
<b>F-ANOVA</b>	<b>446***</b>	<b>135265***</b>	<b>849***</b>	<b>91***</b>	<b>160***</b>

\*\*\* y NS: significancia a P<0.001 y no significancia, respectivamente.

Valores en la fila seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo con el test de Tukey b a P<0.05.

P1-ARM: Pila 1 muestra inicial; P2-ARM: Pila 2 muestra inicial; P1-MAD: Pila 1 muestra final; P2-MAD: Pila 2 muestra final

Para más abreviaturas dirigirse a la (Tabla 5-4)

**Realizado por:** Berneo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

El análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje como se puede evidenciar en la (Tabla 8-4) se realizó mediante el software estadístico SPSS, con la finalidad de comparar grupos de datos e identificar medias diferentes. Al analizar los datos de la pila 1 y pila 2 mediante ANOVA de un factor y obteniendo el estadístico F se puede evidenciar que a excepción del pH en la pila 1 los datos son significativamente diferentes.



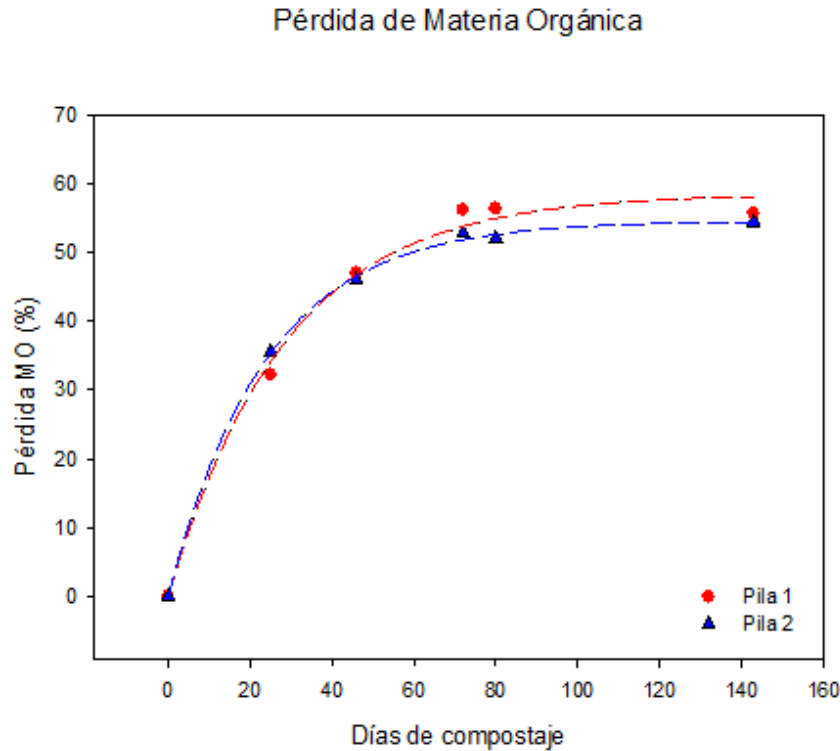
#### **4.2.1 pH**

Según Román, Martínez y Pantoja (2013, p.31) el pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase desde 4.5 a 8.5 y es de vital importancia para la supervivencia, crecimiento y multiplicación de los distintos microorganismos, determinando que la mayor actividad microbiana se produce a pH 6.0-7.5 y la mayor actividad antifúngica a pH 5.5-8.0. En base a lo expuesto anteriormente, y demostrando que el pH obtenido durante el proceso de compostaje de la pila 1 y 2 respectivamente durante cada una de las fases se encuentra dentro de los rangos establecidos, se puede determinar que el proceso de higienización de ambas pilas se dio de manera adecuada, debido al correcto rango de pH existente durante todo el proceso de compostaje, permitiendo el crecimiento y multiplicación de microorganismos responsables de dicho proceso.

#### **4.2.2 CE**

En la (Tabla 8-4) se observan los valores iniciales de CE en el armado de las pilas correspondientes a 4.09 y 4.28 ms/cm para la pila 1 y 2 respectivamente, con un valor final en el compost maduro de 6.87 y 7.31 ms/cm. Según Bueno, Díaz y Cabrera (2017, p.8) la conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, principalmente por su concentración de sales. Además, mencionan que la CE tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, mismo hecho que produce un aumento en la concentración de nutrientes. A partir de lo mencionado, el aumento relativamente mayor de CE en la pila 2 se debe a la gran cantidad de sales presentes en el lactosuero añadido en el armado de la pila.

### 4.2.3 Evolución de la pérdida de materia orgánica



**Ilustración 22-4:** Evolución de la pérdida de materia orgánica en el proceso de compostaje.

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

Los valores de materia orgánica disminuyeron durante todo el proceso de 83.8% y 84.14% a 69.67% y 70.76% respectivamente para la pila 1 y 2. En la (Ilustración 22-4) se puede observar una mayor pérdida de materia orgánica en la fase bio-oxidativa y el menor porcentaje de pérdida en la fase de maduración del compost llegando a una estabilidad de la pérdida. Gavilanes et al. (2016, p.4) obtuvo valores similares de degradación de la materia orgánica, indicando que la mayor pérdida de materia orgánica en la fase bio-oxidativa se debe a la alta temperatura y máxima actividad microbiana alcanzada durante esta etapa. Además, menciona que la disminución de la pérdida de materia orgánica en la fase de maduración del compost se debe a la estabilidad alcanzada por los productos tras la fase bio-oxidativa. Según Idrovo et al. (2018, p.7) la pérdida de la materia orgánica durante el proceso de compostaje se ajusta a una ecuación de cinética de primer orden obteniendo valores entre 54.5-83.8% para A (máxima degradación de MO) y para k valores de 0.0085-0.0598 días<sup>-1</sup>. En la (Ilustración 22-4) se observan los modelos de degradación de materia orgánica ajustados a una cinética de primer orden donde se obtuvieron valores

similares a Idrovo et al. (2018, p.7) con un valor A de 58.4780 y 54.5242% para la pila 1 y 2 respectivamente y un valor k de 0.0350 y 0.0418.

#### 4.2.4 C/N

Los valores iniciales de C/N observados en la (Tabla 8-4) de 35.01 y 30.96 para la pila 1 y 2 respectivamente disminuyeron significativamente hasta la etapa de maduración para obtener valores de 12.36 y 11.54. Según Delgado et al. (2019, p.4) la disminución de C/N se atribuye a los microorganismos que actúan sobre la MO consumiendo el carbono presente en la mezcla. Camacho et al. (2018, p.9) menciona que los rangos óptimos de la C/N que permite la evolución adecuada del proceso deben encontrarse entre 10.1-15.1.

### 4.3 Análisis de la evolución de los parámetros tóxicos

**Tabla 9-4:** Evolución de los parámetros tóxicos del proceso de compostaje

Muestra	Polifenoles (mg/kg)	IG (%)
<i>Pila 1: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol</i>		
P1-ARM	8265.66 f	61.08 a
P1-V1	5061.75 c	67.35 a
P1-V2	5565.03 d	71.21 a
P1-V3	4210.14 b	83.7 b
P1-V4	4311.82 b	98.22 c
P1-MAD	3381.25 a	95.46 c
<b>F-ANOVA</b>	<b>2694***</b>	<b>29***</b>
<i>Pila 2: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol + lactosuero</i>		
P2-ARM	6918.92 e	46.97 a
P2-V1	5120.73 d	61.94 ab
P2-V2	3466.97 b	70.51 bc
P2-V3	3506.98 b	77.01 bcd
P2-V4	3735.71 c	92.82 d
P2-MAD	3119.7 a	86.64 cd
<b>F-ANOVA</b>	<b>2439***</b>	<b>17***</b>

\*\*\* y NS: significancia a  $P < 0.001$  y no significancia, respectivamente.

Valores en la fila seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo con el test de Tukey b a  $P < 0.05$ .

Para más abreviaturas dirigirse a la (Tabla 5-4)

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

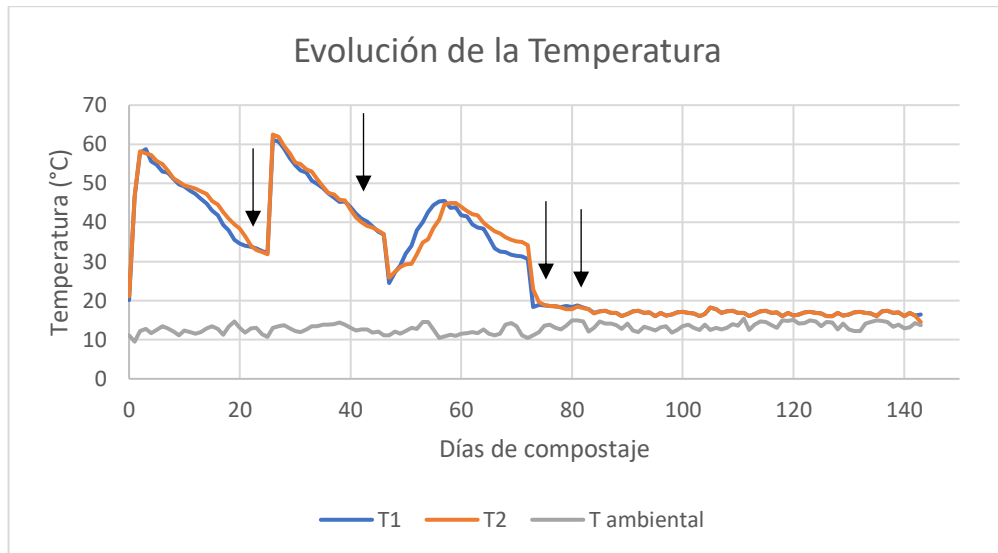
#### **4.3.1 Polifenoles**

En la (Tabla 9-4) se observan los datos de polifenoles con valores iniciales de 8256.66 y 6918.92 mg/kg para la pila 1 y 2 respectivamente. García y Fernández (2014, p.9) indican que en los dos primeros meses de la fase bio-oxidativa se produce un descenso considerable de entre el 50-75% del contenido de polifenoles. Además, de indicar que diversos tratamientos de riego para los compost diferentes de agua de riego producen una mayor degradación de polifenoles. Con lo expuesto anteriormente, se puede justificar el mayor descenso de polifenoles en la fase bio-oxidativa de la pila 2 regada con lactosuero, pasando a valores de 3466.97 mg/kg para el volteo 2 a diferencia de la pila 1 con un valor de 5565.03 mg/kg para el mismo volteo. Idrovo et al. (2018, p.8) menciona que la fitotoxicidad del compost está relacionado con la cantidad de polifenoles hidrosolubles, por lo que es importante que durante el proceso de compostaje el contenido total de polifenoles presente un descenso del 75-63% al final de la fase termofílica.

#### **4.3.2 Índice de germinación**

La (Tabla 9-4) indica valores iniciales del IG correspondientes a 61.08 y 46.97% para la pila 1 y 2 respectivamente. Varnero, Rojas y Orellana (2007, p.35) mencionan que si  $IG \leq 50\%$  indicaría una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas posiblemente debido a los residuos de formación de la pila o inmadurez del compost final. Una vez iniciada la etapa de maduración del compost se obtuvieron valores de 95.46 y 86.64% para la pila 1 y 2 respectivamente. Gavilanes et al. (2016, p.5) también mencionan que bajos valores iniciales del IG se deben posiblemente a la alta salinidad y presencia de polifenoles solubles en las mezclas iniciales, lo que podría encontrarse relacionado con los bajos niveles iniciales de la pila 2 por la presencia de una alta salinidad debida a la adición de lactosuero. Además, mencionan que un IG mayor al 50% en el compost final indica la seguridad para su uso en agricultura sin efectos fitotóxicos.

#### 4.4 Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje



**Ilustración 23-4:** Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

En la (Ilustración 23-4) se puede observar el registro de temperaturas elevadas superiores a 40°C en la parte inicial del proceso de compostaje, lo cual según Pedraza y Hernández (2019, p.53) se debe a la actividad que producen los microorganismos al usar el carbono y nitrógeno para generar calor. La temperatura máxima alcanzada en la fase termófila en la Pila 1 fue de 60.7°C y de 61.8°C en la Pila 2 después de 26 días de compostaje. En el día 80 de compostaje se tomó la decisión de realizar un volteo con la finalidad de que las temperaturas bajen hasta temperatura ambiente para que inicie la fase de maduración y se logre la obtención de compost. Además, se puede observar que tanto en la Pila 1 y Pila 2 se lograron temperaturas superiores a 55 °C durante más de una semana, lo cual según Gavilanes et al. (2016, p.129) permite la reducción de patógenos para obtener un compost enmarcado en los requisitos europeos acerca del saneamiento del compost.

#### 4.5 Evolución del crecimiento bacteriano en el proceso de compostaje

**Tabla 10-4:** Evolución del crecimiento bacteriano en el proceso de compostaje

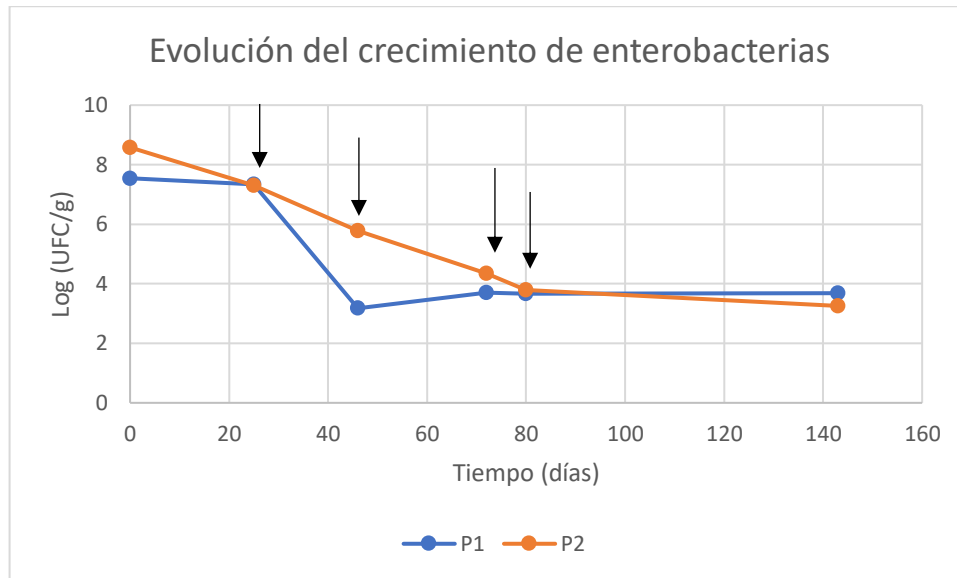
Muestra	UFC/g			
	Enterobacterias	<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>Salmonella spp.</i>
<i>Pila 1: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol</i>				
<b>P1-ARM</b>	3.5x10 <sup>7</sup>	1x10 <sup>3</sup> VE	3.1x10 <sup>6</sup>	Ausencia
<b>P1-V1</b>	2.2x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>2</sup> VE	3.1x10 <sup>5</sup>	Ausencia
<b>P1-V2</b>	1.5 x10 <sup>3</sup>	0	3.4x10 <sup>4</sup>	Ausencia
<b>P1-V3</b>	5 x10 <sup>3</sup>	0	4.1x10 <sup>4</sup>	Presencia
<b>P1-V4</b>	4.7x10 <sup>3</sup>	0	4.1x10 <sup>3</sup>	Ausencia
<b>P1-MAD</b>	4.8 x10 <sup>3</sup>	1x10 <sup>2</sup> VE	1.5x10 <sup>3</sup>	Ausencia
<i>Pila 2: residuos de maíz + residuos de haba + estiércol + lactosuero</i>				
<b>P2-ARM</b>	3.8x10 <sup>8</sup>	2.6x10 <sup>3</sup>	1.6x10 <sup>7</sup>	Ausencia
<b>P2-V1</b>	2x10 <sup>7</sup>	4x10 <sup>2</sup> VE	1x10 <sup>6</sup>	Ausencia
<b>P2-V2</b>	6x10 <sup>5</sup>	3x10 <sup>2</sup> VE	6.4x10 <sup>5</sup>	Ausencia
<b>P2-V3</b>	2.2x10 <sup>4</sup>	1x10 <sup>2</sup> VE	3.8x10 <sup>5</sup>	Ausencia
<b>P2-V4</b>	6.1x10 <sup>3</sup>	0	3.2x10 <sup>3</sup>	Ausencia
<b>P2-MAD</b>	1.8x10 <sup>3</sup>	0	1.7x10 <sup>3</sup>	Ausencia

Para más abreviaturas dirigirse a la (Tabla 8-4)

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

En la (Tabla 10-4) se puede observar cómo el crecimiento de las bacterias va evolucionando de manera decreciente, es decir, de mayor a menor tanto en la Pila 1 como en la Pila 2 de compostaje. En coliformes se determinó 1.5x10<sup>3</sup> y 1.7x10<sup>3</sup> UFC/g en la fase de maduración del proceso de compostaje en la Pila 1 y Pila 2 respectivamente y en cuanto a *Salmonella spp.* se registró su ausencia en 25 g de compost durante todo el proceso. Arango et al. (2016, p.352) menciona que, según la normativa colombiana, la ausencia de *Salmonella* en 25 g de compost determina su potencial uso como enmienda orgánica o acondicionador de suelo. Por otro lado, Najjar (2014, p.225) indica que el compost debe tener una densidad de Coliformes fecales menor a 1000 UFC/g de compost. Demostrando así que los residuos de maíz, haba y estiércol utilizados para la obtención de compost cuentan con concentraciones microbiológicas dentro de los niveles máximos permisibles.

#### 4.5.1 Evolución del crecimiento de enterobacterias en el proceso de compostaje

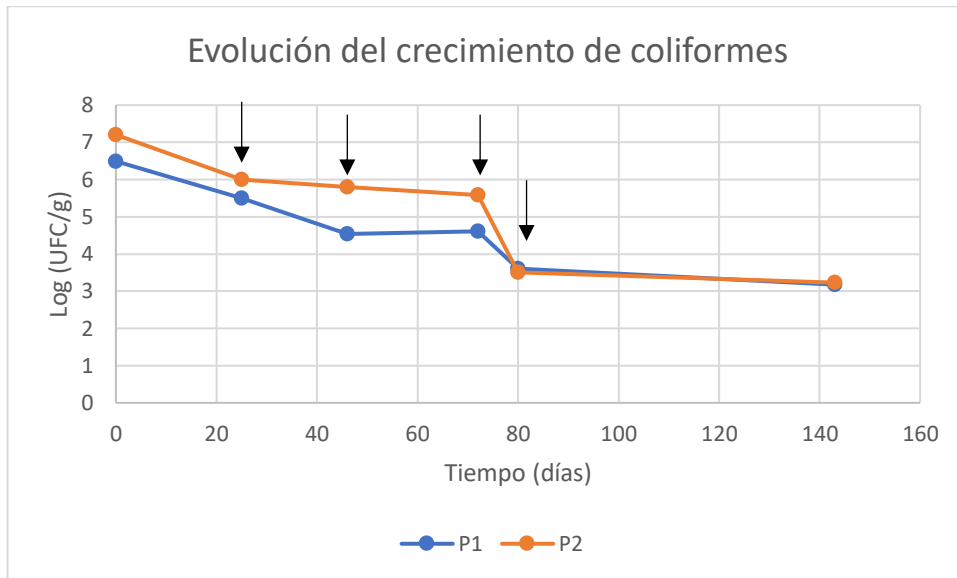


**Ilustración 24-4:** Evolución del crecimiento de enterobacterias

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

Prieto (2015, p.56) menciona que el objetivo de los análisis microbiológicos de patógenos como, enterobacterias y *Salmonella spp.*, permiten ver que su participación, queda reducida hasta el comienzo de la etapa termófila (45°C - 70°C), ya que estos patógenos son eliminados por completos, al igual que la mayoría de los mohos y aerobios mesófilos. En la (Ilustración 24-4) se observa cómo ha evolucionado el crecimiento de enterobacterias a lo largo del proceso de compostaje y que en la etapa de maduración el conteo de enterobacterias tanto en la Pila 1 y Pila 2 es mejor a los registros anteriores del proceso. Bohórquez (2019, p.32) menciona que, respecto a la presencia de microorganismos potencialmente patógenos dentro del compost, la Norma Técnica Colombiana 5167 indica que referente a enterobacterias totales en el producto final se permiten concentraciones menores a 1000 UFC/g. Lo que indica que la Pila 1 no cumple con las especificaciones requeridas al registrarse  $4.8 \times 10^3$  UFC/g de enterobacterias en la etapa de maduración, mientras que, la Pila 2 al registrar un conteo de  $1.8 \times 10^3$  UFC/g de enterobacterias en la misma etapa se acerca mucho más al límite permitido, lo que demuestra que posiblemente la utilización de lactosuero en esta pila tiene influencia en la higienización del proceso.

#### 4.5.2 Evolución del crecimiento de coliformes en el proceso de compostaje



**Ilustración 25-4:** Evolución del crecimiento de coliformes

**Realizado por:** Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

Según Sánchez, Zentella y Fraire (2015, p.60) una vez llegada la etapa de maduración de la composta, el abono obtenido debe someterse a pruebas microbianas para garantizar al usuario final la inocuidad de este, puesto que al contener excretas de animales como el estiércol de ganado vacuno es probable la presencia de bacterias del grupo Coliformes. En la (Ilustración 25-4) se observa cómo la cantidad de coliformes va disminuyendo a lo largo del proceso de compostaje tanto en la Pila 1 como en la Pila 2 con un conteo inicial de  $3.1 \times 10^6$  y  $1.6 \times 10^7$  UFC/g respectivamente debido a que en la fase inicial se registra un aumento de la actividad microbiana y posterior a ello se registran un total de  $1.5 \times 10^3$  y  $1.7 \times 10^3$  UFC/g de coliformes en la etapa de maduración lo cual demuestra que el compost obtenido al final del proceso según García et al. (2019, p.2) se encuentra dentro del criterio de calidad aceptable de uso para este tipo de material al tener concentraciones máximas de 1000 UFC/g.



## 4.6 Análisis y resultados de la calidad del compost

**Tabla 11-4:** Resultados calidad del compost

Parámetros	Pila 1	Pila 2	Normativa Europea		
			Clase A	Clase B	Clase C
<b>Metales pesados</b>					
<b>Ni (mg/kg)</b>	16.00	9.50	25.00	90.00	100.00
<b>Cr (mg/kg)</b>	53.50	81.00	70.00	250.00	300.00
<b>Pb (mg/kg)</b>	12.04	2.80	45.00	150.00	200.00
<b>As (mg/kg)</b>	1.07	0.94	-	-	-
<b>Se (mg/kg)</b>	2.88	1.87	-	-	-
<b>Hg (mg/kg)</b>	<0.05	<0.05	0.40	1.50	2.50
<b>Macronutrientes</b>					
<b>P (g/kg)</b>	10.62	10.66	-	-	-
<b>Ca (mg/kg)</b>	17952	16320.5	-	-	-
<b>Micronutrientes</b>					
<b>Fe (mg/kg)</b>	1978.00	1575.50	-	-	-
<b>Mn (mg/kg)</b>	124.50	115.00	-	-	-
<b>Microbiológicos</b>					
<b>Enterobacterias (UFC/g)</b>	4.8 x10 <sup>3</sup>	1.8x10 <sup>3</sup>	-	-	-
<b><i>E.coli</i> (UFC/g)</b>	1x10 <sup>2</sup> VE	0	< 1000 UFC/g		
<b>Coliformes (UFC/g)</b>	1.5x10 <sup>3</sup>	1.7x10 <sup>3</sup>	-	-	-
<b><i>Salmonella spp.</i></b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia en 25 gramos		

Realizado por: Bermeo Escobar María & Idrovo Gavilanes Alessandro, 2023.

### 4.6.1 Análisis de calidad de los metales pesados

#### 4.6.1.1 Níquel

Según Dueñas e Intriago (2022, p.7) la presencia de níquel en las materias primas y mezclas orgánicas puede ser debido a que estos metales pesados suelen estar en la red cristalina de minerales primarios y secundarios tales como carbonatos, sulfatos y óxidos. En la (Tabla 11-4) se observa la media de Ni correspondiente a 16.00 y 9.50 mg/kg para la pila 1 y 2 respectivamente. Apaza, Mamani y Sainz (2015, p.5) encontraron valores similares de 12 mg/kg en residuos agroindustriales. Los valores finales de Ni presentes en el compost maduro se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Comission (2014, p.228) estableciendo un compost de clase A según dichos criterios.

#### 4.6.1.2 Cromo

Según Giardania et al. (2013, p.5) concentraciones de cromo mayores a 520 mg/kg inhiben la germinación de semillas, volviendo a los abonos o mezclas orgánicas altamente fitotóxicas. En la (Tabla 11-4) se indican las medias de Cr correspondientes 53.50 y 81.00 mg/kg para la pila 1 y 2 respectivamente. Castillo (2020, p.90) menciona que un compost de calidad posee valores de Cr menores a 120 mg/kg. Los valores de Cr en el compost maduro se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Commission (2014, p.228) estableciendo un compost de clase A para la pila 1 y clase B para la pila 2 según dichos criterios.

#### 4.6.1.3 Plomo

Roben (2002, p.98) menciona que es importante precisar un bajo contenido de Pb en el compost obtenido, ya que facilita su uso y recomendación para suelos agrícolas, caso contrario un alto contenido puede contaminar las aguas subterráneas y las plantas cultivadas en el área de aplicación causando toxicidad y riesgo de enfermedades para los seres humanos. En la (Tabla 11-4) se indica la media del valor de Pb correspondiente a 12.04 y 2.80 mg/kg. Valores similares fueron encontrados por Castillo (2020, p.98) donde determinó un límite máximo permisivo de 150 mg/kg para evitar riesgos de toxicidad. Los valores obtenidos del compost proveniente de la pila 1 y 2 se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Commission (2014, p.228) indicando un compost de clase A para ambas pilas según dichos criterios.

#### 4.6.1.4 Arsénico

En la (Tabla 11-4) pueden observarse las medias de los valores de As correspondientes a 1.07 y 0.94 mg/kg. Gavilanes et al. (2016, p.6) encontró valores similares de As correspondientes a 1.15 y 0.85 para diferentes tratamientos de compost. Pérez (2015, p.22) menciona que el arsénico es un elemento tóxico para la salud del ser humano por lo que es necesario controlar su presencia en el medio ambiente y evitar su movilización a través de aguas subterráneas a través del suelo. Los valores encontrados en la pila 1 y 2 se encuentran dentro de los parámetros establecidos según US Composting Council (2001, p.63) indicando un máximo de 41 mg/kg.

#### *4.6.1.5 Selenio*

En la (Tabla 11-4) pueden observarse las medias de los valores de Se correspondientes a 2.78 y 1.87 mg/kg correspondientes a la pila 1 y 2 respectivamente. Según Rojas et al. (2017, p.3) cuando el proceso de compostaje se realiza con residuos agroindustriales las posibilidades de encontrar metales pesados aumentan considerablemente. Los valores encontrados del compost proveniente de la pila 1 y 2 se encuentran dentro de los parámetros establecidos por US Composting Council (2001, p.63) indicando un máximo de 100 mg/kg.

#### *4.6.1.6 Mercurio*

Según García et al. (2021, p.2) altas concentraciones de mercurio en el suelo provocan una alteración química física y biológica del mismo, provocando una fitotoxicidad para la germinación de diferentes semillas y contaminación acuífera. En la (Tabla 11-4) se indican los valores de Hg correspondientes a <0.05 para la pila 1 y 2. Los valores finales en el compost maduro obtenido de la pila 1 y 2 se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Commission (2014, p.228) indicando un compost de clase A para ambas pilas según dichos criterios.

### **4.6.2 *Análisis de calidad de los macronutrientes***

#### *4.6.2.1 Fósforo*

En la (Tabla 11-4) se observan los valores de las medias de P correspondientes a 10.62 y 10.66 mg/kg. Según Puentes y Coronado (2014, p.34) el fósforo es un nutriente especial para el crecimiento de las plantas, relacionado con muchos procesos metabólicos para la transferencia de energía a través de ésteres de fósforo y fosfatos. Los valores de P no presentan una mayor diferencia entre el compost obtenido en la pila 1 y 2 y se encuentran entre los parámetros establecidos por US Composting Council (2001, p.63) indicando un mínimo de 1 mg/kg.

#### *4.6.2.2 Calcio*

En la (Tabla 11-4) se observan los valores de las medias de Ca correspondientes a 17952 y 16320.5 mg/kg respectivamente para la pila 1 y 2. Según Castillo (2020, p.96) el calcio es un nutriente necesario para el crecimiento de las plantas y su mayor contenido en el compost potencia su uso como abono orgánico para los suelos agrícolas. En base a lo expuesto anteriormente, el

uso de los compost provenientes de la pila 1 y 2 con un elevado valor de Ca favorecerá al crecimiento y desarrollo de las plantas.

#### **4.6.3 *Análisis de calidad de los micronutrientes***

##### **4.6.3.1 *Hierro***

Según Esquivel (2020, p.1) el hierro es un microelemento esencial para el desarrollo fisiológico de las plantas, debido a que interviene en la formación de pigmento clorofílico y forma parte estructural del primer aceptor de electrones como la ferredoxina. En la (Tabla 11-4) se indican los valores de Fe correspondientes a 1978 y 1575.50 mg/kg para la pila 1 y 2 respectivamente. De acuerdo con lo mencionado, los altos valores de hierro encontrados en el compost maduro para la pila 1 y 2 favorecerían al desarrollo de las plantas al añadirlo al suelo para cultivo.

##### **4.6.3.2 *Manganeso***

En la (Tabla 11-4) se observan los valores de las medias de Mn correspondientes a 124.50 y 115 mg/kg observando una ligera mayoría en la pila 1. Valores similares fueron obtenidos por Valverde et al. (2022, p.14) referentes a 124 y 148 mg/kg para compost obtenido de diversos tratamientos. Según Novillo, Rico y Álvarez (2009, p.614) el manganeso es un elemento esencial para las plantas a medida que interviene en la etapas vegetativas de su ciclo vital y su deficiencia en el suelo solo puede ser corregida con el aporte directo en su nutrición. Sobre la base de lo mencionado, el alto valor de Mn obtenido en el compost de la pila 1 y 2 respectivamente ayudaría al desarrollo del ciclo vegetativo de las plantas.

#### **4.6.4 *Análisis de calidad microbiológicos***

##### **4.6.4.1 *Enterobacterias***

En la (Tabla 11-4) se observan los valores de los resultados del compost maduro para la cuantificación de enterobacterias correspondientes a  $4.8 \times 10^3$  y  $1.8 \times 10^3$  UFC/g para la pila 1 y 2 respectivamente. Arango et al. (2016, p.352) obtuvo valores similares de  $2.3 \times 10^4$  UFC/g en tratamientos de compost. Según Escudero y Arias (2012, p.73) la erradicación de estos microorganismos presentes en mayor cantidad en la materia prima se debe a las altas temperaturas obtenidas en la etapa termófila del proceso de compostaje.

#### 4.6.4.2 *E.coli*

En la (Tabla 11-4) se indican los valores de los resultados del compost maduro para la cuantificación de *E.coli* correspondientes a  $1 \times 10^2$  VE (Valor Estimado) y 0 para la pila 1 y 2 respectivamente. Según Escudero y Arias (2012, p.73) la erradicación de *E.coli* presente en el armado de las pilas se debe a la etapa termófila, donde las altas temperaturas obtenidas durante esta etapa producen la erradicación de este microorganismo. Los resultados finales del compost maduro se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Commission (2014, p.228) correspondientes a  $< 1000$  UFC/g, lo que sugiere su uso seguro para su utilización en suelo.

#### 4.6.4.3 *Coliformes*

En la (Tabla 11-4) se observan los resultados de la cuantificación de coliformes totales del compost maduro-correspondientes a  $1.5 \times 10^3$  y  $1.7 \times 10^3$  UFC/g para la pila 1 y 2 respectivamente. Valores similares fueron encontrados por Najjar (2014, p.6) con  $1.4 \times 10^3$  UFC/g. Además, menciona que un pH neutro entre 6.5-7.5 favorece al desarrollo de estos microorganismos. En función de lo mencionado anteriormente y con los datos de pH observados en la (Tabla 8-4), donde se evidencia que el pH de la pila 2 se mantiene dentro de estos rangos de neutralidad, se relaciona el mayor crecimiento de coliformes totales en la pila 2 del compost maduro.

#### 4.6.4.4 *Salmonella spp.*

En la (Tabla 11-4) se observan los resultados de la determinación de *Salmonella spp.* Siendo mayoritariamente ausencia en 25 g, a excepción de la muestra P1-V3 donde se observó presencia. Según Escudero y Arias (2012, p.72) la aparición anormal durante el proceso pudo deberse a una contaminación externa y su inmediata eliminación dadas las altas temperaturas de la pila. Los resultados finales del compost maduro se encuentran dentro de los parámetros establecidos por European Commission (2014, p.228) correspondiente a una ausencia en 25 g para ambas pilas, lo que sugiere su uso seguro en el suelo.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización fisicoquímica y química de los residuos agroindustriales de haba, maíz y estiércido de vaca correspondientes a la matriz productiva del cantón Chambo. Los resultados obtenidos de cada residuo por separado evidenciaron niveles inadecuados de sus propiedades fisicoquímicas y químicas, encontrados por debajo o encima de los límites establecidos por la Comisión Europea, lo que sugiere que una utilización en suelo de estos residuos por separado sería muy poco productivo o contraproducente para el cultivo de materia vegetal. Por otra parte, la diferencia existente en los valores obtenidos de los residuos indicó que una combinación de estos para el armado de las pilas permitiría estabilizar los valores de sus propiedades permitiendo un correcto proceso de compostaje.
- El seguimiento microbiológico de enterobacterias, *E.coli*, coliformes y *Salmonella spp.* durante el proceso de compostaje se realizó mediante la siembra en petrifilm de 6 muestras correspondientes a muestra inicial, volteo 1, volteo 2, volteo 3, volteo 4 y muestra final para la pila 1 y 2 respectivamente. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar un decrecimiento microbiológico durante todo el proceso, la cuantificación de enterobacterias y coliformes evolucionó de manera similar para la pila 1 y 2 obteniendo resultados similares en la muestra final. El proceso de higienización de *E. coli* fue variante durante el proceso evidenciándose etapas de P1-V2, P1-V3, P1-V4 y P2-V4 donde el crecimiento era nulo y en etapas posteriores un crecimiento positivo, debido a la posible presencia de hongos inhibidores del crecimiento bacteriano en dichas fases del proceso. *Salmonella spp.* fue ausente durante todo el proceso de compostaje a excepción de la muestra P1-V3 donde esta aparición inusual pudo deberse a una contaminación externa de la pila. Por último, la pila 2 presentó un ligero mejoramiento del proceso de higienización al presentar una menor cuantificación microbiológica, sin embargo, ambos compost finales obtenidos se encuentran dentro de los rangos permisibles según European Commission.
- Se determinó la calidad del compost a través del análisis de sus propiedades fisicoquímicas, químicas y microbiológicas para la pila 1 y 2 respectivamente. Los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas se encontraron dentro de los rangos permisibles, a excepción de la CE para la pila 2 donde se observó un ligero aumento a causa de la gran cantidad de sales presentes en el lactosuero añadido. La cuantificación de metales pesados demostró un compost final de clase A según European Commission, a excepción del Cr para la pila 2 que corresponde a un compost de clase B, macronutrientes y micronutrientes presentaron valores similares para la pila 1 y 2 situados dentro de los rangos establecidos por US Composting Council. Finalmente, la cuantificación microbiológica se encontró dentro de los parámetros

establecidos por European Comission lo que indica un correcto proceso de higienización y su uso seguro en el suelo.

## RECOMENDACIONES

- Diseñar un estudio de compostaje de pilas Windrow con los mismos residuos agroindustriales y variando la concentración de lactosuero en las pilas, a fin de obtener la concentración adecuada de lactosuero que permita obtener una mayor higienización y no afecte las propiedades fisicoquímicas y químicas del compost obtenido.
- Realizar la identificación microbiológica de los hongos presentes en el proceso de compostaje y su efecto inhibitor del crecimiento bacteriano, con el objetivo de evidenciar a los microorganismos responsables del nulo crecimiento de *E.coli* durante ciertas fases del proceso, y una posible utilización de los mismos para un proceso de bioaumentación.
- Realizar estudios similares utilizando diversos tratamientos de compostaje como aireación forzada, sistemas abiertos, sistemas cerrados, vermicompostaje, entre otros. Que permitan evidenciar el efecto de lactosuero sobre la calidad microbiológica y agroquímica del compost final al ser aplicado en diferentes tratamientos.



## BIBLIOGRAFÍA

**3M.** *Placas Petrifilm™ para Recuento de E. coli / Coliformes* [blog]. Saint Paul: 3M Food Safety, 2015. [Consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: [www.3M.com/foodsafety](http://www.3M.com/foodsafety).

**3M.** *3M™ Placas Petrifilm™ para Recuento de Enterobacterias* [blog]. México: 3M Food Safety, 2017. [Consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: [www.3M.com/foodsafety](http://www.3M.com/foodsafety).

**ACOSTA, M.** Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo, México. 2007. pp. 31. [Consulta 2023-04-28]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/635>

**AGUIAR, S., ENRÍQUEZ, M. y UVIDIA, H.** "Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento". *Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social* [en línea], 2022, (Ecuador) 1(27), pp. 8. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 1390-6267-. Disponible en: <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/803/728>.

**AGUILAR, A.** Análisis de fuentes de metales pesados en suelos de una comunidad rural aledaña al lago de Cuitzeo, usando sistemas de información geográfica y estadística multivariada facultad de ingeniería química [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 2019. pp. 8. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/8217/FIQ-L-2019-1134.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/8217/FIQ-L-2019-1134.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**APAZA, E., MAMANI, F. y SAINZ, H.** "Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca". *Journal of the Selva Andina Biosphere* [en línea], 2015, (Bolivia) 3(2), p. 5. [Consulta: 1 mayo 2023], ISSN 2308-3867. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v3n2/v3n2\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v3n2/v3n2_a05.pdf).

**APAZA, Y.** Evaluación de la biodegradación de residuos orgánicos urbanos en compostaje bajo diferentes frecuencias de oxigenación en la ciudad de La Paz [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. 2022. pp. 14-15. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/30148/T-3051.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ARANGO, S., MONTOYA, J., VAÁSQUEZ, Y. y FLOR, D.** "Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa de leguminosa y ruminaza". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [en línea], 2016, (Colombia) 10(2), pp. 352. [Consulta: 10 mayo 2023] ISSN 2011-2173. Disponible en: <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5751>.

**NÚMERO DE REGISTRO: 507.** *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. vol. 752, no. 57.*

**ASOCIACIÓN CATALANA DE INGENIERÍA SIN FRONTERAS.** *Manual de producción de compost.* [blog]. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>.

**ÁVILA, W. y MOYANO, J.** Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 Ton/Día. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. 2019. pp. 14. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15556/AvilaRuizWendyAndrea2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**BALAREZO, J.** Obtención de vermicompost con aplicación de microorganismos benéficos, utilizando residuos orgánicos domésticos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. 2019. pp. 3-4. [Consulta: 2023-04-28]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8196/1/BALAREZO%20CORDOVA%20JINSO%20P%20OSWALDO....pdf>

**BELTRÁN, C. y PÉREZ, P.** Potencial de compostaje de los residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón ambato. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2020. pp. 14. [Consulta: 2023-04-28]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20824/1/CD%2010347.pdf>

**BELTRÁN, F., NIETO, A., ARGENIS, J., RUIZ, F., TROYO, E., ALCALA, J. y MURILLO, B.** "Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica Inorganic nitrogen, phosphorus and potassium content of natural fertilizers for use in organic agriculture". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2019,

(México), 37(1), pp. 374. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 371-378. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>.

**BENIMELI, M., PLASENCIA, A., CORBELLA, R., ANDINA, D., SANZANO, A., SOSA, F. y FERNÁNDEZ, J.** "El nitrógeno del suelo". *Revista de la Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán* [en línea], 2019, (Argentina) vol.1 (1), pp. 1-2. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-sedes-sapientiae/suelos/el-nitrogeno-del-suelo-2019/12751686>.

**BOHÓRQUEZ, W.** *El proceso de compostaje*. [en línea]. Bogotá-Colombia: Ediciones Unisalle, 2019. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/librosprocesodecompostaje%22>.

**BUENO, P., DÍAZ, M. y CABRERA, F.** *Factores que afectan al proceso de Compostaje* [en línea]. Huelva-España. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores que afectan al proceso de compostaje.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf).

**CAMACHO, F., URIBE, L., NEWCOMER, Q., MASTERS, K. y KINYUA, M.** "Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO)". *UNED Research Journal* [en línea], 2018, (Costa Rica), 10(2), pp. 9. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 1659-4266. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v10n2/1659-4266-cinn-10-02-330.pdf>.

**CASTILLO, D.** *Escherichia coli en aguas de riego: optimización del aislamiento mediante cultivo y detección por PCR*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Tecnología) Universitat Politècnica de València, Valencia, España. 2018. pp. 8. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109090/CASTILLO - Escherichia coli en aguas de riego%3A optimización del aislamiento mediante cultivo y de....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109090/CASTILLO%20-%20Escherichia%20coli%20en%20aguas%20de%20riego%3A%20optimizaci%C3%B3n%20del%20aislamiento%20mediante%20cultivo%20y%20de%20detecci%C3%B3n%20por%20PCR.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**CASTILLO, L.** *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Continental, Huancayo, Perú. 2020. pp. 90-98. [Consulta: 2022-12-18]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Castillo\\_Huaman\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8245/3/IV_FIN_107_TE_Castillo_Huaman_2020.pdf).

**CASTRO, A.** Estudio bibliográfico del estado del arte de la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos y mejora del proceso mediante pretratamientos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Cádiz, Puerto Real, España. 2018. pp. 7. [Consulta: 2023-05-18]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/162565001.pdf>

**CHAVARRÍA, C., GALLEGOS, M., FORTIS, M., GONZÁLEZ, U., CERVANTES, M. y CASTELLANOS, E.** "Presencia de enterobacterias en insumos de uso agrícola en La Comarca Lagunera". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2019, (México) 10(5), pp. 1001. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-999.pdf>

**CHAVES, R., CAMPOS, R., BRENES, L. y JIMÉNEZ, M.** "Compostaje de residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del Tecnológico de Costa Rica". *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2019, (Costa Rica) 32 (1), pp. 41-42. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 0379-3982. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822019000100039](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822019000100039)

**NÚMERO DE REGISTRO: 983.** *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. No 31*

**COBO, Y., ANGARICA, E., GUTIÉRREZ, G., SERRANO, A. y VILLAZÓN, J.** "Disponibilidad de zinc y variabilidad dentro del perfil en Vertisol Crómico de la provincia de Holguín". *Centro Agrícola* [en línea], 2019, (Cuba) 46(2), pp. 23. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2072-2001. Disponible en: <http://cagricola.uclv.edu.cu>

**DELGADO, M., MENDOZA, K., GONZÁLEZ, M., TADEO, J. y MARTÍN, J.** "Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2019, (España) 35(4), pp. 4. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/370/37066309015/html/>

**DI PILLO, F. y SOTOMAYOR, G.** "*Escherichia coli* productoras de toxinas Shiga 0157 y No 0157 en carne bovina, Chile". *Agencia Chilena para la Calidad e Inocuidad Alimentaria* [en línea], 2018, (Chile) 1(3), pp. 1. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/06/Perfil-de-Riesgo-E-coli-STEC-en-carne-bovina-v1-2018-1.pdf>.

**DUEÑAS, J. y INTRIAGO, F.** "Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración". *Revista de las Agrociencias* [en línea], 2022, (Ecuador) 27(1), pp. 7. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2477-8982. Disponible en: [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i27.3674](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3674)

**ENRÍQUEZ, M., QUEVEDO, H. y GUAMÁN, B.** "Evaluación del aprovechamiento de residuos sólidos ganaderos para producir biogás y abonos en la comunidad El Calvario, Provincia de Pastaza, Ecuador". *Revista Estudios Ambientales* [en línea], 2022, (Ecuador) 10(1), pp. 8. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2347-0941. Disponible en: <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1409/1194>

**ESCOBAR, P., ETCHEVERRIA, P., VIAL, M. y DAZA, J.** "Concepto de materia seca y su uso : guía práctica". *Instituto de Investigacion Agropecuarias* [en línea], 2020, (Colombia) vol.1 (119), pp. 1. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3982/NR42143.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>.

**ESCUADERO, A. y ARIAS, C.** 2012. "Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la universidad del Norte, Colombia". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2012, (Colombia), 28(1), pp. 72-73. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 01884999. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a10.pdf>

**ESPINOSA, E.** "Actividad ganadera y contaminación ambiental". *Revista Radoctores* [en línea], 2021, (España), 6(2), pp. 247. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 1138-2414. Disponible en: <https://www.radoctores.es/doc/V6N2-04%20-%20ESPINOSA%20-%20actividad%20ganadera.pdf>

**ESQUIVEL, G.** 2020. *Importancia del hierro (Fe) en la Agricultura*. [blog]. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia\\_del\\_Hierro\\_\(Fe\)\\_en\\_la\\_agricultura\\_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf).

**EUROPEAN COMMISSION.** "End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals". *Informe de la Comisión Europea* [En línea], 2014, (España) vol. 1 (1), pp. 228. ISBN 978-92-79-35062-7. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87124>

**FERNÁNDEZ, L.** Determinación y seguimiento de metales pesados en componentes de origen del compost. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Oviedo, España. 2018. pp. 24. [Consulta: 2022-12-18]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/223802/1/determicompos.pdf>

**FORD, T. y STIVERS, L.** *La Reducción de los Riesgos que Proviene de los Animales y el Estiercol* [blog]. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://extension.psu.edu/la-reduccion-de-los-riesgos-que-proviene-de-los-animales-y-el-estiercol>

**GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CHAMBO.** *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chambo* [blog]. Chambo: GADM Chambo, 2014 [Consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: [https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/images/PDyOT\\_-\\_ParteII\\_-\\_pdf](https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/images/PDyOT_-_ParteII_-_pdf).

**GAMARRA, C., DÍAZ, M., VERA, M., GALEANO, M. y CABRERA, A.** "Relación carbononitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], 2018, (Paraguay), 9(46), pp. 7. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>

**GARCÍA, Á.** *El potasio y su importancia en el crecimiento vegetal* [blog]. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.fertibox.net/single-post/potasio-agricultura>

**GARCÍA, Á.** *Macronutrientes del suelo* [blog]. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.fertibox.net/single-post/macronutrientes-del-suelo>

**GARCÍA, C., AROZARENA, N., MARTÍNEZ, F., HERNÁNDEZ, M., PASCUAL, J. y SANTANA, D.** "Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2019, (Cuba), 40(2), pp. 2. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1932/193262825002/html/>

**GARCÍA, C. y FERNÁNDEZ, A.** *Resultados del ensayo de evolución de compuestos fenólicos durante el proceso de compostaje* [blog]. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/2e7b59c1-c83f-4997-8aaa-ff8d8cd04b6b>

**GARCÍA, M.**, Residuos orgánicos como fuentes de fósforo [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España. 2014. pp. 3. [Consulta: 2023-05-02]. Disponible en: [https://oa.upm.es/33104/1/MARTA\\_GARCIA\\_ALBACETE.pdf](https://oa.upm.es/33104/1/MARTA_GARCIA_ALBACETE.pdf)

**GARCÍA, M., SERNA, A., DE LA FUENTE, N. y VALENCIA, C.** "Estudio de absorción, acumulación y potencial para la remediación de suelo contaminado por níquel usando *Ambrosia ambrosioides*". *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2018, (México), 3(1), pp. 709. [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/116.pdf>

**GARCÍA, R., JARAMILLO, E., TABARES, J., OBREGÓN, E. y OSORNO, L.** *Biorremediación de mercurio en suelos mediante Zea Mays Inoculado con Pseudomonas Puida y la Adición de Compost* [blog] . [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/16181/2021\\_IV\\_encuentro-semillero-6-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/16181/2021_IV_encuentro-semillero-6-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**GARDUÑO, A. y MÁRQUEZ, C.** "Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica". *ITEA* [en línea], 2018, (México), 114(4), pp. 328. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2018/114-4/327-343 ITEA 114-4.pdf>

**GAVILANES, I., JARA, J., IDROVO, J., BUSTAMANTE, M.A., MORAL, R. y PAREDES, C.** "Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador". *Waste Management* [en línea], 2016, (Ecuador), 48(1), pp. 6. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 18792456. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X15302105>

**GIARDANIA, E., HEREDIA, Ó., CASTRO, M. y EFFRON, D.** "Fitotoxicidad del cromo sobre *Phaseolus vulgaris* L". *Revista de la Facultad de Agronomía UBA* [en línea], 2013, (Argentina), 32(1-2), pp. 5. [Consulta: 05 mayo 2023]. ISSN 2344-9039. Disponible en: <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/7>

**GÓMEZ, M., LÓPEZ, M. y CIFUENTES, Y.** "El manganeso como factor positivo en la producción de papa". *Agronomía Colombiana* [en línea], 2006, (Colombia), 24(2), pp. 341. [Consulta: 05 mayo 2023]. ISSN 0120-9965. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316239018.pdf>

**HEEREN, O.** Efecto directo e indirecto del exceso de hierro (Fe) disponible en el suelo sobre el desempeño del cultivo de *Lepidium meyenii* Walp. (MACA). [En línea] (Trabajo de titulación). (Bachillerato) Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú. 2021. pp. 6-7. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: [https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto\\_HeerenDiaz\\_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto_HeerenDiaz_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**HERNÁNDEZ, L.** Plan de fertilización del área agrícola, unidad de experimentación y validación el plantel, 2021. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. 2022. pp. 47. [Consulta: 2023-05-01]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4508/1/tnf04h557p.pdf>

**HUACCHA, A., FERNÁNDEZ, F., QUIROGA, S. y ÁLVAREZ, B.** "Uso de la Eisenia hortensis (lombriz de tierra) en el vermicompostaje de residuos orgánicos". *Revista Pakamuros* [en línea], 2019, (Perú), 7(2), pp. 33. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/91/85>

**HUERTA, J., SUSTAITA, G., ROMERO, E., RUÍZ, C., BLUHM, J. y MANDUJANO, C.** "Análisis de mercurio y plomo en sedimento, suelo y cultivos (*zea mays l.*, *phaseolus vulgaris l.*)". *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* [en línea], 2018, (España), 9(21), pp. 1193. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://rlac.buap.mx/sites/default/files/9%2821%29-83.pdf>

**HUERTA, N.** "*Escherichia coli*. Una revisión bibliográfica". *Revista Ocronos* [en línea], 2020, (España), pp. 20. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2306-8358. Disponible en: <https://revistamedica.com/escherichia-coli-revision-bibliografica/>

**IDROVO, J., GAVILANES, I., BUSTAMANTE, M.A. y PAREDES, C.** "Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts". *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], 2018, (España) 116 (1), pp.7-8. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.121>

**ISO-6579-1.** *Microbiology of the food chain. Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella Detection of Salmonella spp.*



**ISO-6887-1.** *Microbiology of the food chain. Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination General rules for the preparation of the initial suspension and decimal dilutions.*

**ITUYAN, C. y RIVERA, R.** Evaluación del efecto de la aplicación de fuentes de calcio y compost sobre *Furcraea macrophylla* Baker variedad uña de águila negra, sembrada en la vereda Los Llanos, Municipio de Popayán [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. 2009. pp.22. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/726>

**LAGO, M.** Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Vigo, Pontevedra, España. 2018. pp. 29. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1123/Tesis\\_Manoel\\_Lago\\_Vila\\_sin\\_proteccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1123/Tesis_Manoel_Lago_Vila_sin_proteccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**LAGOS, T.** Evaluación de arsénico en suelos agrarios y cultivos en relación al riego con agua contaminada por efluentes mineros del centro poblado de Castrovirreyna [En línea] (Trabajo de titulación). (Bachillerato) Universidad Continental, Cusco, Perú. 2020. pp. 33-34. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8776/4/IV\\_FIN\\_107\\_TI\\_Lagos\\_Galvez\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8776/4/IV_FIN_107_TI_Lagos_Galvez_2020.pdf).

**LASLUIZA, M.** Determinación de la concentración de metales pesados (cadmio, plomo y cromo) en la lechuga (*Lactuca sativa*) que se cultiva en la parroquia Presidente Urbina del cantón Píllaro [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2022. pp. 9. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34930/1/AL\\_821.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34930/1/AL_821.pdf).

**LÓPEZ, M.** Relevamiento de la contaminación con mercurio en el canal cacique Guaymallén y evaluación del riesgo potencial en alimentos [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. 2019. pp. 8. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/13684/tesis-brom.-lpez-marcela-2019.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13684/tesis-brom.-lpez-marcela-2019.pdf).

**LUQUE, A., CASERES, J. y MASAQUIZA, V.** La gestión de residuos de las industrias lácteas: el caso de Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2018. pp. 2-10. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gestión\\_Residuos\\_Industria\\_Lactea.pdf](https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gestión_Residuos_Industria_Lactea.pdf).

**MARCILLO, C., MURILLO, A., PEÑAHERRERA, M. y PARRALES, I.** "Síndrome diarreico infeccioso causado por *Salmonella spp*". *Recimundo* [En línea], 2019, (Ecuador) 3(3), pp. 494. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/533>

**MARTÍN, J.** Valorización de residuos agroalimentarios y ganaderos mediante digestión anaerobia. Codigestión de residuos del tratamiento de aceites vegetales usados con purín porcino [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Valladolid, Valladolid, España. 2018. pp. 3-4. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/211117711.pdf>.

**MELENDREZ, N. y SÁNCHEZ, J.** Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú. 2019. pp. 26. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1777/Areli\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1777/Areli_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**MENDOZA, B., TORRES, D., GÓMEZ, C., ESTANGA, M. y GARCÍA, Y.** "Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza". *Tecnológicas* [en línea], 2021, (Colombia) 24 (51), pp. 2. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2256-5337. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v24n51/2256-5337-teclo-24-51-4.pdf>

**MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y PESCA.** "Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica". *Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca* [en línea], 2020, (Ecuador) 1 (1). [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/by3.pdf>.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL.** "Los nutrientes del suelo N, P, K". *AgroNet* [en línea], 2019, (Ecuador) 1 (1). [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en:

<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Los-nutrientes-del-suelo-N,-P,-K.aspx>.

**Decreto ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2 MINISTERIO DEL AMBIENTE. REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI.**

**MINISTERIO DEL AMBIENTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.** "Manual de compostaje domiciliario". *Gobierno de la Provincia de Buenos Aires* [en línea], 2022, (Argentina) 1 (1), pp. 21. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/Manual de compostaje domiciliario - 1.pdf](https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/Manual%20de%20compostaje%20domiciliario%20-%201.pdf).

**MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO DE ESPAÑA.** "Sistemas de tratamiento". *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* [en línea], 2018, (España) 1 (1). [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/>.

**MONTOYA, J., BONO, A., BARRACO, M. y DIAZ, M.** "Boro, un nutriente que crea incertidumbre: experiencias de fertilización en la región Pampeana". *Profertil* [en línea], 2020, (Argentina) 1 (1), pp. 5. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/boro-un-nutriente-que-genera-incertidumbre.pdf>

**MORA, B.,** El boro como elemento multifuncional en cultivos de ciclo corto [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador, 2019. pp. 1. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6686/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000195.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**MORA, R.** "Aspectos relevantes sobre *Salmonella spp* en humanos". *Revista Cubana de Medicina General Integral* [en línea], 2018, (Cuba) 34 (3), pp. 111. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v34n3/mgi12318.pdf>.

**MUÑIZ, O., RODRÍGUEZ, M., MONTERO, A., ESTÉVEZ, J. y DE AGUIAR, A.** "El níquel en suelos y plantas de Cuba". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2015, (Cuba) 36 (1), pp. 26. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 0258-5936. Disponible en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000500003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500003).

**NAJAR, T.** Evaluación de la eficiencia en la producción de compost convencional con la aplicación de la tecnología EM (microorganismos eficaces) a partir de los residuos orgánicos municipales, Carhuaz, 2012 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, Huaraz, Perú, 2014. pp. 6-225. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/870>

**NARANJO, J., VERA, M. y MORA, A.** "Acumulaciones de hierro en agroecosistemas bananeros (Milagro, Ecuador): Una revisión bibliográfica de algunos factores que intervienen en la salud y nutrición del cultivo". *Revista Siembra* [en línea], 2021, (Ecuador) 8 (2), pp. 2. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 1390-8928. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/2680/3698>.

**NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH.** *Datos sobre el Selenio* [blog]. Estados Unidos: 2019. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx>.

**NOVILLO, J., RICO, M. y ÁLVAREZ, J.** "Manganeso: Deficiencia en plantascultivadas y su corrección". *Agricultura* [en línea], 2009, (España) 1 (1), pp. 614. [Consulta: 1 mayo 2023] Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Agri%2FAgri\\_2009\\_921\\_614\\_618.pdf](https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2009_921_614_618.pdf)

**NOVOA, A., MIRANDA, D. y MARINA, L.** "Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass)". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [en línea], 2018, (Colombia), 12 (2), pp. 296-299. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>.

**OMS.** "*E. coli. Datos y cifras*" [blog]. Estados Unidos: 2018a. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>.

**OMS.** "*E. coli datos y cifras*" [blog]. Estados Unidos: 2018b. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>.

**OMS.** "*Inocuidad de los alimentos*" [blog]. Estados Unidos: 2020. [Consulta: 30 abril 2023].

Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.

**ORCHARDSON, E.** "El nitrógeno en la agricultura" [blog]. México: 2020. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>.

**PARANCÁN, J., LEÓN, M. y PÉREZ, M.** *Manual de compostaje para zonas frías* [en línea]. Magallanes-Chile: Universidad de Magallanes, 2018. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/Manual-de-Compostaje.pdf>.

**PEDRAZA, S. y HERNÁNDEZ, L.A.** "Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje". *Avances Investigación en Ingeniería* [en línea], 2019, ( Colombia) 16 (2), pp. 53. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 1794-4953. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5439>

**PÉREZ, I.** Ecotoxicología del arsénico en suelos de la comunidad de Madrid [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. 2015. pp.22. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ISMAEL PEREZ MINGUEZ.pdf>.

**PRIETO, G.** Control de la Calidad del Proceso de Compostaje en INCAUCA S.A [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de Pamplona, Santander, Colombia. 2015. pp. 56. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282651419\\_Control\\_de\\_Calidad\\_del\\_Proceso\\_de\\_Compostaje](https://www.researchgate.net/publication/282651419_Control_de_Calidad_del_Proceso_de_Compostaje).

**PUENTES, P. y CORONADO, A.** Determinación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio presentes en la poda del cultivo de *Proteas Leucadendron*, para la futura reutilización en la elaboración de compost [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambiente, Bogotá, Colombia. 2014. pp. 34. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/4639/Trabajo%20de%20grado%20Paola%20y%20Anderson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**QUINAPANTA, L.** Extracción de cromo total de la capa arable de los suelos contaminados por cañaza con la aplicación de dos tipos de abono orgánico en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Ambato,

Ecuador. 2017, pp. 22. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25238/1/tesis-061 Maestría en Agroecología y Ambiente - CD 478.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25238/1/tesis-061_Maestría_en_Agroecología_y_Ambiente_-_CD_478.pdf).

**QUINTERO, Y.** Evaluación de la eficiencia de un sistema de aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje de “goleros” en el municipio popayán, cauca [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Uniautónoma del Cauca, Popayán, Colombia. 2021, pp. 23-24. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uniautonomia.edu.co/bitstream/handle/123456789/620/TIA-M1152021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**RAMOS, R.** Co-Compostaje De Los Residuos Generados Por La Industria Cañicultora (Bagazo De Caña) De La Parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia De Bolívar [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 11. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14788/1/236T0550.pdf>.

**RÍOS, D.** Disponibilidad de micronutrientes en suelos del orden ultisol bajo diferentes usos y profundidades en Caaguazú, Paraguay [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Asunción, Asunción, Paraguay. 2020. pp. 45. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Danny Ríos.pdf](https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Danny_Ríos.pdf).

**ROBEN, E.,** 2002. *Manual de Compostaje para Municipios* [en línea]. Loja- Ecuador: DED Ecuador, 2002. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>.

**RODRÍGUEZ, A., ROBLES, C., RUIZ, R., LÓPEZ, E., SEDEÑO, J. y RODRÍGUEZ, A.** "Índices De Germinación Y Elongación Radical de Calidad del Agua del Río Chalma". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2014, (México) 30 (3), pp. 311. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n3/v30n3a7.pdf>.

**RODRÍGUEZ, D. y BUITRAGO, D.** Evaluación de los microelementos Zinc, Cobre, Magnesio y Manganeso, como enraizante en el cultivo de arroz (Oryza Sativa L). Variedades Fedearroz 67, Fedearroz 68 y Oryzica 1 en el municipio de Piedras – Tolima [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia. 2019. pp. 41. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27960/darodriguezcarv.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**ROJAS, A., FLÓREZ, C. y LÓPEZ, D.** "Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales". *Revista Cubana de Química* [en línea], 2018, (Cuba) 31 (1), pp. 1. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2224-5421. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212019000100031](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100031)

**ROJAS, A., VÁZQUEZ, J., ROMERO, N., RODRÍGUEZ, M., TORIBIO, J. y ROMERO, Y.** "Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2017, (México) 7 (8), pp. 3. Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2007-0934. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000802047&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000802047&script=sci_abstract)

**ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M.M. y PANTOJA, A.** *Manual de Compostaje del Agricultor* [en línea]. Santiago de Chile-Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013. [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>.

**ROMERO, J.** Evaluación del potencial del carbón para su uso como fertilizante con micronutrientes para el suelo [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. 2021. pp. 9. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/101128/files/TESIS-2021-115.pdf?version=1>

**ROMERO, M.** "Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular". *Tecnológicas* [en línea], 2022, (Colombia) 25 (54), pp. 2. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2256-5337. Disponible en: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2505/2531>.

**SÁNCHEZ, D., ZENTELLA, H. y FRAIRE, A.** "Cuantificación de Coliformes totales en pilas de compostaje de alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco". *Ecorfan* [en línea], 2015, (Bolivia) 1 (1), pp. 60. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/actas/educacion\\_ambiental\\_II/ACTA-Educacion-Ambiental-desde-la-Innovacion-Tomo-2-59-65.pdf](https://www.ecorfan.org/actas/educacion_ambiental_II/ACTA-Educacion-Ambiental-desde-la-Innovacion-Tomo-2-59-65.pdf).

**SÁNCHEZ, E.** Efecto de nanofertilizante de Fósforo Encapsulado con Almidón en el Crecimiento de las Plantas de Tomate (*Solanum lycopersicum*) Colonizadas por *Bacillus subtilis* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Centro de Investigación en Química Aplicada,

Saltillo, México. 2018. pp. 1-16. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/627/1/TESIS\\_MAP\\_ELIZABETH\\_SANCHEZ\\_ZACATECO.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/627/1/TESIS_MAP_ELIZABETH_SANCHEZ_ZACATECO.pdf).

**SEPÚLVEDA, F., TAPIA, F. y GONZÁLEZ, S.** "Manejo de residuos sólidos biodegradables y no biodegradables. *INIA* [en línea], 2011, (Perú) 1 (311), pp. 35. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7880/Capitulo\\_3.pdf?sequence=9&isAllowed=y#:~:text=Se colocan capas sucesivas de,1%2C en relación a volumen.](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7880/Capitulo_3.pdf?sequence=9&isAllowed=y#:~:text=Se colocan capas sucesivas de,1%2C en relación a volumen.)

**SIEBERT, S. y GILBERT, J.** *Final report on End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate)* [en línea]. Sevilla-España: JRC Scientific and Policy Reports, 2014. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87124>

**SÚAREZ, D.** "Manual técnico para el registro y control de fertilizantes , enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola". *Agrocalidad* [en línea], 2020, (Ecuador) 1 (5), pp. 25. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/ac6.pdf>.

**URREGO, P.** Propuesta de gestión ambiental derivados lácteos casa lechera. Informe final prácticas interinstitucionales [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Tecnológico de Antioquia, Medellín, Colombia. 2020, pp. 37. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1021/Derivados%20lacteos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**US COMPOSTING COUNCIL.** *Field Guide to Compost Use* [en línea]. North Carolina- USA: US Composting Council, 2001. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <http://www.mncompostingcouncil.org/uploads/1/5/6/0/15602762/fgcu.pdf>

**VALVERDE, V., GAVILANES, I., IDROVO, J., CARRERA, L., BURI, S., SALAZAR, K. y PAREDES, C.** "Characterization of Agro-Livestock Wastes for Composting in Rural Zones in Ecuador: The Case of the Parish of San Andrés". *Agronomy* [en línea], 2022, (Perú) 12 (10), pp. 14. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 20734395. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/10/2538>



**VALVERDE, V.H.**, 2018. Estudio comparativo medioambiental y económico de sistemas de aireación para el compostaje de residuos vegetales con estiércol de cobaya [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Miguel Hernández, Orihuela, España. 2018, pp. 7-14. [Consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/handle/11000/5931>

**VARGAS, Y. y PÉREZ, L.** "Vista de Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente". *Revista Facultad de Ciencias Básicas* [en línea], 2018, (Colombia) 14 (1), pp. 61. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 1900-4699. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108/2874>.

**VARNERO, M., ROJAS, C. y ORELLANA, R.** "Índices de Fitotoxicidad de residuos orgánicos durante el copostaje". *Revista ciencia del Suelo y nutrición Vegetal* [en línea], 2007, (Chile) 7 (1), pp. 35. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 0718-2791. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912007000100003](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912007000100003)

**VILLA, M.** Determinación de la concentración de metales pesados (cadmio, plomo y cromo) en la lechuga (*Lactuca sativa*) que se cultiva en la parroquia Presidente Urbina del cantón Píllaro [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2018, pp. 16-18. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34930>

**YEPES, R.** "Nutrition and fertilization with micronutrients and their effect on oil palm (*Elaeis guineensis* Jack)". *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], 2019, (Colombia) 4 (2), pp. 94. [Consulta: 30 abril 2023]. ISSN 2500-5308. Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcyta/article/view/1068/1127>.

**ZAMBRANO, J., HERRERA, W. y MOTTA, P.** "Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana". *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], 2020, (Colombia) 21 (3), pp. 3. [Consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 2500-5308. Disponible en: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1673](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1673).

## ANEXOS

### ANEXO A: ARMADO DE LAS PILAS



**Ilustración 1:** pesado de los residuos iniciales.



**Ilustración 2:** armado de la pila 1.



**Ilustración 3:** armado de la pila 2.



**Ilustración 4:** pila 1 y 2 armadas.

**ANEXO B: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y QUÍMICAS**



**Ilustración 5:** determinación de pH.



**Ilustración 6:** determinación de CE.



**Ilustración 7:** determinación del porcentaje de humedad.



**Ilustración 8:** determinación del porcentaje de materia orgánica.





**Ilustración 9:** determinación de C/N.



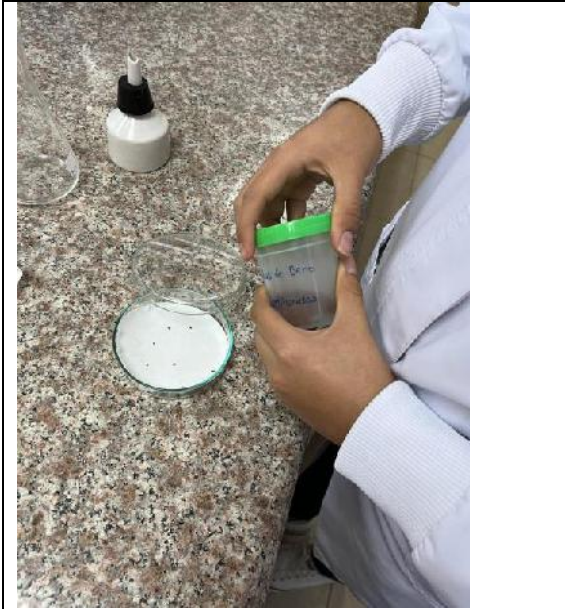
**Ilustración 10:** determinación de polifenoles.



**Ilustración 11:** determinación de macronutrientes

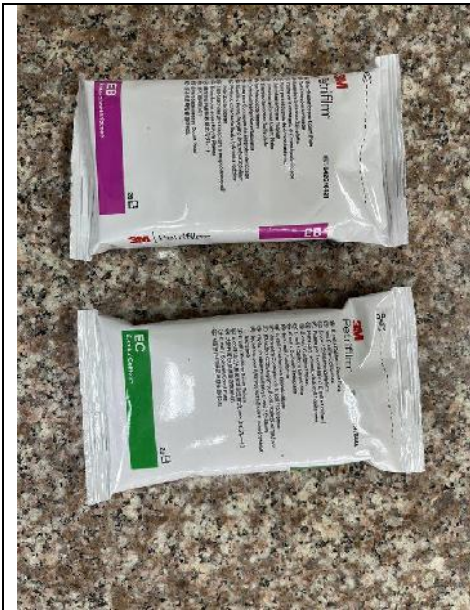


**Ilustración 12:** determinación de micronutrientes y metales pesados



**Ilustración 13:** determinación del índice de germinación.

## ANEXO C: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS



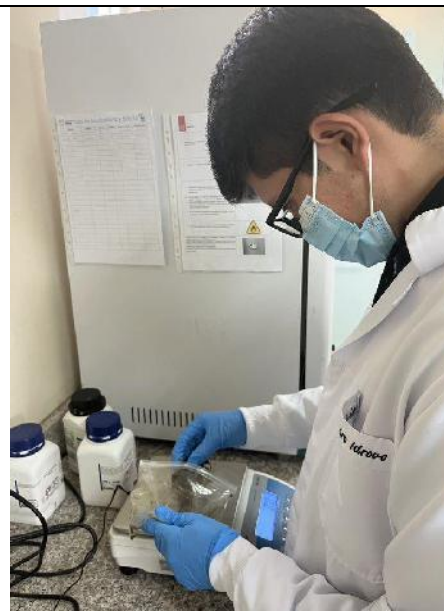
**Ilustración 14:** petrifilm utilizado para la determinación microbiológica.



**Ilustración 15:** homogeneización de las muestras.



**Ilustración 16:** autoclavado de materiales.



**Ilustración 17:** pesado de las muestras.





**Ilustración 18:** preparación de las diluciones.



**Ilustración 19:** siembra en petrifilm.



**Ilustración 20:** incubación de los petrifilm.



**Ilustración 21:** lectura después de la incubación.



**Ilustración 22:** preenriquecimiento para la determinación de *Salmonella spp.*



**Ilustración 23:** incubación del preenriquecimiento.

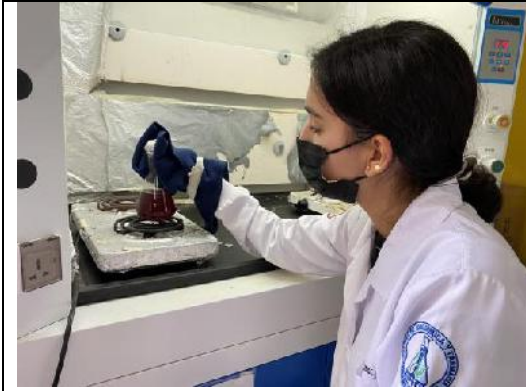


**Ilustración 24:** enriquecimiento selectivo para la determinación de *Salmonella spp.*

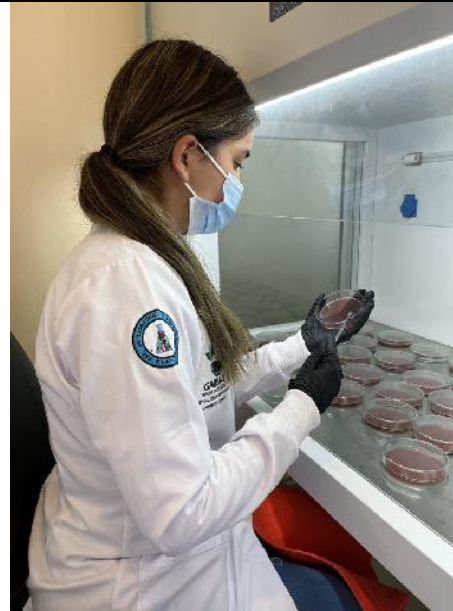


**Ilustración 25:** incubación del enriquecimiento selectivo en caldo tetracionato.





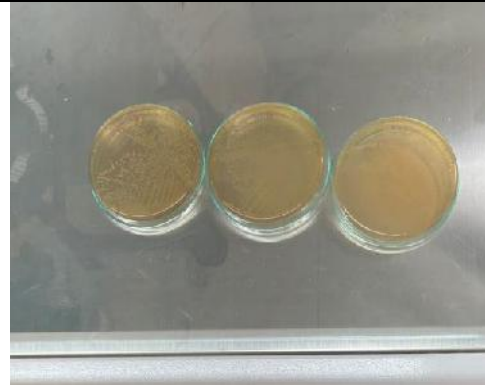
**Ilustración 26:** preparación agar SS.



**Ilustración 27:** siembra en estría en agar SS.

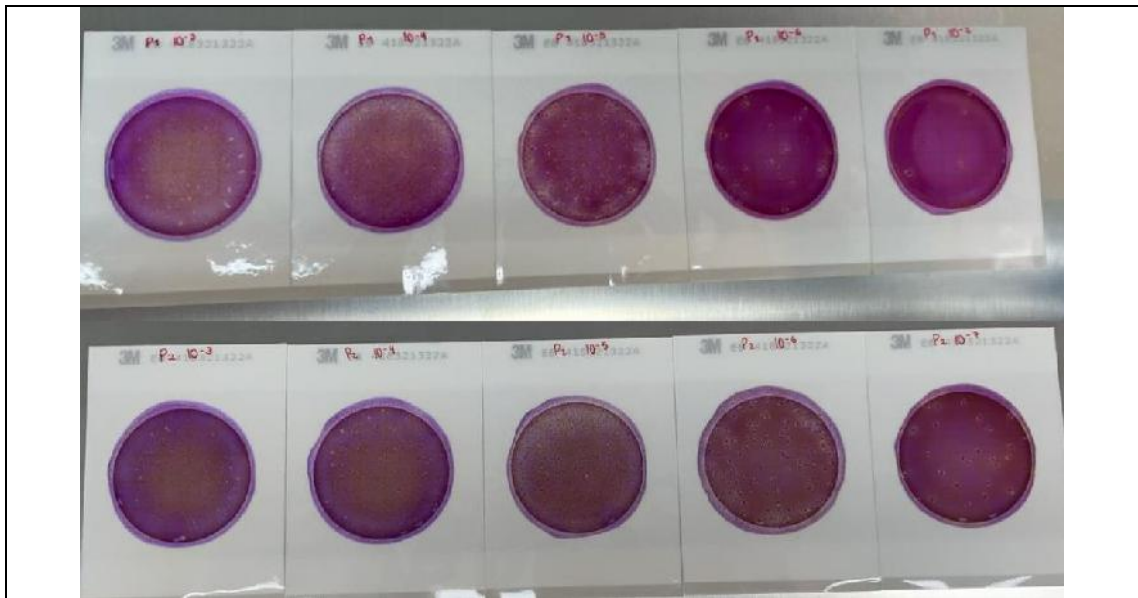


**Ilustración 28:** incubación del agar SS.

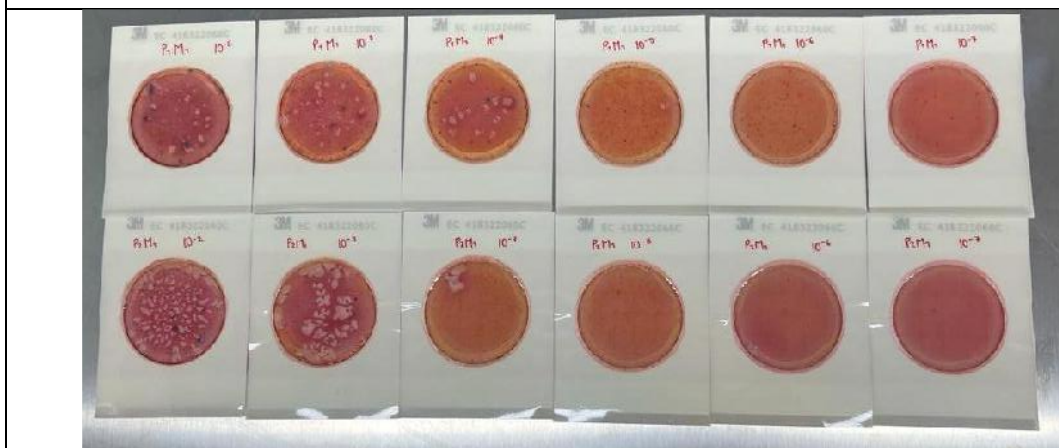


**Ilustración 29:** lectura de resultados.

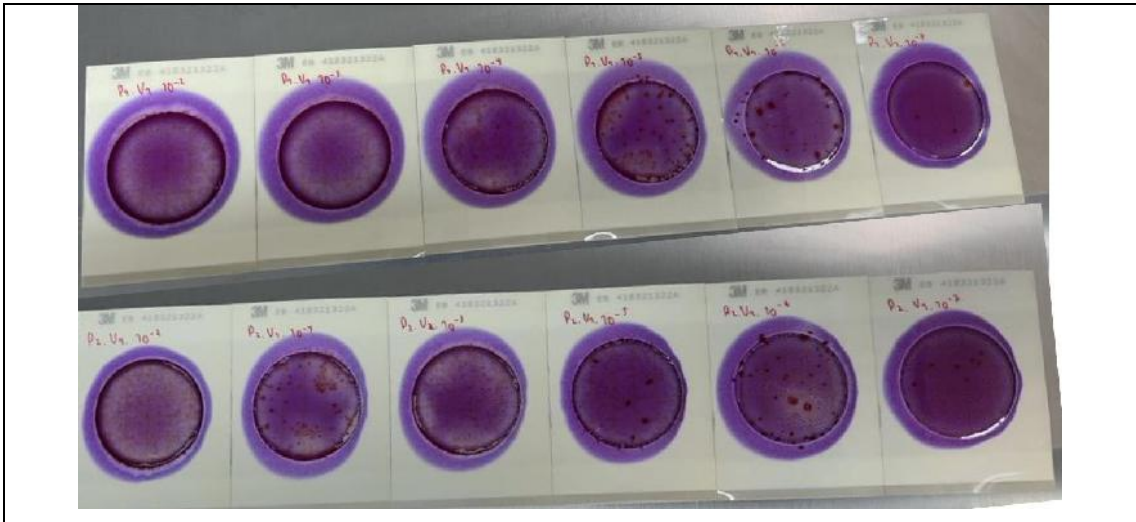
**ANEXO D: RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE LAS PILAS**



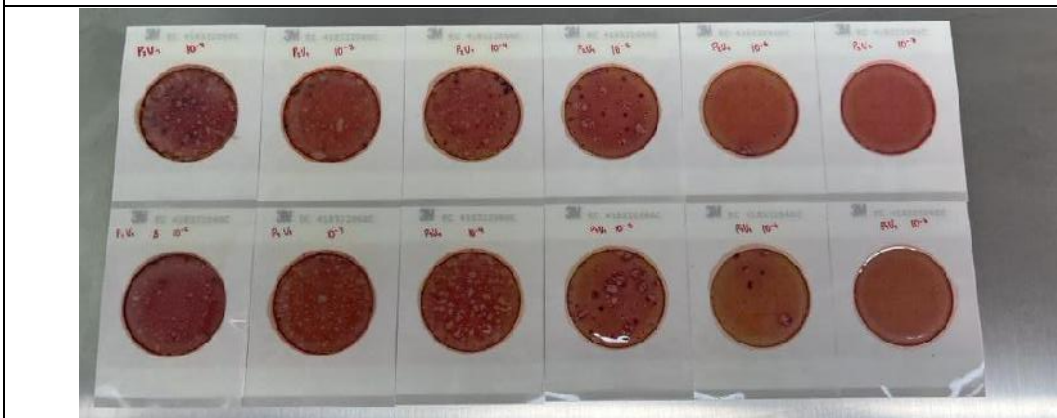
**Ilustración 30:** muestra inicial resultados enterobacterias.



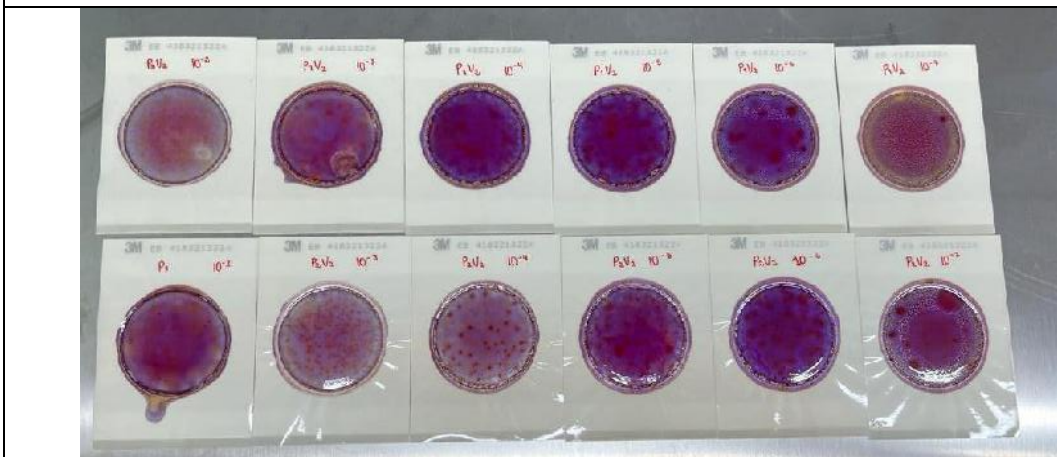
**Ilustración 31:** muestra inicial resultados *E.coli* / Coliformes



**Ilustración 32:** volteo 1 resultados enterobacterias.

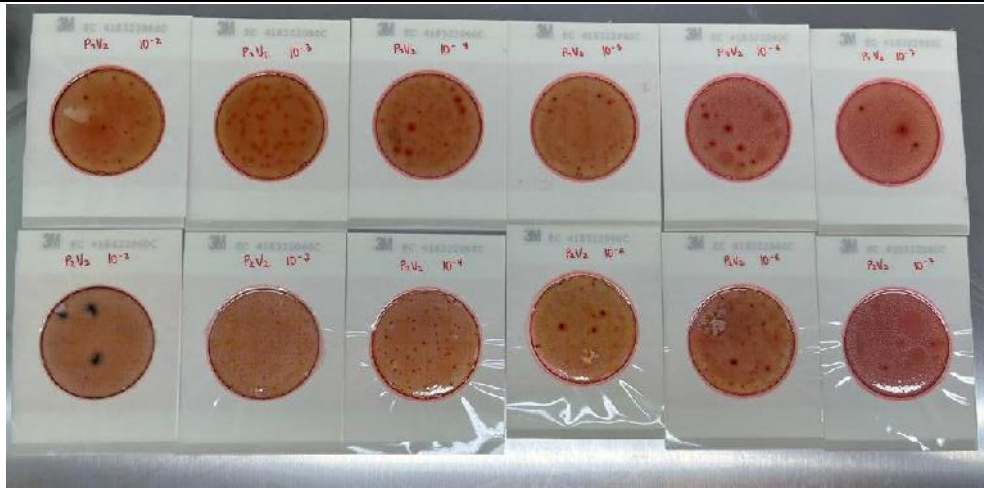


**Ilustración 33:** volteo 1 resultados *E.coli* / Coliformes

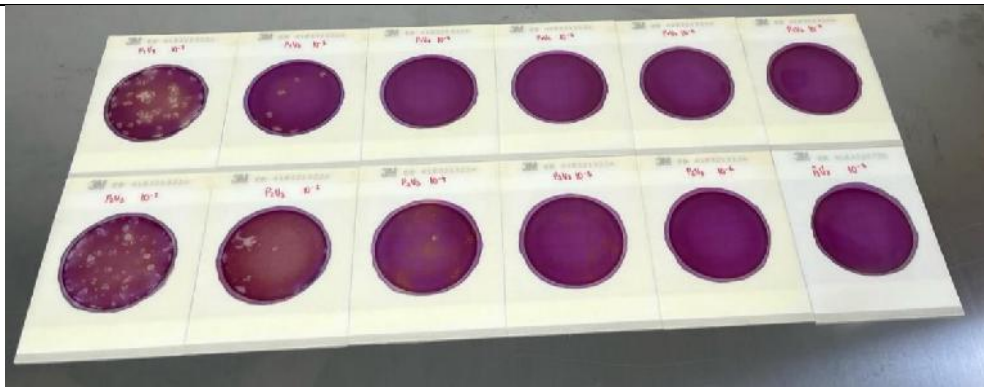


**Ilustración 34:** volteo 2 resultados enterobacterias.

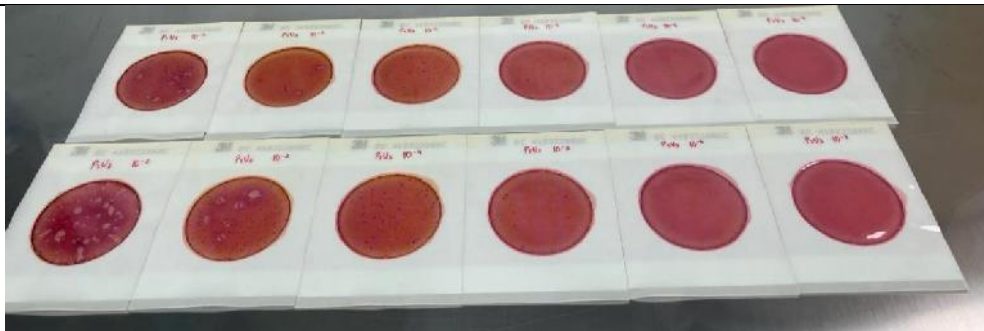




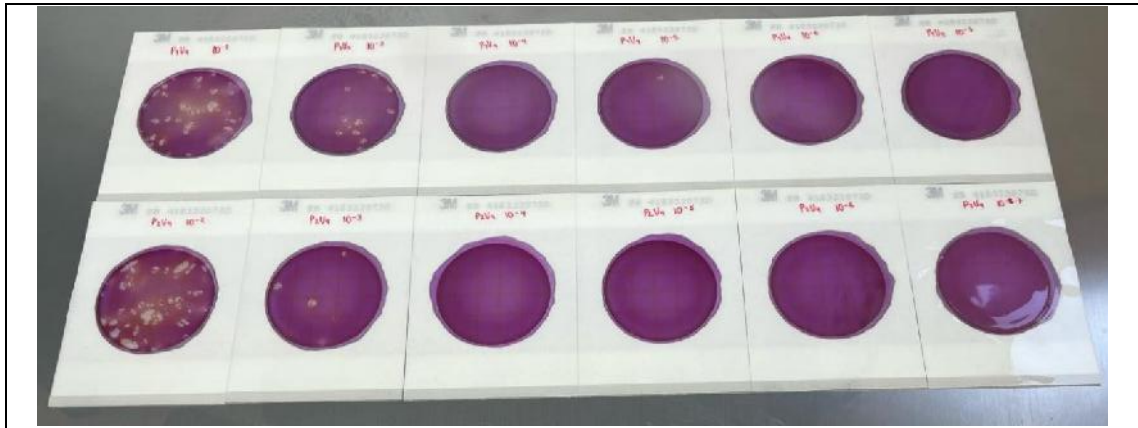
**Ilustración 35:** volteo 2 resultados *E.coli* / Coliformes



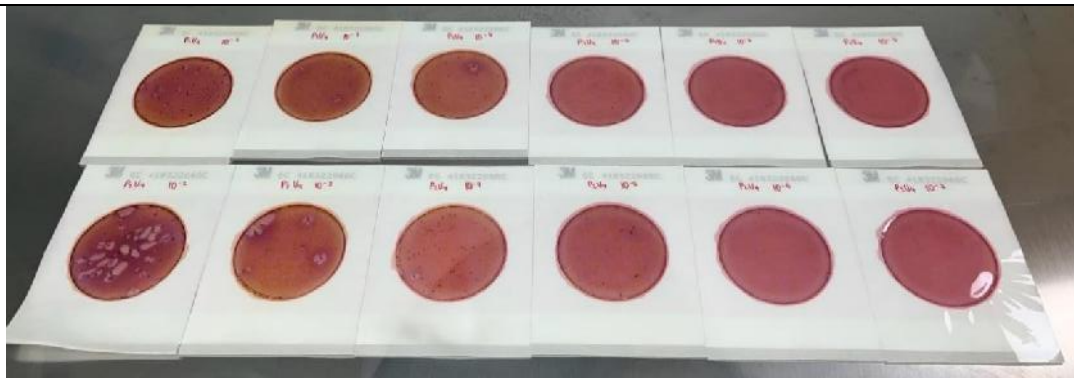
**Ilustración 36:** volteo 3 resultados enterobacterias.



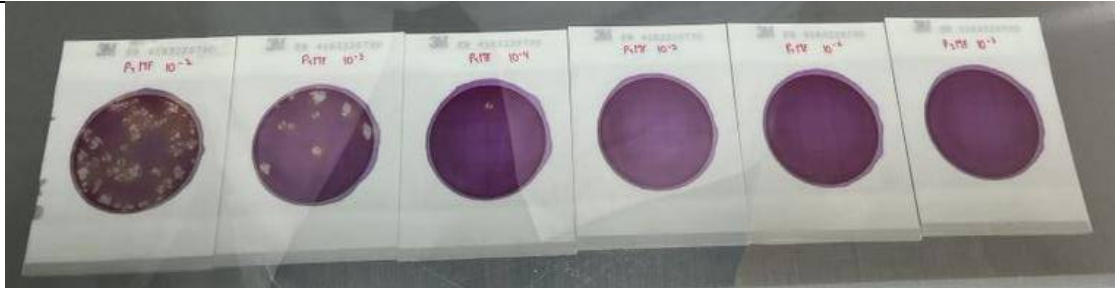
**Ilustración 37:** volteo 3 resultados *E.coli* / Coliformes



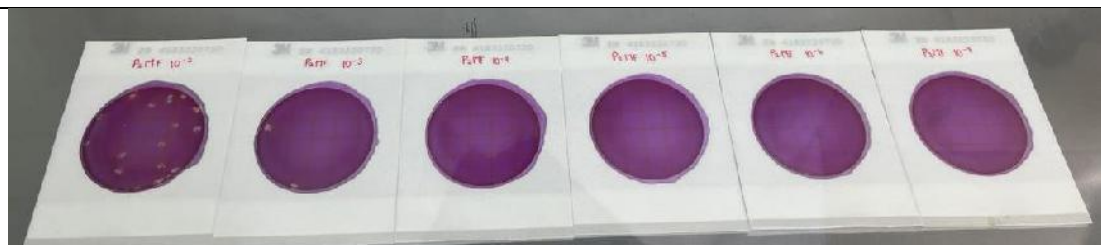
**Ilustración 38:** volteo 4 resultados enterobacterias.



**Ilustración 39:** volteo 4 resultados *E.coli* / Coliformes



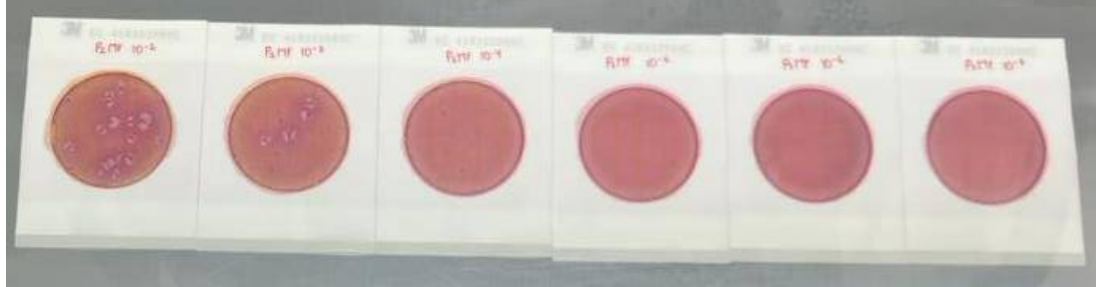
**Ilustración 40:** muestra final pila 1 resultados enterobacterias.



**Ilustración 41:** muestra final pila 2 resultados enterobacterias.



**Ilustración 42:** muestra final pila 1 resultados *E.coli* / Coliformes



**Ilustración 43:** muestra final pila 2 resultados *E.coli* / Coliformes