



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**“OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LODOS  
ACTIVADOS Y DESECHOS ORGÁNICOS DE LOS PROCESOS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (GRISES-NEGRAS)  
DE LAS PLANTAS PORTÁTILES TIPO PAQUETE DE LA  
EMPRESA PEISOL S.A”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES:**

JOHN SEBASTIÁN ACOSTA MOLINA

FERNANDA MISHHELL GUAITA BARAHONA

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**“OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LODOS  
ACTIVADOS Y DESECHOS ORGÁNICOS DE LOS PROCESOS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (GRISES-NEGRAS)  
DE LAS PLANTAS PORTÁTILES TIPO PAQUETE DE LA  
EMPRESA PEISOL S.A”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: JOHN SEBASTIÁN ACOSTA MOLINA**

**FERNANDA MISHHELL GUAITA BARAHONA**

**DIRECTOR: Dr. EDGAR IVÁN RAMOS SEVILLA, PhD.**

Riobamba – Ecuador

2023

**© 2023, John Sebastián Acosta Molina & Fernanda Mishell Guaita Barahona.**

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

Nosotros, JOHN SEBASTIÁN ACOSTA MOLINA y FERNANDA MISHELL GUAITA BARAHONA, declaramos que el presente Trabajo de Titulación 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 Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 2 de febrero de 2023



---

**John Sebastián Acosta Molina**  
**CI: 0503445223**


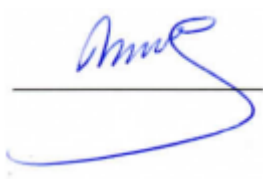



---

**Fernanda Mishell Guaita Barahona**  
**CI: 0503502908**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, “**OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LODOS ACTIVADOS Y DESECHOS ORGÁNICOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (GRISES-NEGRAS) DE LAS PLANTAS PORTÁTILES TIPO PAQUETE DE LA EMPRESA PEISOL S.A**”, realizado por los señores: **JOHN SEBASTIÁN ACOSTA MOLINA** y **FERNANDA MISHELL GUAITA BARAHONA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, 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. Hernán Patricio Tixi Toapanta.<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>             |   | 2023-02-02   |
| Dr. Edgar Iván Ramos Sevilla, PhD.<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO<br/>TITULACIÓN</b> |  | 2023-02-02   |
| Ing. Juan Carlos González García<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE<br/>TITULACIÓN</b>  |  | 2023-02-02   |

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo de titulación a mi familia, de manera especial a mi tía y a mi abuelita que desde el cielo me han guiado y acompañado en cada paso de mi vida, a madre y mi hermana, gracias por ser mi apoyo y ejemplo durante todos estos años.

Sebastián

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, porque con su amor infinito, paciencia, constancia y ejemplo han sabido guiar nuestro camino y hacer posible esta meta en mi vida profesional. A mis hermanos: Eduardo, Glenda, Mayra, María de los Ángeles (+), Amalia y Jairo, por su apoyo incondicional y ser mi ejemplo a seguir. A mi pequeño sobrino Benjamín por alegrar mis días con su sonrisa e inocencia y a mi persona especial: Miguel por su amor y apoyo constante en cada etapa de mi vida.

Fernanda

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios en primer lugar por permitirnos cumplir esta nueva meta en nuestras vidas, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por formarnos académicamente, a los docentes que en cada uno de nuestros pasos nos compartieron su conocimiento y supieron educarnos con paciencia, agradecemos de forma especial al Ing. Juan Carlos González, a la Dra. Gina Álvarez, al Ing. Víctor Hugo Valverde y al Dr. Iván Ramos por su guía en el desarrollo de este trabajo de Titulación.

A nuestros familiares y amigos quienes fueron personas importantes en nuestro paso por la vida universitaria y un gran apoyo incondicional en nuestras vidas.

A la compañía PEISOL S.A, por brindarnos la oportunidad de crecer profesionalmente.

Sebastián & Fernanda

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....         | xi   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....        | xiv  |
| RESUMEN .....                 | xv   |
| ABSTRACT.....                 | xvi  |
| INTRODUCCIÓN .....            | 1    |

### CAPÍTULO I

|   |   |
|---|---|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....            | 3 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación ..... | 3 |
| 1.2. Identificación del problema.....       | 4 |

### CAPÍTULO II

|  |    |
|--|----|
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....   | 6  |
| 2.1. Residuo.....  | 6  |
| 2.1.1. <i>Gestión integral de los residuos sólidos</i> .....                 | 6  |
| 2.1.2. <i>Clasificación de los residuos</i> .....                            | 7  |
| 2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales .....                         | 9  |
| 2.2.1. <i>Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados</i> ..... | 10 |
| 2.2.1.1. <i>Componentes del sistema de lodos activados</i> .....             | 11 |
| 2.3. Lodo residual.....  | 12 |
| 2.3.1. <i>Tipos de lodos residuales</i> .....                                | 13 |
| 2.3.2. <i>Clasificación de los lodos residuales</i> .....                    | 13 |
| 2.3.3. <i>Características de los lodos residuales</i> .....                  | 14 |
| 2.3.4. <i>Alternativas para el tratamiento de lodos</i> .....                | 16 |
| 2.4. Compostaje .....  | 17 |
| 2.4.1. <i>Etapas del proceso de compostaje</i> .....                         | 18 |
| 2.4.1.1. <i>Etapa de descomposición</i> .....                                | 18 |
| 2.4.1.2. <i>Etapa de maduración</i> .....                                    | 19 |
| 2.4.2. <i>Condiciones para el proceso de compostaje</i> .....                | 20 |
| 2.4.2.1. <i>Variables físicas</i> .....                                      | 20 |
| 2.4.2.2. <i>Variables químicas</i> .....                                     | 24 |



|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.4.2.3. | <i>Variables biológicas</i> .....  | 30 |
| 2.4.2.4. | <i>Sistemas de compostaje</i> .....  | 31 |
| 2.4.2.5. | <i>Sistemas Abiertos</i> .....   | 31 |
| 2.4.2.6. | <i>Sistemas semicerrados</i> .....   | 32 |
| 2.4.2.7. | <i>Sistemas cerrados</i> .....   | 33 |
| 2.5.     | <b>Abono orgánico</b> .....  | 33 |
| 2.5.1.   | <b><i>Tipos de abonos orgánicos</i></b> .....                                    | 33 |
| 2.5.1.1. | <i>Compost</i> .....   | 34 |
| 2.5.1.2. | <i>Biol</i> .....  | 36 |
| 2.5.2.   | <b><i>Otras técnicas empleadas para la obtención de abono orgánico</i></b> ..... | 47 |
| 2.5.2.1. | <i>Vermicompostaje</i> .....   | 47 |
| 2.5.2.2. | <i>Takakura</i> .....  | 48 |
| 2.6.     | <b>Base Legal</b> .....  | 49 |
| 2.6.1.   | <b><i>Normativa para el aprovechamiento de residuos sólidos</i></b> .....        | 49 |
| 2.6.2.   | <b><i>Normativa para el uso y aprovechamiento de lodos residuales</i></b> .....  | 51 |
| 2.6.3.   | <b><i>Normativa para el uso del compostaje</i></b> .....                         | 53 |

### CAPÍTULO III

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 3.       | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....  | 56 |
| 3.1.     | <b>Tipo de investigación</b> .....   | 56 |
| 3.2.     | <b>Localización del proyecto</b> .....   | 56 |
| 3.2.1.   | <b><i>Localización experimental</i></b> .....  | 56 |
| 3.3.     | <b>Población de estudio y tamaño de la muestra</b> .....                                       | 56 |
| 3.4.     | <b>Técnica de recolección de datos</b> .....   | 57 |
| 3.4.1.   | <b><i>Por instrumentación</i></b> .....  | 57 |
| 3.4.2.   | <b><i>Por indicadores</i></b> .....  | 57 |
| 3.5.     | <b>Metodología</b> .....   | 57 |
| 3.5.1.   | <b><i>Adecuación del espacio físico para el desarrollo del proyecto</i></b> .....              | 57 |
| 3.5.2.   | <b><i>Caracterización inicial</i></b> .....  | 58 |
| 3.5.3.   | <b><i>Elaboración de abono orgánico mediante el método Takakura</i></b> .....                  | 60 |
| 3.5.3.1. | <b><i>Preparación de la solución dulce y salada</i></b> .....                                  | 60 |
| 3.5.3.2. | <b><i>Preparación de la semilla Takakura</i></b> .....   | 62 |
| 3.5.3.3. | <b><i>Elaboración de la caja respirable y desarrollo del proceso a escala piloto</i></b> ..... | 63 |
| 3.5.3.4. | <b><i>Control de los parámetros</i></b> .....  | 64 |
| 3.5.3.5. | <b><i>Toma de muestras para el compost</i></b> .....   | 65 |
| 3.5.3.6. | <b><i>Ensayos de los análisis en el laboratorio</i></b> .....                                  | 65 |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>3.5.4.</b>   | <b><i>Elaboración de abono orgánico líquido mediante digestión anaerobia</i></b> ..... | 71 |
| <b>3.5.4.1.</b> | <i>Diseño experimental</i> .....   | 71 |
| <b>3.5.4.2.</b> | <i>Construcción del biodigestor</i> .....  | 72 |
| <b>3.5.4.3.</b> | <i>Determinación de la cantidad de muestra y de los ingredientes usados</i> .....      | 72 |
| <b>3.5.4.4.</b> | <i>Obtención de biol a escala piloto</i> .....   | 73 |
| <b>3.5.4.5.</b> | <i>Control de los parámetros</i> .....   | 73 |
| <b>3.5.4.6.</b> | <i>Separación del biosol del biol</i> .....  | 74 |
| <b>3.5.4.7.</b> | <i>Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biol</i> .....                        | 74 |
| <b>3.6.</b>     | <b>Análisis estadístico</b> .....  | 76 |

## CAPÍTULO IV

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>4.</b>       | <b>RESULTADOS</b> .....   | 78 |
| <b>4.1.</b>     | <b>Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los materiales de partida</b> .... | 78 |
| <b>4.2.</b>     | <b>Monitoreo de parámetros en el proceso Takakura</b> .....                             | 80 |
| <b>4.2.1.</b>   | <i>Evolución de la temperatura</i> .....  | 80 |
| <b>4.2.2.</b>   | <i>Evolución del pH</i> .....   | 81 |
| <b>4.2.3.</b>   | <i>Humedad</i> .....  | 82 |
| <b>4.2.4.</b>   | <i>Materia Orgánica</i> .....   | 82 |
| <b>4.2.5.</b>   | <i>Conductividad Eléctrica (CE)</i> .....   | 83 |
| <b>4.2.6.</b>   | <i>Relación C/N</i> .....   | 84 |
| <b>4.2.7.</b>   | <i>Fósforo</i> .....  | 84 |
| <b>4.2.8.</b>   | <i>Nitrógeno</i> .....  | 85 |
| <b>4.2.9.</b>   | <i>Índice de Germinación</i> .....  | 86 |
| <b>4.2.10.</b>  | <i>Capacidad de Intercambio Catiónico</i> .....   | 86 |
| <b>4.2.11.</b>  | <i>Rendimiento del compost Takakura</i> .....   | 87 |
| <b>4.3.</b>     | <b>Rendimiento del biol</b> .....   | 89 |
| <b>4.4.</b>     | <b>Análisis del proceso de digestión anaerobia</b> .....                                | 89 |
| <b>4.4.1.</b>   | <i>Análisis organoléptico</i> .....   | 90 |
| <b>4.4.2.</b>   | <i>Control del proceso</i> .....  | 90 |
| <b>4.4.2.1.</b> | <i>Temperatura interna de los biodigestores</i> .....                                   | 90 |
| <b>4.4.2.2.</b> | <i>pH en el interior de los biodigestores</i> .....                                     | 92 |
| <b>4.4.3.</b>   | <b>Caracterización del biol y análisis estadístico</b> .....                            | 93 |
| <b>4.4.3.1.</b> | <i>Conductividad eléctrica</i> .....  | 93 |
| <b>4.4.3.2.</b> | <i>Materia Orgánica</i> .....   | 94 |
| <b>4.4.3.3.</b> | <i>Nitrógeno Total</i> .....  | 96 |

|                               |                            |     |
|-------------------------------|----------------------------|-----|
| <b>4.4.3.4.</b>               | <i>Fósforo Total</i> ..... | 97  |
| <b>4.4.3.5.</b>               | <b>DBO5</b> .....          | 99  |
| <b>4.4.3.6.</b>               | <b>DQO</b> .....           | 100 |
| <b>4.4.3.7.</b>               | <b>Calcio</b> .....        | 101 |
| <b>4.4.3.8.</b>               | <b>Magnesio</b> .....      | 103 |
| <b>4.4.3.9.</b>               | <b>Hierro</b> .....        | 104 |
| <b>4.4.3.10.</b>              | <b>Coliformes</b> .....    | 105 |
| <br><b>CONCLUSIONES</b> ..... |                            | 106 |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....  |                            | 107 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>           |                            |     |
| <b>ANEXOS</b>                 |                            |     |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 1-2:</b>  | Clasificación de los residuos.....  | 8  |
| <b>Tabla 2-2:</b>  | Clasificación de lodos residuales según su composición.....                             | 14 |
| <b>Tabla 3-2:</b>  | Composición fisicoquímica típica de lodos.....  | 15 |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Contenido típico de metales pesados en un lodo residual .....                           | 15 |
| <b>Tabla 5-2:</b>  | Principales agentes patógenos presentes en lodos residuales .....                       | 15 |
| <b>Tabla 6-2:</b>  | Tratamiento y métodos empleados en los lodos .....                                      | 16 |
| <b>Tabla 7-2:</b>  | Parámetros óptimos de temperatura .....   | 21 |
| <b>Tabla 8-2:</b>  | Parámetros de humedad óptimos .....   | 23 |
| <b>Tabla 9-2:</b>  | Control del tamaño de partícula .....   | 24 |
| <b>Tabla 10-2:</b> | Parámetros de la relación carbono/nitrógeno .....                                       | 26 |
| <b>Tabla 11-2:</b> | Parámetros de pH ideal .....  | 27 |
| <b>Tabla 12-2:</b> | Control de la aireación .....   | 28 |
| <b>Tabla 13-2:</b> | Valores óptimos en el desarrollo del compostaje .....                                   | 29 |
| <b>Tabla 14-2:</b> | Temperaturas requeridas para la eliminación de microorganismos patógenos ..             | 30 |
| <b>Tabla 15-2:</b> | Tipos de biodigestores por su flujo de alimentación .....                               | 37 |
| <b>Tabla 16-2:</b> | Principales productos de la degradación de la glucosa en la etapa acidogénica           | 41 |
| <b>Tabla 17-2:</b> | Reacciones producidas durante la etapa acetogénica .....                                | 42 |
| <b>Tabla 18-2:</b> | Reacciones producidas durante la etapa de metanogénesis .....                           | 42 |
| <b>Tabla 19-2:</b> | Características fisicoquímicas del biol .....   | 47 |
| <b>Tabla 20-2:</b> | Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales .....              | 51 |
| <b>Tabla 21-2:</b> | Límites de calidad microbiológica establecido por la EPA .....                          | 52 |
| <b>Tabla 22-2:</b> | Límites máximos establecidos para metales pesados en biosólidos .....                   | 52 |
| <b>Tabla 23-2:</b> | Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos<br>.....   | 53 |
| <b>Tabla 24-2:</b> | Parámetros de la calidad de compost .....   | 54 |
| <b>Tabla 25-2:</b> | Concentraciones máximas de metales pesados en compost a base de lodos.....              | 54 |
| <b>Tabla 26-2:</b> | Aprovechamiento de biosólidos.....  | 55 |
| <b>Tabla 27-2:</b> | Límite máximo de concentraciones de metales pesados en fertilizantes orgánicos<br>..... | 55 |
| <b>Tabla 1-3:</b>  | Métodos usados para el análisis físico químico del lodo residual .....                  | 58 |
| <b>Tabla 2-3:</b>  | Métodos usados para el análisis microbiológico del lodo residual.....                   | 59 |
| <b>Tabla 3-3:</b>  | Métodos usados para el análisis físico químico del agua residual .....                  | 59 |
| <b>Tabla 4-3:</b>  | Métodos usados para el análisis microbiológico del agua residual .....                  | 60 |
| <b>Tabla 5-3:</b>  | Ingredientes y concentraciones empleados en el método Takakura .....                    | 61 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Tabla 6-3:</b>  | Proporciones para la semilla Takakura .....  | 62  |
| <b>Tabla 7-3:</b>  | Métodos fisicoquímicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos..                    | 65  |
| <b>Tabla 8-3:</b>  | Métodos microbiológicos y biológicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos .....  | 70  |
| <b>Tabla 9-3:</b>  | Formulación del blanco.....  | 71  |
| <b>Tabla 10-3:</b> | Tratamientos para la obtención de biol .....   | 71  |
| <b>Tabla 11-3:</b> | Cantidades de los ingredientes requeridos para la obtención de biol a escala de laboratorio..... | 72  |
| <b>Tabla 12-3:</b> | Métodos para análisis físico químicos del biol.....  | 76  |
| <b>Tabla 13-3:</b> | Métodos microbiológicos y biológicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos.....   | 76  |
| <b>Tabla 1-4:</b>  | Análisis fisicoquímico del lodo residual .....   | 78  |
| <b>Tabla 2-4:</b>  | Análisis fisicoquímico y microbiológico del excedente de agua en el lodo .....                   | 79  |
| <b>Tabla 3-4:</b>  | Análisis fisicoquímico y microbiológico del compost .....  | 88  |
| <b>Tabla 4-4:</b>  | Análisis organoléptico de los vióles obtenidos .....   | 89  |
| <b>Tabla 5-4:</b>  | Análisis organoléptico de los vióles obtenidos .....   | 90  |
| <b>Tabla 6-4:</b>  | Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los abonos líquidos obtenidos .....            | 93  |
| <b>Tabla 7-4:</b>  | ANOVA de la materia orgánica al final del biol .....   | 94  |
| <b>Tabla 8-4:</b>  | Prueba Dunnet para la conductividad eléctrica al final del biol .....                            | 94  |
| <b>Tabla 9-4:</b>  | ANOVA de la materia orgánica al final del biol .....   | 95  |
| <b>Tabla 10-4:</b> | Prueba Dunnet para la materia orgánica al final del biol.....                                    | 96  |
| <b>Tabla 11-4:</b> | ANOVA del nitrógeno total al final del biol .....  | 97  |
| <b>Tabla 12-4:</b> | ANOVA del fósforo total al final del biol.....   | 98  |
| <b>Tabla 13-4:</b> | ANOVA de la DBO5 al final del biol .....   | 99  |
| <b>Tabla 14-4:</b> | ANOVA de la DQO al final del biol.....   | 100 |
| <b>Tabla 15-4:</b> | Prueba Dunnet para la DQO al final del biol .....  | 101 |
| <b>Tabla 16-4:</b> | ANOVA del calcio al final del biol.....  | 102 |
| <b>Tabla 17-4:</b> | ANOVA del magnesio al final del biol .....   | 103 |
| <b>Tabla 18-4:</b> | ANOVA del hierro al final del biol.....  | 104 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                          |  |     |
|--------------------------|--|-----|
| <b>Ilustración 1-2:</b>  | Imagen representativa de una PTAR .....  | 10  |
| <b>Ilustración 3-2:</b>  | Diseño de una PTAR portátil de PEISOL S.A. ....                                  | 12  |
| <b>Ilustración 4-2:</b>  | Esquema conceptual del proceso de compostaje .....                               | 17  |
| <b>Ilustración 5-2:</b>  | Evolución de la temperatura, pH y oxígeno durante el proceso de compostaje ..... | 20  |
| <b>Ilustración 6-2:</b>  | Tipos de abonos orgánicos .....  | 34  |
| <b>Ilustración 7-2:</b>  | Esquema representativo de las etapas de la digestión anaerobia.....              | 40  |
| <b>Ilustración 1-3:</b>  | Construcción del invernadero artesanal.....                                      | 58  |
| <b>Ilustración 2-3:</b>  | Solución salada y dulce .....  | 61  |
| <b>Ilustración 3-3:</b>  | Preparación de la semilla Takakura.....  | 63  |
| <b>Ilustración 4-3:</b>  | Elaboración de la caja respirable .....  | 63  |
| <b>Ilustración 5-3:</b>  | Inicio del proceso de compostaje .....   | 64  |
| <b>Ilustración 6-3:</b>  | Inicio del proceso de anaerobio .....  | 73  |
| <b>Ilustración 7-3:</b>  | Separación del biol del biosol .....   | 74  |
| <b>Ilustración 1-4:</b>  | Evolución de la temperatura-método Takakura.....                                 | 81  |
| <b>Ilustración 2-4:</b>  | Evolución del pH-método Takakura.....  | 82  |
| <b>Ilustración 3-4:</b>  | Materia orgánica al inicio y al final del proceso Takakura .....                 | 83  |
| <b>Ilustración 4-4:</b>  | Relación C/N al inicio y al final del proceso Takakura .....                     | 84  |
| <b>Ilustración 5-4:</b>  | Evolución del nitrógeno al inicio y al final del proceso Takakura.....           | 85  |
| <b>Ilustración 6-4:</b>  | Índice de germinación en el proceso Takakura.....                                | 86  |
| <b>Ilustración 7-4:</b>  | Capacidad de intercambio catiónico en el proceso Takakura .....                  | 87  |
| <b>Ilustración 8-4:</b>  | Rendimiento del proceso Takakura .....   | 87  |
| <b>Ilustración 9-4:</b>  | Evolución de la temperatura en la digestión anaerobia.....                       | 91  |
| <b>Ilustración 10-4:</b> | Variación del pH en la digestión anaerobia .....                                 | 92  |
| <b>Ilustración 11-4:</b> | Conductividad eléctrica de los bioles .....                                      | 93  |
| <b>Ilustración 12-4:</b> | Materia orgánica de los bioles.....  | 95  |
| <b>Ilustración 13-4:</b> | Nitrógeno de los bioles.....   | 96  |
| <b>Ilustración 14-4:</b> | Fósforo total de los bioles .....  | 98  |
| <b>Ilustración 15-4:</b> | DBO5 de los bioles .....   | 99  |
| <b>Ilustración 16-4:</b> | DQO de los bioles .....  | 100 |
| <b>Ilustración 17-4:</b> | Calcio de los bioles .....   | 102 |
| <b>Ilustración 18-4:</b> | Magnesio de los bioles .....   | 103 |
| <b>Ilustración 19-4:</b> | Hierro de los bioles .....   | 104 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CARTA AVAL
- ANEXO B:** ADECUACIÓN DEL LUGAR
- ANEXO C:** PARTE EXPERIMENTAL
- ANEXO D:** FASE DE LABORATORIO
- ANEXO F:** RESULTADOS DE LABORATORIO

## RESUMEN

En la presente investigación se aprovechó el lodo procedente del tratamiento de aguas residuales de las plantas portátiles de la empresa PEISOL S.A, se estableció dos procesos biológicos para su tratamiento, los productos fueron evaluados y se determinó la calidad de cada uno. En el primer proceso se aplicó el método Takakura para obtener abono orgánico, para lo cual se elaboró la semilla con 2 kg de harina, 1,5 kg el lodo deshidratado, 3 kg de aserrín y 3,5 L de fermento, pasados 15 días la semilla fue mezclada con 15 kg de residuos sólidos orgánicos, los cuales fueron depositados en una caja respirable. Durante el tiempo de compostaje se controló la temperatura, el pH y la humedad, transcurridos 101 días el producto obtenido fue caracterizado y los resultados fueron comparados con las normas internacionales en donde se determinó que la EPA es la única que asegura el empleo del abono orgánico obtenido en la agricultura. Como segundo proceso se utilizó la digestión anaerobia para obtener biol empleando como acelerante un consorcio de bacterias ácido-lácticas en tres tratamientos denominados T1 (blanco + leche), T2 (blanco + suero) y T3 (blanco +50% leche + 50% suero), los cuales fueron sometidos al proceso de degradación en un biodigestor artesanal, durante el tiempo de fermentación se monitorearon parámetros como pH y temperatura los cuales fueron evaluados frente a un tratamiento testigo. Los resultados de los tratamientos empleados fueron analizados de forma estadística, partiendo de un diseño experimental completamente al azar, el cual fue resuelto con un ANOVA de un solo factor, una vez finalizado este proceso se determinó que el mejor tratamiento fue el T2, con el cual se obtuvo resultados favorables, también se estableció que las bacterias ácido lácticas influyen estadísticamente en parámetros como: materia orgánica, DQO y conductividad eléctrica.

**Palabras clave:** <LODOS RESIDUALES>, <TAKAKURA>, <BIOL>, <COMPOST>, <AEROBIO>, <ANAEROBIO>, <CONSORCIO BACTERIANO >.

0346-DBRA-UPT-2023





## ABSTRACT

The objective of this investigation was to take advantage of the sludge from the wastewater treatment of the portable plants of the company PEISOL S.A. two biological processes were established for its treatment, the products were evaluated, and the quality of each one was determined. In the first process, the Takakura method was applied to obtain organic fertilizer, for which the seed was made with 2 kg of flour, 1.5 kg of dehydrated sludge, 3 kg of sawdust and 3.5 L of ferment. After 15 days, the seed was mixed with 15 kg of solid organic residues deposited in a breathable box. During the composting time, the temperature, pH and humidity were controlled. After 101 days, the product obtained was characterized, and the results were compared with international standards. It was determined that the EPA is the only one that ensures the use of organic fertilizer obtained in agriculture. As a second process, anaerobic digestion was used to obtain biol using a consortium of lactic acid bacteria as an accelerator in three treatments called T1 (white + milk), T2 (white + whey) and T3 (white + 50% milk + 50% milk whey) which were subjected to the degradation process in an artisan biodigester, during the fermentation time they have monitored parameters such as pH and temperature which were evaluated against a control treatment. The treatments' results were statistically analyzed, starting from a completely randomized experimental design, which was resolved with a one-way ANOVA. Once this process was completed, it was determined that the best treatment was T2, with favourable results. It was also established that lactic acid bacteria statistically influence parameters such as organic matter, COD and electrical conductivity.

**Keywords:** <WASTE SLUDGE>, <TAKAKURA>, <BIOL>, <COMPOST>, <AEROBIC>, <ANAEROBIC>, <BACTERIAL CONSORTIUM>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

## INTRODUCCIÓN

En países como Estados Unidos y Australia se desarrollan investigaciones para la utilización de los lodos residuales con el objetivo de frenar la contaminación de los recursos afectados. En algunos países de Latinoamérica como en Argentina se han implementado plantas de compostaje de lodos residuales cuyo producto (compost) es empelado como biosólidos en las zonas agrícolas, lo cual indica que es posible aprovechar los lodos residuales y otorgarles un valor agregado (Sánchez, 2019).

La mayoría de los procesos de tratamiento de lodos residuales se basan en la deshidratación y estabilización del lodo, si bien estas metodologías de tratamiento son alternativas bastante usadas, ambas producen la proliferación de vectores y gases generados de la actividad biológica que pueden desarrollarse en este residuo, la exposición continua a los gases y organismos patógenos que se generan en este ambiente producen problemas de salud en las personas, no solo de las empresas, sino también de su entorno (Ortiz, 2017).

Los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de aguas presentan una composición elevada de materia orgánica (38%), nutrientes y minerales, por ende, al realizar un adecuado tratamiento pueden ser aprovechados en la agricultura o como mejoradores de suelos al transformarse en bioabono (Gualoto, 2016). Es por ello que, los lodos antes de ser reutilizados deben pasar por un proceso de estabilización para eliminar patógenos, disminuir la atracción de vectores, eliminar malos olores y su capacidad de putrefacción, con el fin de reducir los riesgos de contaminación. Esto conlleva a la búsqueda de procesos más eficientes para su tratamiento, una buena alternativa para estabilizar los lodos biológicamente es mediante el compostaje (Bustamante, 2017).

PEISOL S.A. es una compañía de ingeniería dedicada al tratamiento de aguas residuales, en este proceso al generarse gran cantidad de lodos (20 barriles trimestrales) y al no tener un proceso de gestión de los mismo en el sitio de su generación, es posible darle un valor agregado a este desecho, a través del desarrollo de un proceso biológico, evitando su traslado a un gestor ambiental y ahorrando recursos económicos.

La implementación de métodos alternativos de tratamiento de estos residuos, permite obtener una fuente de microorganismos beneficiosos, al ser utilizados en procesos de obtención de abonos orgánicos, para fortalecer la agricultura ecológica y a su vez que represente una fuente de ingresos para la compañía y para las familias de la zona fortaleciendo los procesos de desarrollo sostenible.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Obtener abono orgánico mediante lodos activados y desechos orgánicos de los procesos de tratamiento de aguas residuales (grises-negras) de las plantas portátiles tipo paquete de la empresa PEISOL S.A.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar física, química y microbiológicamente los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas de PEISOL S.A.
- Realizar los procesos biológicos para el tratamiento de los lodos residuales procedentes de la compañía.
- Comparar los tratamientos realizados y definir cuál es la mejor formulación para la producción de biol.
- Caracterizar los abonos orgánicos obtenidos

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

En muchos países, el aprovechamiento de lodos requiere de una infraestructura costosa, pero con fines justificados, ya que, permite solucionar problemas de contaminación al transformar un residuo peligroso en uno no peligroso y darle un uso adecuado. La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), ente regulador en Norteamérica en materia de lodos, calcula que alrededor de 16000 plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos generan aproximadamente 7 millones de toneladas de lodo anualmente (Castillo et al., 2020), de los cuales el 49% de los biosólidos se utilizan para la agricultura, silvicultura o en el mejoramiento de suelos, el 45% es dispuesto como relleno en tierra o incinerados y el 6% destinado a otros usos, por su parte la Unión Europea de los 9 millones de toneladas de lodos producidas anualmente, destina el 45% a agricultura, el 23% a la generación de energía térmica, el 18% como relleno en tierra y el 14% a la elaboración de composta (Perez, 2016).

El Atlas global para el manejo de la excreta, lodos residuales y biosólidos, publicado en el 2008 por la United Nations Human Settlements Programme y la Comisión Canadiense del manejo de lodos, especifican que los países en vías de desarrollo no consideran a los lodos residuales como un residuo a tratar, por ende disponen de poca inversión en infraestructura para su tratamiento y disposición final, en comparación con los países desarrollados que invierten en infraestructura para la estabilización de sus lodos (Perez, 2016).

En Latinoamérica, Brasil dispone el 45% de lodos residuales como relleno en tierra, el 5.6% en la agricultura y el resto tiene un uso indefinido. En nuestro país, en algunas empresas, la gestión de los lodos provenientes de las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales es escasa. Actualmente, el destino final de los mismos por parte de empresas que desean cumplir con la Normativa Ambiental Vigente, mediante él envió de los lodos a Gestores Ambientales, algunas compañías disponen los lodos residuales en rellenos sanitarios y otras organizaciones aún continúan vertiéndolas directamente al ambiente, generado en este último caso, un gran problema ambiental (Perez, 2016).

(Montaguano, 2019) en su tesis titulada: “*Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT-EP del cantón Pelileo provincia de Tungurahua*” y (Subía, 2017) en su trabajo de titulación denominado “*Valoración de lodos residuales procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS Quito para su aprovechamiento en la actividad agrícola*” concluyen que es posible obtener abono orgánico utilizando lodos residuales, pero para ello el biosólido tiene que mezclarse con materiales que

posean características complementarias, además deben contener menor cantidad de humedad, una equilibrada relación carbono nitrógeno y una mejor proporción de polímeros tales como restos de vegetales de tamaños variados que ayuden a la aireación. (Cupe y Juscamaita, 2018) mencionan además en su artículo científico designado *“Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico”*, establece que es posible obtener abono líquido en un periodo de tiempo reducido siempre y cuando al inicio del proceso fermentativo se añada un consorcio de bacterias lácticas.

## **1.2. Identificación del problema**

El aumento de la población mundial y de nuevas industrias lleva consigo un incremento del uso de recursos, incluyendo la demanda de agua existente en el planeta, esto genera a su vez un mayor volumen de agua residual, que dependiendo de sus características necesitaran un previo tratamiento para su reutilización. El manejo y disposición inadecuada de las aguas residuales genera deterioro ambiental y contaminación de fuentes superficiales, poniendo en riesgo la calidad y disponibilidad de esta, surgiendo una necesidad de emplear sistemas de recolección y tratamiento que permitan gestionar de manera eficiente este recurso (Subía, 2017).

Las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales en los últimos años han mejorado los aspectos ambientales y legales de varias entidades tanto privadas como públicas, el enfoque principal de las compañías que se dedican al tratamiento de aguas es el de depurar las aguas residuales, hasta que estas cumplan con la normativa ambiental vigente y puedan ser descargadas de forma segura a un cuerpo de agua receptor o a su vez puedan ser reutilizadas.

Entre 2018 y 2019 en el Ecuador se observa un interés de las municipalidades por desarrollar procesos de tratamiento para las aguas residuales generadas de sus actividades, en la actualidad el 70% de municipios tiene algún sistema de tratamiento de aguas, en consecuencia, el 30% de estos no han desarrollado sistemas de gestión de las aguas residuales (Terán, Arguello y Cando, 2020). Al igual que los municipios, varias industrias se han sumado a la implementación de procesos de tratamiento de aguas residuales generadas por su funcionamiento, lo cual conlleva directamente a un incremento de la cantidad de lodos o biosólidos residuales que quedan del proceso de depuración de las aguas, estos, al no disponer de un adecuado tratamiento o en varias ocasiones ninguno, se convierte en una fuente de contaminación para el ambiente, pues los lodos residuales son fácilmente putrescibles, generan mal olor y atraen vectores causantes de enfermedades (Vicencio et al., 2011), además, pueden poseer metales pesados y una alta carga de microorganismos patógenos (Mendoza y Vigíl, 2012), generando un gran impacto negativo ambiental. En consecuencia, es necesario evaluar alternativas sostenibles para su disposición, su aprovechamiento o reutilización.

La disposición final de lodos residuales conlleva gastos económicos bastante elevados, debido a la instalación de reactores estabilizadores o sistemas de deshidratación e incineración para su tratamiento y evacuación, por ende, en muchas ocasiones los lodos son vertidos a las alcantarillas, descargados a cuerpos de aguas superficiales, rellenos sanitarios e incluso incinerados sin ningún tipo de medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación ambiental (Castillo et al., 2020). Muchas empresas que se dedican al tratamiento de aguas residuales para cumplir con las exigencias legales envían los lodos generados en el proceso a gestores ambientales o a un relleno sanitario, que dependiendo de la cantidad de lodo a tratar y de sus características pueden llegar a ser muy costosos.

El interés de la Compañía de Ingeniería y Soluciones de Proyectos Integrales PEISOL S.A. a más de dar un tratamiento a las aguas residuales grises y negras, es dar un manejo integral a sus lodos residuales, evitando el envío de sus lodos residuales a un gestor ambiental y a su vez dándole un valor agregado a los mismos, ya que la cantidad producida trimestralmente se encuentra alrededor de 20 barriles de lodo. Los sistemas de tratamiento de residuos están enfocados en el aprovechamiento para obtener nuevos productos con valor agregado, que dependiendo de sus características puede ser utilizados como: fuente de microorganismos especializados, fuente de energía, abonos mejoradores del suelo a través de procesos de compostaje, entre otros (Limón, 2013).

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Residuo

Es cualquier sustancia, elemento o material sólido, semisólido, líquido o gaseoso producto de las actividades de uso, producción, consumo, industriales, domésticas y de servicio, que han alcanzado un nulo valor económico para quien los genera, pero, que son susceptibles de aprovechamiento, recuperación, transformación e incorporación al ciclo de vida de la materia y que además posee un valor económico agregado (NTE INEN 2841, 2014).

##### 2.1.1. *Gestión integral de los residuos sólidos*

El manejo integral de residuos sólidos hace referencia al conjunto de actividades relacionadas con el ciclo de vida del residuo (desde la cuna hasta la tumba), conlleva seis etapas: separación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento o aprovechamiento y disposición final (Jiménez, Nancy, 2015).

La finalidad de la gestión integral de los residuos sólidos es dar el destino más idóneo desde el punto de vista ambiental, socioeconómico y técnico, dependiendo de las características, procedencia, volumen, posibilidad de recuperación, costos de tratamiento o aprovechamiento, comercialización o su disposición final (Ministerio del Ambiente, 2017).

- **Generación:** Producción de una determinada cantidad de materiales inorgánicos u orgánicos posterior a su consumo en un determinado periodo de tiempo (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).
- **Separación:** Proceso de clasificación por el cual pasan los residuos dentro de la fuente generadora previos a ser almacenados tiempo (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).
- **Almacenamiento temporal:** Espacio físico en donde se disponen temporalmente los residuos sólidos en espera a ser recolectados para su traslado a los lugares de transferencia, tratamiento o disposición final (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).
- **Recolección y transporte:** Los residuos sólidos son tomados de sus lugares de almacenamiento temporal y llevados a los medios de transporte adecuados como son los camiones de recolección y conducidos a los sitios de acopio, tratamiento o de disposición final (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).

- **Acopio o Transferencia:** En este proceso se acumula temporalmente los residuos sólidos para luego ser llevados a los vehículos de transferencia una mayor cantidad de los mismos a un menor costo, logrando una mayor eficiencia en el sistema (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).
- **Aprovechamiento y Transporte:** En esta etapa ocurre un proceso de transformación sea esta química, física o biológica de los residuos sólidos, de modo que se pueda aprovechar su potencial y pueda ser utilizado generando un nuevo residuo, en esta fase se hace énfasis en el reciclaje, en donde el residuo luego de sufrir una transformación vuelve a ingresar a un ciclo de vida aportando a la economía circular (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).
- **Disposición final:** Los residuos cuando ya no tienen valor económico se consideran como desechos y presentan como único destino la disposición final el cual es la acción de depósito permanente de los residuos sólidos no peligrosos en rellenos sanitarios u otra alternativa aprobada por la Autoridad Ambiental Nacional, estos espacios deberán cumplir con las condiciones técnicas de diseño, construcción y operación, de modo que se minimicen los riesgos a la salud y al ambiente, controlando la generación de metano y lixiviados (Ministerio del Ambiente y Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, 2015).

### *2.1.2. Clasificación de los residuos*

Los residuos sólidos pueden ser clasificados en base a diferentes criterios tales como: estado, peligrosidad, fuente de producción, utilidad, posibilidad de tratamiento, entre otros (Guerreros, 2019).

En nuestro país, la legislación vigente, a través del el Libro VI anexo 6 clasifica a los residuos de acuerdo a su origen en:

- a) Domiciliario.
- b) Comercial.
- c) De demolición.
- d) Del barrido de calles.
- e) De limpieza de parques y jardines.
- f) Hospitalario
- g) Institucional.
- h) Industrial.
- i) Especial (TULSMA, 2017).



**Tabla 1-2:** Clasificación de los residuos

| CLASIFICACIÓN              |                | DESCRIPCIÓN  |
|----------------------------|----------------|--|
| POR SU UTILIDAD            | Reciclables    | Susceptible a ser aprovechado mediante procesos que lo reincorporan como energía o materia prima a los procesos productivos.   |
|                            | No reciclables | Equivalente a desecho, es decir que no es posible reciclarlo o reutilizarlo.   |
| POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA | Orgánicos      | Residuos biodegradables, están formados principalmente por residuos tanto alimenticios como de estiércol. Durante su proceso de putrefacción generan malos olores y por ende atraen vectores.            |
|                            | Inorgánicos    | Residuos que no pueden ser degradados o que sufren una descomposición muy lenta, son generados por la minería o por productos sintéticos.  |
| POR SU RIESGO              | Peligrosos     | Residuos con características CRETIB que generen un riesgo a la salud humana y del ambiente.  |
|                            | No peligrosos  | Residuos que no representan un riesgo para la salud y tampoco contaminan el ambiente   |
|                            | Inertes        | No se descomponen ni se transforman, su degradación natural conlleva un tiempo prolongado.   |
| POR SU ORIGEN              | Constructivos  | Procedentes de la construcción, se encuentran principalmente residuos de madera, acero, suciedad, hormigón y escombros.  |
|                            | Industriales   | Dependiendo del tipo de industria pueden presentar diversas formas tales como: plásticos, chatarras, lodos, cenizas, entre otros.  |
|                            | Hospitalarios  | En su mayoría poseen patógenos de difícil control por ende requieren de un manejo especial desde su clasificación hasta su disposición final.  |
|                            | Agrícolas      | De composición variada, por lo general son clasificados como orgánicos e inorgánicos, en el primer grupo se compone de residuos animales y vegetales y el segundo de residuos de fertilizantes químicos. |

|  |               |   |
|--|---------------|---|
|  | Domiciliarios | Generados en hoteles, residencias y alberges, tales como: plástico, cenizas, papel, cartón, restos de comida, poda, madera, suciedad, línea blanca, neumáticos, aceites y baterías, |
|  | Comerciales   | Producidos por actividades de servicios y comerciales, por ejemplo: cartón, plástico, cuero, restos de alimentos, fierro, cerámica, vidrio, latas, etc.                             |

**Fuente:**(Guerreros, 2019).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita Fernanda, 2022.

El distrito metropolitano de Quito en el año 2010 clasifica a los residuos sólidos de acuerdo a su capacidad de aprovechamiento en:

**Residuos sólidos orgánicos compostables:** Aquellos que por medios biológicos pueden ser metabolizados para lograr obtener un nuevo producto, ejemplo de estos residuos son: restos de poda, madera, residuos de alimentos excluyendo carnes y lácteos (Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

**Residuos sólidos inorgánicos no aprovechables:** Son residuos que por su naturaleza no son considerados para su aprovechamiento, entre los que destacan: toallas femeninas, algodones y gasas usadas, desechos sanitarios, polietileno, pañales desechables y el polietileno (Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

**Residuos sólidos inorgánicos secos reciclables:** Residuos que no son sufren un proceso de biodegradación pero que, si pueden ser aprovechados mediante la tecnología adecuada, estos residuos los componen: polietileno, aluminio, latas, botellas de vidrio, cartón, latas de acero, entre otros, en este grupo se excluyen: espejos, vidrios de focos, parabrisas de vehículos y tubos fluorescentes (Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

## 2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales

Se define como aquel espacio físico equipado, en el cual ocurre una serie de procesos tanto fisicoquímicos como biológicos para tratar la contaminación presente en el agua residual, por lo general las PTAR funcionan a partir de tres procesos principales para la remoción de contaminantes: tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario (GC TRATAMIENTO, 2019).

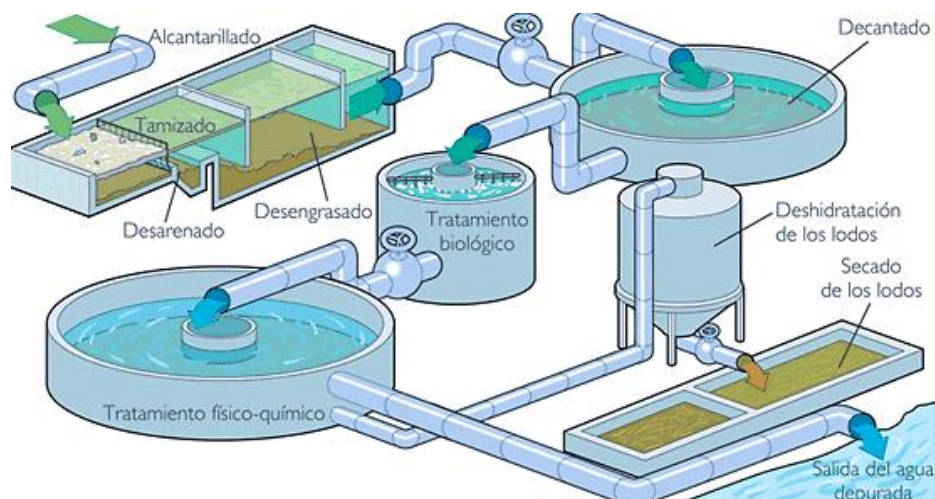
**Pretratamiento:** Etapa en la cual se da la eliminación de partículas grandes o medianas tales como: aceites y grasas, ramas, animales muertos, arenas, plásticos, ramas y piedras. Este tratamiento se conforma de rejillas, desarenadores que permiten la separación de las partículas mencionadas (Noyola, Morgan y Güereca, 2013).

**Tratamiento primario:** Se eliminan algunos sólidos y materia orgánica presente en el agua residual, en este proceso gracias a la sedimentación sea física o química se logra remover hasta el

30% de DBO5 y 60% de sólidos suspendidos así también permite una neutralización del pH, esta etapa se desarrolla en tanques en donde se añaden floculantes que permiten la sedimentación (Noyola, Morgan y Güereca, 2013).

**Tratamiento secundario:** Gracias a medios biológicos es posible eliminar la materia orgánica biodegradable ya que los microorganismos digieren los contaminantes y los transforman a materia celular, en esta etapa se eliminan también partículas coloidales. Este proceso se lleva a cabo en tanques en donde se mezcla con microorganismos en donde se desarrolla una síntesis bacteriana produciendo una baja generación de lodos de desecho (proceso anaerobio) a diferencia de los procesos aerobios en donde se obtiene una mayor cantidad de energía y por ende de lodo residual (Noyola, Morgan y Güereca, 2013).

**Tratamiento terciario:** En este proceso se pretende remover materia orgánica y sólidos suspendidos remanentes, este tratamiento es esencial si se busca cumplir con las normativas ambientales (Noyola, Morgan y Güereca, 2013).



**Ilustración 1-2:** Imagen representativa de una PTAR

**Fuente:** (Tito, 2020).

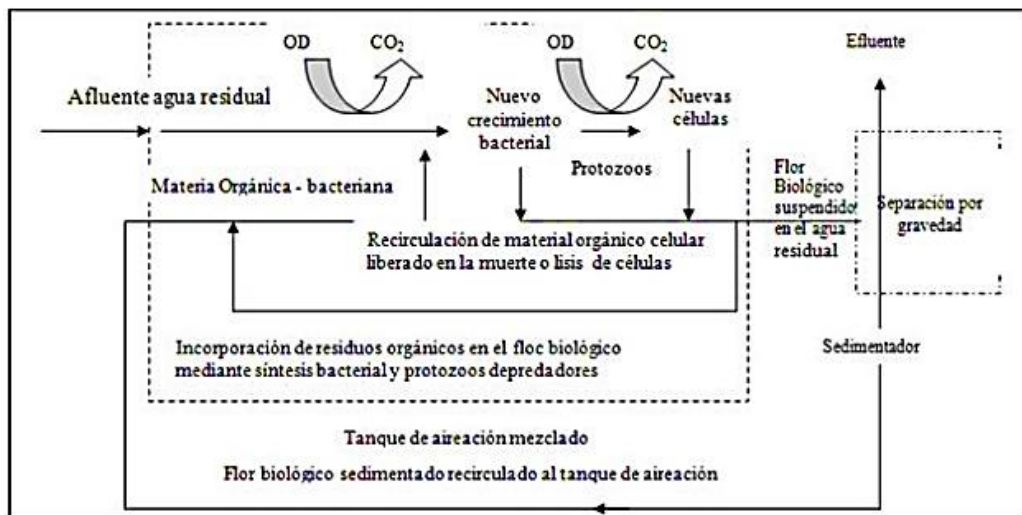
### 2.2.1. *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados*

Es un proceso biológico estrictamente aerobio ampliamente utilizado para el tratamiento de agua residual, en este método se emplea una masa activa de microorganismos que son capaces de estabilizar un desecho (Quispe et al., 2020).

Este procedimiento consiste en desarrollar cultivos bacterianos los cuales se agrupan a manera de flóculos dentro de un reactor biológico el cual debe permanecer agitado y aireado al mismo tiempo en el agua residual previamente decantada, la mezcla es homogenizada mediante la unión que ocurre entre el agua residual y los flóculos bacterianos. El oxígeno resulta indispensable en este proceso ya que permite que las bacterias y microorganismos puedan formar parte de la mezcla

(Quispe et al., 2020), por ende es necesario un control estricto de oxígeno para asegurar un contacto adecuado y un mezclado continuo del lodo activo con las aguas negras, así también la relación del volumen de lodos activados añadidos al volumen del agua residual debe mantenerse constante. La materia orgánica degradada flocula, por ende puede ser decantada, la biomasa sedimentada es recirculada al tratamiento biológico para conservar una población bacteriana adecuada y el sobrante es removido a manera de lodo (Perdomo, 2014).

El tratamiento con lodo activados se basa principalmente en que se genera un contacto íntimo entre los lodos biológicamente activados y el agua residual, estos lodos se desarrollan por una aireación prolongada bajo condiciones adecuadas para el crecimiento de microorganismos que son capaces de oxidar la materia orgánica, una vez los lodos entran en contacto con el agua residual, los materiales orgánicos se oxidan, las partículas en suspensión y los colides coagulan y forman un precipitado que sedimenta rápidamente. El proceso de depuración se desarrolla gracias a los microorganismos que se desarrollan sobre la materia orgánica y con la presencia de oxígeno así como de nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y oligoelementos, por ello este tratamiento requiere de una determinada cantidad de materia orgánica ya que compuestos en cantidades excesivas tales como metales pesados, sales y compuestos orgánicos pueden inhibir el método, o por el contrario, los nutrientes en cantidades reducidas pueden no ser suficientes para el proceso (Perdomo, 2014).



**Ilustración 2-2:** Imagen representativa de una PTAR

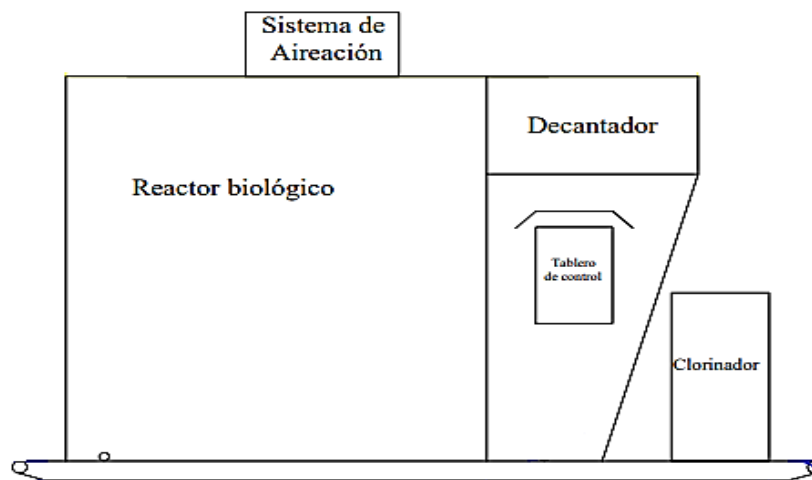
Fuente: Perdomo, 2014.

### 2.2.1.1. Componentes del sistema de lodos activados

El sistema de lodos activados está integrado por varios componentes que se relacionan entre sí:

- Tanque de aireación, el cual permite la mezcla completa o para trabajar como flujo pistón.

- Fuente de aireación, indicado para la transferencia de oxígeno y para proporcionar la mezcla que el sistema requiera, le fuente de oxígeno puede ser por soplador con difusores, aireación mecánica o mediante a inyección de oxígeno puro.
- Sedimentador el cual permite separar los sólidos biológicos del agua depurada.
- Sistema de tuberías y bombas diseñado para la recirculación de los sólidos biológicos del decantador al reactor biológico.
- Tubería para desechar el exceso de lodos del sistema, también conocido como purga de lodos (Ramírez, 2004).



**Ilustración 3-2:** Diseño de una PTAR portátil de PEISOL S.A.

Fuente: PEISOL, 2021.

### 2.3. Lodo residual

Son considerados como un sólido de humedad variada, que puede ser extraído de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o de las plantas potabilizadoras de agua, de los sistemas de alcantarillado sea urbano o municipal y que no ha sido sujeto a una técnica de estabilización (Jiménez y Méndez, 2005).

El lodo de depuradora es el subproducto más importante del tratamiento de aguas residuales, tanto por su volumen como sus características, los biosólidos son generados tanto en los tratamientos primarios como en los secundario de las aguas residuales, dada su composición en la mayoría de los casos es necesario estabilizarlos y secarlos para reducir su volumen y la atracción de vectores (Limón, 2013).

### **2.3.1. Tipos de lodos residuales**

Los lodos procedentes de la depuración de aguas depende del tipo de tratamiento que reciba el agua residual, generalmente en una PTAR de aguas domésticas los lodos son generados en el tratamiento primario y secundario (Vasquez y Vargas, 2018).

**Lodo crudo:** Lodo que no ha sido tratado o estabilizado, puede extraerse de las PTAR y produce acidificación en la digestión y olor (Huamán y Huamán, 2019).

**Lodos Primario:** Son los lodos que se extraen del sedimentador primario, están constituidos principalmente por: arenas, materiales grasosos y sólidos orgánicos e inorgánicos de mayor tamaño, este lodo se caracteriza por ser un fluido bastante denso cuya composición de agua varía entre un 93% y 97%, su color es marrón o gris con un olor desagradable (Perez, 2016).

En el proceso de sedimentación primaria la cantidad de lodos dependerá del empleo de químicos ya que al usarlos se generará una mayor remoción y por ende una precipitación química de la materia coloidal (SPENA GROUP, 2010).

**Lodo Activo:** Lodo procedente del tratamiento biológico de las aguas residuales, caracterizado principalmente por la interacción de varios microorganismos. Este tipo de lodo se puede encontrar a manera de flóculos y contienen biomasa y minerales (Perez, 2016).

**Lodos secundarios:** Son el subproducto del tratamiento secundario biológico, estos son generados en los reactores biológicos y son separados del agua por el sedimentador secundario el cual tiene forma de tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La cantidad producida dependerá de factores como la relación de sólidos totales en suspensión (SST) a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la eficiencia del tratamiento primario, la remoción de nutrientes, la cantidad de sustrato soluble y los criterios de diseño del tratamiento (SPENA GROUP, 2010) . La composición de los lodos secundarios es principalmente materia orgánica, su color es marrón y no genera mal olor con rapidez pero pueden llegar a generar un olor sumamente fuerte parecido al del lodo primario (Perez, 2016).

**Lodo digerido:** Son generados por los procesos de digestión anaerobia, su color es negro y contiene cantidades considerables de gas, si el lodo está bien digerido no debe producir olor o si lo posee su aroma debe ser bastante ligero. Este tipo de lodos contiene una proporción de materia orgánica entre el 45-60% (Perez, 2016).

### **2.3.2. Clasificación de los lodos residuales**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) clasifica a los lodos dependiendo su contenido de contaminantes tanto químicos como microbiológicos.

La tabla 2-2 detalla la clasificación de los lodos residuales de acuerdo a su composición de metales pesados.

**Tabla 2-2:** Clasificación de lodos residuales según su composición

| <b>Contaminantes</b>      | <b>Tipo</b>   | <b>Descripción</b>   |
|---------------------------|---------------|--|
| Metales pesados           | Peligrosos    | Son los lodos residuales que contienen altos niveles de metales, es decir que sobrepasan las concentraciones establecidas por la EPA (Ver Tabla 20-2.) |
|                           | No Peligrosos | Biosólidos cuya concentración de contaminantes tóxicos son inferiores a los valores establecidos por la EPA (Ver Tabla 20-2.)                          |
| Microorganismos patógenos | Clase A       | Lodos que no poseen niveles detectables de microorganismos patógenos (Ver Tabla 21-2) y satisfacen los requerimientos de reducción de vectores.        |
|                           | Clase B       | Son restringidos al público debido a su contenido detectables de agentes patógenos (Ver Tabla 21-2) por ende reciben tratamiento.                      |

Fuente: Metcalf & Eddy, p. 871

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 2.3.3. Características de los lodos residuales

Un lodo es un residuo extremadamente líquido, ya que su contenido de agua es mayor al 95%, su composición química y microbiológica dependerá de la carga de contaminación que posea el agua residual y de los procedimientos que se lleve a cabo para tratarla. Los mecanismos de depuración de las aguas estarán en función de la concentración de los contaminantes presentes en la misma y por ende, los lodos residuales contendrán una amplia diversidad de materias suspendidos o disueltos, algunos de ellos con valor en la agricultura como es el caso de elementos que se encuentran en mayor cantidad tales como: la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio y en menor concentración: el calcio, el magnesio y otros micronutrientes esenciales para las plantas, por otro lado los lodos también albergan potenciales contaminantes como son los metales pesados, entre ellos se encuentran: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn, así como patógenos y los contaminantes orgánicos (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

La tabla 3-2 describe la composición fisicoquímica común que presentan los lodos residuales, mientras que la tabla 3-3 establece el contenido típico de metales pesados en los fangos.

**Tabla 3-2:** Composición fisicoquímica típica de lodos

| PARÁMETROS               | UNIDADES | LODO              |                      |           |
|--------------------------|----------|-------------------|----------------------|-----------|
|                          |          | Primario<br>crudo | Primario<br>digerido | Activado  |
| Sólidos secos<br>totales | %ST      | 2,0-8,0           | 6,0-12,0             | 0,83-1,16 |
| Sólidos volátiles        |          | 60,0-80,0         | 30-60                | 59-88     |
| Proteínas                |          | 20-30             | 15-20                | 32-41     |
| Nitrógeno                |          | 1,5-4             | 1,6-6,0              | 2,4-5     |
| Fósforo                  |          | 0,8-2,8           | 1,5-4,0              | 2,8-11    |
| Potasio                  |          | 0-1               | 0,4                  | 0,5-0,7   |
| pH                       | u.pH     | 5,0-8,0           | 6,5-7,5              | 6,5-8     |

Fuente: Metcalf & Eddy, p. 871.

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 4-2:** Contenido típico de metales pesados en un lodo residual

| Metal     | Fango seco (mg/kg) |
|-----------|--------------------|
| Arsénico  | 1,1-230            |
| Cadmio    | 1-3.410            |
| Cromo     | 10-99.000          |
| Cobalto   | 1,3-2.490          |
| Cobre     | 84-17000           |
| Hierro    | 1.000-154.000      |
| Plomo     | 13-26.000          |
| Manganeso | 32-9.870           |
| Mercurio  | 0,6-56             |
| Molibdeno | 0,1-214            |
| Níquel    | 2-5.300            |
| Selenio   | 1,7-17,2           |
| Estaño    | 2.6-329            |
| Zinc      | 101-49.000         |

Fuente: Metcalf & Eddy, p. 873

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 5-2:** Principales agentes patógenos presentes en lodos residuales

| Grupo | Organismos              | Afecciones a la salud         |
|-------|-------------------------|-------------------------------|
|       | <i>Salmonella Typhi</i> | Paratifoidea, fiebre tifoidea |



|           |                                     |                                  |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Bacterias | <i>Salmonella paratyphi</i> Ay B    | Disentería bacilar               |
|           | <i>Shigella p.</i>                  | Cólera                           |
|           | <i>Vibrio cholerae</i>              | Diarreas, gastroenteritis agudas |
|           | <i>Echerichia coli</i>              | Diarreas                         |
|           | <i>Salmonella sp.</i>               |                                  |
|           | <i>Giardia lamblia intestinales</i> | Gastroenteritis                  |
| Helmintos | <i>Taenia saginata</i>              | Cisticercosis                    |
|           | <i>Ascaris lumbricoides</i>         | Ascariasis                       |
|           | <i>Ticheuris irichiuria</i>         | Tricocfalosis o tricuriasis      |
|           | <i>Toxocara spp.</i>                | Toxoplasmosis                    |

Fuente: (Ortiz, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La caracterización de los lodos residuales permite conocer la concentración de nutrientes que posee el biosólido y de elementos dañinos que deben ser eliminados. Para la caracterización química y bioquímica de oxígeno es ideal utilizar técnicas espectrofotométricas y para el caso de sólidos se emplean métodos volumétricos o gravimétricos, para el nitrógeno total se utiliza el método Kjeldahl, mientras que para el fósforo total se emplea cloruro de estaño. Para el caso de metales pesados se realiza a través de absorción atómica. En base a estudios realizados se ha establecido un grupo de indicadores que deben ser cuantificados para conocer el grado de contaminación del lodo, esta información ayuda a una adecuada selección del proceso de tratamiento desde el punto de vista económico y ambiental (Amador, Veliz y Bataller, 2015).

#### 2.3.4. Alternativas para el tratamiento de lodos

Los objetivos del tratamiento de lodos residuales están direccionados a lograr su estabilización para garantizar una degradación controlada de las sustancias orgánicas que contienen, así como eliminar el olor, disminuir el volumen e inactivar organismos patogénicos que permitan una utilización posterior o disposición final (Amador, Veliz y Bataller, 2015).

La tabla 6-2 resume los métodos empleados para los lodos residuales dependiendo el tipo de tratamiento que se establezca.

**Tabla 6-2:** Tratamiento y métodos empleados en los lodos

| Tratamiento | Métodos empleados |
|-------------|-------------------|
|-------------|-------------------|

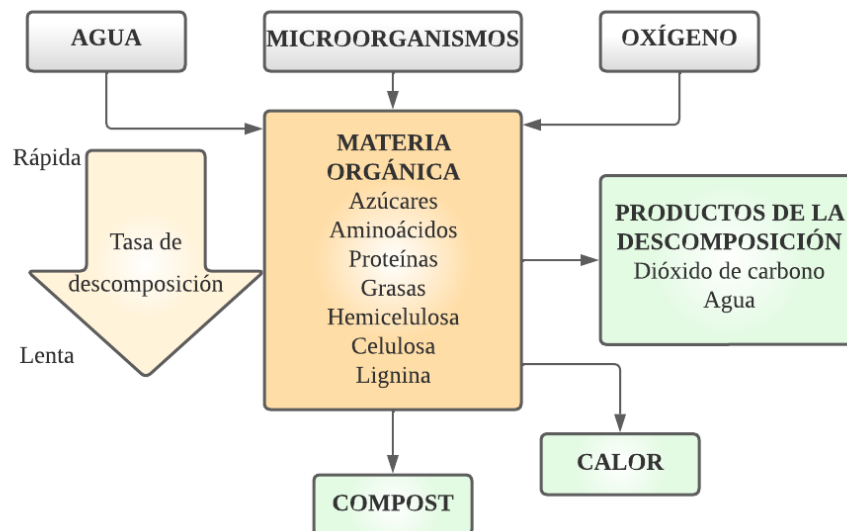
|                            |   |
|----------------------------|---|
| <i>Operaciones previas</i> | Bombeo, trituración, desarenado, homogeneización          |
| <i>Espesamiento</i>        | Gravedad, flotación, centrifugación, filtros de bandas    |
| <i>Estabilización</i>      | Cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia y aerobia   |
| <i>Deshidratación</i>      | Filtraciones, centrifugación, secado                      |
| <i>Desinfección</i>        | Pasteurización, química, almacenamiento de larga duración |
| <i>Acondicionamiento</i>   | Químico, térmico  |
| <i>Secado térmico</i>      | En Hornos, incineración, evaporadores múltiples           |
| <i>Compostaje</i>          | Biológico aerobio   |

Fuente: Amador et al., 2015.

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

## 2.4. Compostaje

Es una técnica biotecnológica, el cual corresponde a un proceso de biooxidación aeróbica en donde se emplean residuos orgánicos para generar un compuesto rico en nutrientes, mediante la acción de microorganismos descomponedores, los cuales actúan bajo condiciones controladas de temperatura, pH, humedad y aireación principalmente, el producto final denominado compost puede incrementar la producción agrícola e incluso reducir y eliminar el uso de fertilizantes químicos (Skanavis et al., 2020).



**Ilustración 4-2:** Esquema conceptual del proceso de compostaje

Fuente: (Campos, Elías y Flotats, 2012).

La Ilustración 4-2 resume el proceso de compostaje, los microorganismos requieren de agua y oxígeno para transformar la materia orgánica, la cual dependiendo de su composición ocurrirá una descomposición rápida (azúcares, aminoácidos y proteínas), lenta (grasas, hemicelulosas y

celulosas) o muy lenta (lignina), durante el proceso se generará la liberación de calor, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en forma de vapor, al finalizar el proceso el cual puede tardar semanas o meses dependiendo del tratamiento, se obtendrá un producto denominado compost (Jara, 2016).

#### ***2.4.1. Etapas del proceso de compostaje***

Se compone de dos fases consecutivas denominadas: descomposición y maduración, en la primera etapa la materia orgánica es descompuesta a hidratos de carbono, lípidos y proteínas gracias a la acción de microorganismos tales como: bacterias, actinomicetos y hongos, durante este proceso en un medio aerobio con condiciones físicas adecuadas se genera reacciones exotérmicas que pueden llegar a superar los 70°C. En la etapa de maduración se desarrollan procesos de biopolimerización que dan lugar a la formación de moléculas estables y complejas (Elias, 2012).

##### ***2.4.1.1. Etapa de descomposición***

En esta fase se produce una descomposición biológica de las moléculas con fácil degradación, generando a su vez un aumento en la temperatura y una evaporación del agua contenida inicialmente, debido a la formación de ácidos grasos en este proceso suscita una disminución inicial del pH. La duración mínima de esta etapa no se puede precisar ya que depende de las características de los materiales a compostar (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016, pp.46-61).

#### **Etapa mesófila**

Al iniciar el proceso de compostaje, el material de partida se encuentra a temperatura ambiente y luego de pocos días, incluso horas la temperatura comienza a incrementa hasta alcanzar los 45°C, dicho aumento se debe a la acción de los microorganismos (hongos mesófilos, bacterias y actinomicetos) que en presencia de agua y oxígeno consumen fuentes sencillas de carbono y nitrógeno, esta fase da inicio al proceso de descomposición de compuestos solubles tales como: aminoácidos, ácidos grasos, lípidos, azúcares y carbohidratos. El valor del pH también se ve alterado debido a la descomposición de proteínas en aminoácidos, así como de glúcidos y lípidos en ácido pirúvico, produciendo que el potencial de hidrógeno descienda de una pH 7 hasta un valor de 5,5 a 6 (Román, 2013).

## **Etapa termófila**

También conocida como fase de higienización, ocurre una vez la temperatura del material de partida sobrepasa los 45°C. Tanto bacterias como hongos mesófilos entran en una fase de latencia, mientras que las bacterias y actinomicetos termófilos transforman el nitrógeno en amoníaco haciendo que el pH incremente pasando de 5,5 hasta 7,5. Una vez la temperatura llegue a 60°C las bacterias productoras de esporas y actinobacterias empiezan la degradación de fuentes más complejas de carbono como la cera, celulosa, hemicelulosa y la lignina. Debido a las altas temperaturas que se generan en esta etapa (hasta 65°C) se consigue una disminución de bacterias contaminantes de origen fecal tales como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, las temperaturas superiores a 55°C también ayudan a eliminar quistes y huevos de helmintos, semillas de malezas y esporas de hongos fitopatógenos que pueden encontrarse en el material inicial. El color del abono orgánico que se está formando adquiere un tono oscuro y el olor similar al de tierra mojada. Esta etapa puede durar desde días hasta meses dependiendo de los materiales de partida, el lugar y condiciones climáticas (Román, 2013).

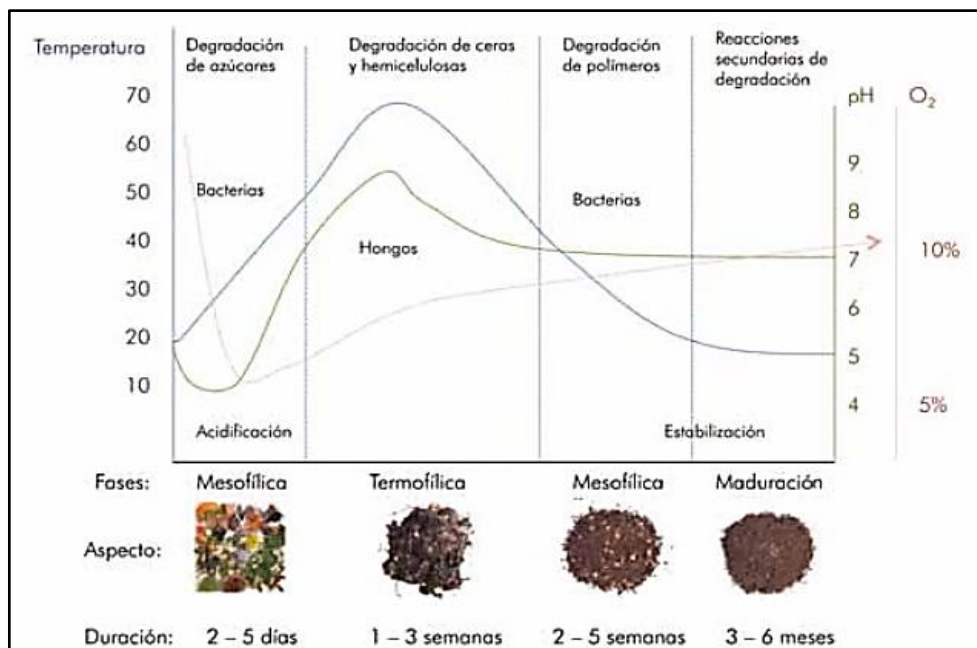
## **Etapa de enfriamiento**

Una vez agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno contenidas en el material de compostaje, la temperatura empieza a descender hasta caer entre los 40 a 45°C a estas temperaturas la degradación de algunos polímeros como la celulosa aún continúa, cuando la temperatura baja de los 40°C los microorganismos mesófilos recolonizan el compostaje hasta utilizar toda la energía sobrante, el pH del medio baja lentamente, por lo general el potencial de hidrógeno se mantiene ligeramente alcalino. Esta etapa puede durar de varias semanas a meses ya que depende de los componentes iniciales del material a compostar, así como del control de las condiciones que afectan el proceso de compostaje (Román, 2013).

### *2.4.1.2. Etapa de maduración*

En esta etapa el pH y la temperatura logran estabilizarse, cuando el pH es menor a 7 indica que el compost se encuentra inmaduro y si es básico indica que el proceso ha finalizado tal como se aprecia en la ilustración 5-2. Durante el proceso de maduración del compost se desarrollan reacciones secundarias tales como la condensación y la polimerización de compuestos con contenido de carbono, esto permite la generación de ácidos fúlvicos y húmicos (Román, 2013). Los actinomicetos son los responsables de la formación de los ácidos húmicos así también son productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de patógenos y bacterias, mientras que los

nemátodos, rotíferos, lombrices y escarabajos incrementan el área superficial permitiendo el ingreso de los microorganismos. Este proceso puede durar varios meses (Navarro y Navarro, 2014).



**Ilustración 5-2:** Evolución de la temperatura, pH y oxígeno durante el proceso de compostaje

Fuente:(Román, 2013).

#### 2.4.2. Condiciones para el proceso de compostaje

El compostaje es un proceso aparentemente sencillo porque no se requieren complicaciones tecnológicas, sin embargo llega a ser un proceso complejo en el cual intervienen muchos factores los cuales si no cumplen con las condiciones mínimas no se obtendrá un producto estable y beneficioso para el suelo y por ende para los cultivos (Campos, Elías y Flotats, 2012).

##### 2.4.2.1. Variables físicas

**Temperatura:** Es el resultado de un balance energético entre el calor generado en el proceso aerobio de oxidación de los sustratos y las pérdidas de calor ocasionadas debido a la evaporación del agua contenida en el residuo. La energía que liberan los microorganismos es por su metabolismo aerobio, pero este no es en su totalidad eficiente y se requiere de la energía que albergan los sustratos, los cuales son transformados en energía térmica, el cual es liberados al entorno, tanto la generación cómo la liberación de energía térmica al exterior depende de: los residuos a compostar, tamaño de los residuos, la configuración del proceso, propiedades aislantes y temperatura del entorno (Chica et al., 2015).

La temperatura es uno de los factores claves en el desarrollo del compostaje ya que, condiciona las reacciones bioquímicas de las células de los microorganismos, es decir, de ella dependerá que los consorcios microbianos degraden en cada momento los residuos, que tengan una buena actividad metabólica así como su crecimiento y determinando la desinfección al finalizar el proceso (Bohorquéz, 2019).

En base a la evolución de la temperatura se puede controlar tanto la eficiencia como el grado de estabilización del proceso de compostaje, ya que existe una relación directa entre la temperatura y el grado de degradación de la materia orgánica. Si la temperatura es muy elevada no existe crecimiento microbiológico ya que se genera un “suicidio” de estos microorganismos y a temperaturas muy bajas no se desarrollan adecuadamente, tanto las elevadas como las bajas temperaturas pueden llegar a retrasar el desarrollo del compostaje (Ocaña, 2022) . El proceso inicia a una temperatura ambiente, posterior, debido a la actividad microbiana inicia la degradación de los residuos y la temperatura incrementa gradualmente, observándose tres fases principales en el proceso de compostaje: Mesófila inicial ( $T < 45^{\circ}\text{C}$ ), Termófila ( $> 45^{\circ}\text{C}$  hasta  $80^{\circ}\text{C}$ ) y enfriamiento (temperatura cercana al ambiente) (Jara, 2016).

En la tabla 7-2 se observan los parámetros óptimos a los cuales debe desarrollarse el proceso de compostaje, junto con las posibles soluciones en caso de que la temperatura descienda o incremente.

**Tabla 7-2:** Parámetros óptimos de temperatura

| <b>Temperatura</b>              | <b>Causas</b>  | <b>Efectos</b>  | <b>Soluciones</b>  |
|---------------------------------|--|---|--|
| Bajas:<br>Temperatura<br>< 35°C | -Humedad insuficiente.                                   | Los microorganismos disminuyen su actividad metabólica y la temperatura desciende.  | -Humedecer el material<br>-Añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad. |
|                                 | -Material Insuficiente.<br>-Forma inadecuada de la pila. | No se alcanza la temperatura adecuada.  | Añadir material a la pila de compostaje.   |
|                                 | -Déficit de nitrógeno<br>-Baja relación C: N.            | Material con una alta relación C: N no tiene suficiente nitrógeno para generar enzimas y proteínas y ralentizan su actividad. La pila | Colocar material con alto contenido de nitrógeno como el estiércol.                |

|                               |                                    |  |   |
|-------------------------------|------------------------------------|--|---|
|                               |                                    | demora más de una semana en incrementar su temperatura.  |   |
| Altas temperaturas<br>T >70°C | Ventilación y humedad insuficiente | La temperatura es demasiada alta que inhibe el proceso de descomposición. Existe actividad microbiana, pero es insuficiente para activar a los microorganismos mesófilos y por ende terminar el proceso. | -Volteo y control de la humedad (55-60%)<br>- Adición de material con alto contenido de carbono que sea de lenta degradación como la madera o pasto seco. |

**Fuente:**(Román, 2013).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

*Humedad:* El agua es muy importante en los procesos microbiológicos, puesto que, los microorganismos requieren de humedad ambiental para sobrevivir y únicamente degradan sustratos cuando están disueltos en agua, representando un medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular y por ende jugando un rol primordial en el compostaje ya que al ser este un proceso biológico de descomposición de residuos orgánicos, el agua es imprescindible para que los microorganismos cumplan sus funciones fisiológicas (Chica et al., 2015) .

El protoplasma de las células microbianas y de los restos orgánicos empleados en el compostaje están conformados por un contenido considerable de agua, de modo que la humedad al iniciar el proceso debe encontrarse alrededor del 50%, este porcentaje ayuda al incremento de las poblaciones microbianas que se encuentran de forma natural en los residuos y que con reacciones enzimáticas son transformadas en moléculas orgánicas más estables (Bohorquéz, 2019).

La humedad es un parámetros físico que varía de acuerdo a la naturales de los materiales que se van a compostar, en el caso de materiales fibrosos o residuos forestales gruesos para iniciar la humedad oscila entre un 75 a 90% , para materiales vegetales frescos se encuentra entre un 50-60% (Campos, Elías y Flotats, 2012). Cuando los principales componentes son sustratos como el aserrín, paja y hojas secas estos deben ser mayormente humedecidos durante el compostaje en comparación con residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped (Román, 2013). La humedad debe ser controlada de forma tal en que los poros no llegues a ser ocupados en su totalidad de modo que se permita una correcta aireación debido a la circulación de oxígeno por ser un mecanismo aerobio y de los gases producidos en el proceso (Ocaña, 2022).

La tabla 8-2 establece los parámetros óptimos para la humedad en el proceso de compostaje.

**Tabla 8-2:** Parámetros de humedad óptimos

| <b>Porcentaje de humedad</b> | <b>Problema</b>      | <b>Efecto</b>  | <b>Solución</b>   |
|------------------------------|----------------------|--|---|
| <45%                         | Humedad insuficiente | Detiene el proceso de compostaje por falta de agua a los microorganismos | -Regular la humedad, proporcionando agua al material.<br>-Añadir material fresco con mayor contenido de agua como son los restos de fruta, verduras, etc. |
| 45% - 60% RANGO IDEAL        |                      |  |   |
| >60%                         | Oxígeno insuficiente | Material muy húmedo, el oxígeno no circula y se genera anaerobiosis.     | -Voltar la pila<br>-Adición de material seco y con alto contenido de carbono como son los aserrines, las hojas secas y paja                               |

**Fuente:**(Román, 2013).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

*Tamaño de partícula, porosidad, espacio de aire libre:* El tamaño de partícula del material a compostar es importante ya que, la mayor parte de los procesos microbianos del compostaje ocurren en la superficie de las partículas, de modo que cuanto menor sea la partícula, mayor relación superficie/ volumen tendrá, esta buena relación mejora el proceso de compostaje, sin embargo, la reducción del tamaño de la partícula no solo está asociado con el incremento de superficie disponible para las reacciones microbianas, también está asociado con la disminución en la porosidad de la matriz del compost, provocando que el oxígeno necesario para las reacciones aerobias del compostaje deba realizarse a través de espacios intersticiales más pequeños, ya que se genera una mayor proximidad de las pequeñas partículas sólidas, esto ocasiona que una limitada transferencia de oxígeno a la fase líquida y por ende una reducción en la velocidad de degradación de los residuos a compostar, por lo general se recomienda un tamaño de partícula de 1 cm para cuando exista aireación forzada y 5 cm para aireación no forzada (Chica et al., 2015).

La tabla 9-2 detalla los efectos junto con las soluciones dependiendo el tamaño de partículas presentes en la degradación.



**Tabla 9-2:** Control del tamaño de partícula

| <b>Tamaño de las partículas</b> | <b>Problema</b>     | <b>Efecto</b>  | <b>Solución</b>  |
|---------------------------------|---------------------|--|--|
| > 30 cm                         | Exceso de aireación | Los materiales con un gran tamaño desarrollan canales de aireación que provocan un descenso en la temperatura y desaceleran el proceso.  | Picar el material hasta obtener un tamaño medio de partícula entre 10-20 cm    |
| 5-30 cm RANGO IDEAL             |                     |  |  |
| < 5 cm                          | Compactación        | Las partículas finas crean poros pequeños que se llena de agua, esto facilita la compactación del material y un flujo restringido de aire, esto provoca reacciones anaeróbicas | -Voltar la pila<br>-Añadir material de tamaño mayor y voltear para homogenizar |

Fuente:(Román, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La porosidad se define como el espacio libre entre las partículas sólidas y es de gran importancia en el proceso de compostaje porque los poros suministran de conductos al sistema, a través de los cuales se transportan los nutrientes, de este modo permiten el crecimiento de los microorganismos y también sirven para almacenar la humedad (Chica et al., 2015).

El espacio de aire libre se define como el porcentaje de los poros ocupados por la fase gaseosa, este espacio resulta esencial para el movimiento de gases implicados en el compostaje tales como el oxígeno y el dióxido de carbono principalmente, ya sea por difusión, convección o ventilación forzada, cuando el espacio de aire libre es reducido se genera limitaciones por la falta de oxígeno o en la transferencia de oxígeno a la capa líquida en la que se genera el proceso de compostaje, reduciendo la velocidad y eficacia del proceso. Para el control de la porosidad y el espacio libre en los sistemas de compostaje se recurre a la adición de enmiendas o agentes estructurantes, este último es un material adicionado a un proceso de compostaje con el fin de reducir la densidad y por ende aumentar la porosidad y el espacio de aire libre (Chica et al., 2015).

#### 2.4.2.2. Variables químicas

*Nutrientes y la Relación C/N:* La presencia de concentraciones adecuadas de nutrientes facilita el proceso biológico y determina su disponibilidad al finalizar el compostaje, por ende, tienen

relación directa con la calidad y el uso del compost que se obtenga. Entre los nutrientes más importantes destaca el carbono (C), el cuál debe encontrarse en mayor cantidad ya que representa el 50% de las células de los microorganismos y el 25% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se desprende de la respiración celular, el nitrógeno (N) es otro elemento indispensable junto con el carbono para la formación de la pared celular y del protoplasma microbiano, además de que acondicionan la calidad del compost como fertilizante, el fósforo (P) también comprende el grupo de nutrientes esenciales en el proceso de compostaje, pues es necesario para el metabolismo microbiano, otro compuesto que desempeña un papel importante a nivel metabólico y en el proceso de división celular es el potasio (K), conformando de este modo el grupo de nutrientes principales que intervienen en el proceso biológico de compostaje (Chica et al., 2015).

Los micronutrientes o elementos traza también son necesarios en este proceso, ya que aseguran la síntesis de enzimas imprescindibles para la hidrólisis o funciones metabólicas, los oligoelementos más empleados por los microorganismos son el calcio (Ca), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn), magnesio (Mg), Molibdeno (Mo), Zinc (Zn), Selenio (Se) y Sodio (Na), si bien estos se encuentran en cantidades suficientes en los residuos, es importante considerar que en cantidades mayores puede llevar a la toxicidad y por ende a la destrucción de algunos microorganismos benéficos (Chica et al., 2015).

La relación C/N de un compost dependerá de la composición inicial de los materiales a compostar y de aquellos que se vayan adicionando al proceso, por ello es importante caracterizar la materia prima al inicio debido a la influencia que tiene sobre la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica (Calle, 2018).

Los microorganismos generalmente emplean 30 partes de carbono por una de nitrógeno, por ello se considera que la relación C/N teóricamente óptimo es de 25 a 35, con esta relación se asegura que los microorganismos posean la cantidad idónea de carbono y nitrógeno para la síntesis celular y la degradación de sustratos. Román, 2013 por su parte establece la relación ideal C/N se encuentra de entre 15 a 35 tal como se detalla en la tabla 10-2. Es importante mencionar que a lo largo del proceso de compostaje la relación C/N decrecerá de forma considerable ya que el carbono es eliminado en forma de  $\text{CO}_2$ , una vez el compost este maduro su relación C/N será cercana a 10 (parecida a la del humus) (Chica et al., 2015). En la práctica se considera que el compost es estable cuando su relación C/N es menor a 20, si bien esta es una condición necesaria no significa que sea suficiente. Cuando los productos que se compostan poseen un  $\text{C/N} < 19$ , el proceso se lleva a cabo con mayor rapidez, pero; el N en exceso se desprende como amoníaco, si bien estas pérdidas no producen una afección negativa al proceso biológico, supone un mal gasto de nitrógeno (elemento esencial en los cultivos) y un problema ambiental, puesto que el amoníaco es un gas de efecto invernadero. Como se explicó con anterioridad, el fósforo también es un nutriente importante por ende debe encontrarse presente en el proceso, una buena relación entre nutrientes permite una buena capacidad para la proliferación microbiana, la relación C/P óptima

para el compostaje se encuentra en el rango de 75 y 150, mientras que la relación N/P en un rango de 5 y 20 (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005). La relación C/N se obtiene de la relación numérica al dividir el contenido de carbono (%C total) sobre el contenido de nitrógeno total (%N total) de los materiales a compostar (Román, 2013).

Ecuación para el cálculo de la relación C/N.

$$R = \frac{Q_1 * (C_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (C_2 * (100 - M_2)) + \dots}{Q_1 * (N_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (N_2 * (100 - M_2)) + \dots}$$

*Dónde:*

*R:* Relación carbono/ nitrógeno

*Q<sub>n</sub>:* Masa de residuos para optimizar el proceso

*C<sub>n</sub>:* Porcentaje de carbono

*N<sub>m</sub>:* Porcentaje de nitrógeno

*M<sub>n</sub>:* Porcentaje de humedad

100: Constante de porcentaje

**Fuente:** (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

**Tabla 10-2:** Parámetros de la relación carbono/nitrógeno

| <b>C/N</b>                     | <b>Causas Asociadas</b> | <b>Efecto</b>  | <b>Solución</b>  |
|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| > 35:1                         | Exceso de carbono       | Debido a la gran cantidad de materiales ricos en carbono el proceso tiende a enfriarse y por ende a ralentizarse                                     | Añadir materiales con altos contenidos en nitrógeno hasta obtener una adecuada relación C/N. |
| <b>15:1- 35: 1 RANGO IDEAL</b> |                         |  |  |
| < 15:1                         | Exceso de nitrógeno     | Existe gran cantidad de material rico en nitrógeno y por ende el proceso se calienta en exceso generando malos olores por la liberación de amoníaco. | Añadir material con mayor contenido de carbono (hojas secas o aserrín) a la mezcla.          |

**Fuente:**(Román, 2013).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

*pH*: El potencial de hidrógeno forma parte de los factores que influye en la reacciones bioquímicas de los microorganismos, ya que cada grupo se desarrolla a un pH diferente, la mayoría de bacterias crecen y se multiplican en un rango de pH de entre 6 y 7,5, mientras que la actividad fúngica se produce en un pH que comprende 5,5 y 8 (Román, 2013). Un pH menor a 3 o mayor a 11 genera limitaciones metabólicas microbianas y por ende, directamente sobre el compostaje, por ello varios autores mencionan que el intervalo óptimo de funcionamiento es entre 5,8 y 9 (Chica et al., 2015).

La evolución del pH en el compostaje presenta tres fases: en la fase mesófila inicial, el pH disminuye debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, formándose una liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, este descenso en el pH permite el desarrollo de hongos quienes son los responsables de degradar la celulosa y la lignina, en presencia de condiciones anaeróbicas la disminución de pH será más drástico ya que se formarán ácidos orgánicos en mayor concentración y desactivará a los microorganismos encargados de la degradación, en la siguiente fase ocurre una alcalinización del medio por la pérdida de ácidos orgánicos y la formación de amoníaco debido a la descomposición de las proteínas, en la fase final el pH alcanza la neutralidad gracias a la generación de compuestos húmicos que tienen propiedades amortiguadoras (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005).

A través del seguimiento del pH se puede obtener una medida directa del control de la aireación del compost puesto que la disminución del pH (valores inferiores a 4) es un indicador de anaerobiosis, condición en la cual se liberan ácidos orgánicos (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005).

**Tabla 11-2:** Parámetros de pH ideal

| <b>pH</b>           | <b>Causas</b>   | <b>Efectos</b>  | <b>Solución</b>   |
|---------------------|---|---|---|
| < 4,5               | Materiales vegetales y restos de comida liberan ácidos orgánicos y acidifican el medio. | Exceso de ácidos orgánicos.   | Añadir material rico en nitrógeno, de modo que se pueda adquirir una buena relación C: N. |
| 4,5-8,5 RANGO IDEAL |   |   |   |
| > 8,5               | Exceso de nitrógeno   | El exceso de nitrógeno producido por una mala relación C/N genera amoníaco lo que produce una alcalinización del medio. | Agregar material seco y con alto contenido de carbono al compostaje.                      |

Fuente:(Román, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

*Disponibilidad de oxígeno:* Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje son aerobios, por ende el oxígeno es fundamental para su metabolismo, la disponibilidad requerida de este elemento dependerá de la fase en la que se encuentre, en la etapa mesófila e inicios de la termófila los requerimientos de O<sub>2</sub> serán mayores, puesto que se produce un crecimiento microbiano más rápido, mientras que en la etapa de maduración del compost el oxígeno no es un limitante, debido a que los nutrientes presentes disminuyen de forma drástica y por ende la necesidad de O<sub>2</sub> para su degradación ya no es indispensable, es importante también reducir la cantidad de oxígeno disponible en esta etapa porque una aireación excesiva podría generar la degradación de compuestos húmicos y provocar su mineralización (Chica et al., 2015).

Para que se garantice la presencia de oxígeno es importante airear los sistemas de compostaje, la incorporación de O<sub>2</sub> puede desarrollarse por medio de volteos manuales (aireación natural) o mecánicos (aireación discontinuada en donde se genera incrementos en zonas puntuales de O<sub>2</sub>), además también se puede realizar una aireación forzada mediante quipos de succión, sopletes o compresores (Bohorquéz, 2019). La aireación no solo dota de oxígeno al sistema, también regula la humedad mediante la evaporación por la relación aire-agua, controla la temperatura del sistema, la eliminación de dióxido de carbono y amoníaco por arrastre en la fase de gas y por último, ayuda a aumentar la porosidad y a homogenizar el sistema (Chica et al., 2015).

Las pilas compostaje presentan variaciones de oxígeno en el aire de sus espacios libres, la pare externa contiene tanto oxígeno como aire (entre 18 y 20%), conforme se recorre al interior el contenido de O<sub>2</sub> va disminuyendo mientras que el CO<sub>2</sub> va aumentando, de modo que cuando la profundidad es mayo a 60 cm el contenido de oxígeno puede encontrarse entre un 0,5 y 2% (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005). La saturación de oxígeno en el compostaje, no debe disminuir de 5%, considerándose como óptimo el 10%, el exceso de aireación genera que la temperatura disminuya y que se pierda humedad, haciendo que las células de los microorganismos se deshidraten, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los residuos, por otro lado, cuando la aireación es baja impide que se evapore el agua provocando un exceso de humedad y un ambiente anaerobio, esto produce malos olores y acidez por el desarrollo de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico o metano en exceso (Román, 2013).

**Tabla 12-2:** Control de la aireación

| <b>Porcentaje de aireación</b> | <b>Causa</b> | <b>Efecto</b> | <b>Solución</b> |
|--------------------------------|--------------|---------------|-----------------|
|                                |              |               |                 |

|                      |                     |  |  |
|----------------------|---------------------|--|--|
| < 5%                 | Baja aireación      | Insuficiente evaporación del agua, generando un exceso de humedad y anaerobiosis                                     | -Voltear la mezcla<br>-Adicionar material estructurante que permita la aireación.  |
| 5% - 15% RANGO IDEAL |                     |  |  |
| > 15%                | Exceso de aireación | Descenso de temperatura y evaporación del agua, generando que el proceso de compostaje se detenga por falta de agua. | -Picar el material a un tamaño reducido y regular la humedad, proporcionando agua al material y añadiendo material fresco con mayor contenido de agua. |

Fuente:(Román, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 13-2:** Valores óptimos en el desarrollo del compostaje

| Parámetro                      | Rango ideal al inicio (2-5 días) | Rango ideal para compost fase termófila II (2-5 semanas) | Rango ideal de compost maduro (3-6 meses) |
|--------------------------------|----------------------------------|--|---|
| C: N                           | 25:1-35:1                        | 15:20  | 10:1-15:1                                 |
| Humedad (%)                    | 50-60                            | 45-55  | 30-40                                     |
| Concentración de oxígeno (%)   | ~10                              | ~10  | ~10                                       |
| Tamaño de partícula (cm)       | < 25                             | ~15  | < 1,6                                     |
| pH                             | 6,5-8,0                          | 6,0-8,5  | 6,5 -8,5                                  |
| Temperatura (°C)               | 45-60°C                          | 45°C- Temperatura ambiente                               | Temperatura ambiente                      |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> )  | 250-400                          | < 700  | < 700                                     |
| Materia orgánica (base seca %) | 50-70                            | >20  | >20                                       |
| Nitrógeno total (base seca%)   | 2,5-3                            | 1-2  | ~1  |

Fuente:(Román, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 2.4.2.3. Variables biológicas

**Microorganismos e higienización:** Durante el proceso de compostaje intervienen una serie de poblaciones microbianas, entre los que destacan bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras. La mayor parte de los residuos orgánicos presentan estos microorganismos los cuales se desarrollan en función del pH y temperatura, facilitando con ello el proceso de compostaje. Los microorganismos encargados del proceso de compostaje son quimioheterótrofos, es decir, utilizan los sustratos orgánicos como fuente de carbono y energía en presencia de oxígeno (Chica et al., 2015).

Los residuos que se emplean para la obtención del compost, pueden contener virus, bacterias y hongos patógenos, pero su cantidad se reduce notablemente o se eliminan por las altas temperaturas generadas en la fase termófila del compostaje, esto se debe a la producción de compuestos fenólicos (compuesto antimicrobiano), los cuales son producidos por varias causas; por la degradación de compuestos lignocelulósicos, por la actividad hidrolítica de algunas enzimas, por la producción de antibióticos por parte de antagonistas microbianos que reducen la capacidad de supervivencia de patógenos o por la colonización de otros microorganismos que compiten por nutrientes con patógenos. Si bien son varios motivos los que generan la higienización del compostaje, es el incremento de la temperatura lo que genera mayor efecto en la eliminación de patógenos, es por ello que en cualquier sistema de compostaje, el material es apilado para evitar la disipación de calor y que la temperatura aumente (Chica et al., 2015).

**Tabla 14-2:** Temperaturas requeridas para la eliminación de microorganismos patógenos

| Patógeno                              | Temperatura | Tiempo de exposición |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|
| <i>Salmonella spp</i>                 | 55°C        | 1 hora               |
|                                       | 65°C        | 15-20 minutos        |
| <i>Echerichia coli</i>                | 55°C        | 1 hora               |
|                                       | 65°C        | 15-20 minutos        |
| <i>Brucella abortus</i>               | 55°C        | 1 hora               |
|                                       | 62°C        | 3 minutos            |
| <i>Parovavirus bovino</i>             | 55°C        | 1 hora               |
| Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i> | 55°C        | 3 días               |

Fuente:(Román, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Biodegradabilidad:** Indica la cantidad de materia orgánica que puede descomponerse o que se ha descompuesto, de una mezcla o de un producto determinado, es decir es una medida de la degradabilidad de un sustrato o la transformación de un sustrato orgánico a formas más oxidadas

por acción de los microorganismos en condiciones aerobias (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005). Los residuos orgánicos contienen una parte inorgánica y una orgánica junto con la del carbono total, que suelen encontrarse de forma estable e incluso no degradable por el compostaje (Chica et al., 2015). La biodegradabilidad depende de la naturaleza del sustrato, por ende, variará de un sustrato a otro, algunos autores mencionan que la celulosa se degrada entre un 23-54% dependiendo de la mezcla, la celulosa y hemicelulosa se fácilmente degradados, los compuestos lipídicos tienen una limitada degradabilidad y las ligninas no son degradadas. Este parámetro es de gran importancia en el compostaje, pues condiciona la cinética, la cantidad de energía liberada en forma de calor y por ende la temperatura del proceso (Chica et al., 2015).

#### *2.4.2.4. Sistemas de compostaje*

La función de los sistemas de compostaje es la de facilitar el control y la optimización de parámetros, para la obtención de un producto final de calidad tanto como fertilizante y como sanitario, el diseño de los sistemas de compostaje se basa en factores como: el acortamiento del tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía, así como la de la seguridad higiénica de la planta de tratamiento (Departamento de Agricultura de Aragón, 2000). La clasificación más común de las tecnologías de compostaje se encuentra en función del aislamiento del material a compostar con respecto al exterior, por lo tanto los sistemas se clasifican en abiertos, semicerrados y cerrados (Jara, 2016).

La selección de los sistemas de compostaje va a depender de varios criterios, entre los cuales se resalta: costos de inversión, superficie requerida, control de la aireación y de olores, el clima de la zona y capacidad de tratamiento (Gutiérrez, 2014).

#### *2.4.2.5. Sistemas Abiertos*

Son los más tradicionales en el compostaje pues son económicos porque emplean una tecnología sencilla, pero presentan desventajas en cuanto a la influencia del clima, la propagación de olores e invasión de insectos o roedores (Gutiérrez, 2014). En este sistema los sustratos son dispuestos en montones o pilas y se encuentran al aire libre o protegidos de los medios meteorológicos bajo un techado. La aireación de la masa fermentable puede realizarse por volteo mecánico o ventilación forzada (mayor control del nivel de O<sub>2</sub>, humedad y temperatura) (Departamento de Agricultura de Aragón, 2000). En dependencia del suministro de oxígeno pueden ser pilas volteadas o estáticas (Jara, 2016).

- Pilas o hileras volteadas: Esta técnica consiste en la remoción periódica la pila de compostaje con la finalidad de homogenizar la mezcla y la temperatura, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila, de este modo se evita la formación de anaerobiosis. Este es un sistema



discontinuo y por ello se generan oscilaciones en los niveles de humedad, oxígeno y temperatura, perjudicando el desarrollo de reacciones biológicas y por ende de hacer que el proceso sea lento y se requiera de periodos largos para conseguir la estabilización del producto (Gutiérrez, 2014). La mezcla de materiales a compostar se coloca en pilas o hilera de forma triangular o trapezoidal, con ello se logra minimizar el espacio requerido para el compostaje (Chica et al., 2015). El tamaño de la pila fermentable debe permitir su manipulación (tanto riegos como volteos), por ello su altura no debe ser superior a 1,5 m de alto y 2,5 m de ancho, con estas dimensiones se logra evitar su compactación y se facilitan los volteos sobre todo si los mismos deben ser manuales. La frecuencia de los volteos será en dependencia del tipo de material, humedad y de las condiciones ambientales (Campitelli et al., 2014).

- Pilas estáticas aireadas: Los materiales a compostar son colocados sobre un conjunto de tubos perforados conectados a un sistema de aspira o insufla aire a través de la pila, este aporte de oxígeno le permite a la pila ser enfriada y eliminar el vapor de agua, CO<sub>2</sub> y otros productos provenientes de la descomposición. Una pila estática aireada consta de: una red de distribución de aire, una capa de material poroso que servirá como base, el material a compostar, una capa externa (18-30 cm) que contiene un material estable como por ejemplo compost maduro y finalmente un sistema de control y suministro de aire. Los materiales debe ser adecuadamente mezclados puesto que una vez formada, la pila no se toca hasta que se haya formado el compost (Gutiérrez, 2014). La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos que intervienen en el proceso, con ello se consigue una rápida transformación de los residuos en abono orgánico en un tiempo de entre 4 a 8 semanas (Moreno y Moral, 2008).

#### 2.4.2.6. *Sistemas semicerrados*

Este sistema se llevan a cabo en una nave cubierta y cerrada que contiene un sistema de extracción del aire interior de la nave hacia el exterior, dicho aire puede ser conducido y tratado por un biofiltro, el sistema más conocido es el de la trinchera en las que se coloca el material a compostar en muros longitudinales que son volteados por diferentes procedimientos (Gutiérrez, 2014).

- Trincheras o canales semicerrados: El proceso de compostaje es desarrollado en una serie de canales, calles o trincheras que tienen entre 3 y 5 m de altura con muros de entre 2 y 3 cm de altura, la longitud normalmente oscila entre los 60 y 140 m, el número de calles también es variable, pero usualmente no son más de 6. Los canales se encuentran abiertos en la parte superior y con dispositivos que permitan la circulación de una maquina volteadora por encima de ellos. Este tipo de sistemas son considerados como una especie de biorreactores horizontales, en donde las condiciones aerobias se mantienen por medio de un sistema de aireación forzada combinada con un sistema de agitación mecánica (Chica et al., 2015).

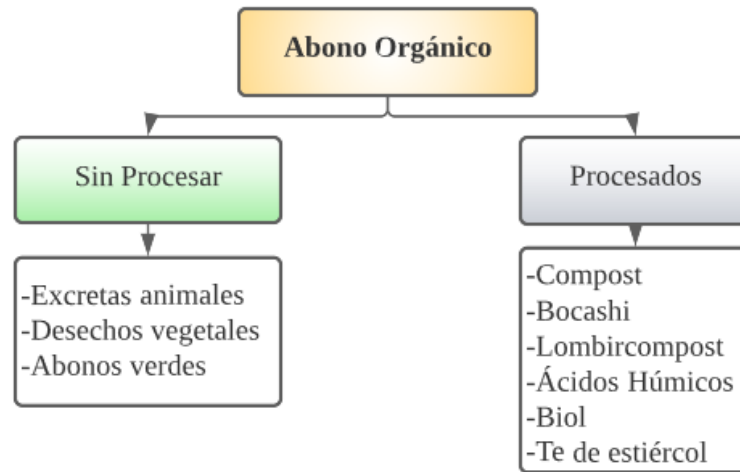
#### *2.4.2.7. Sistemas cerrados*

En este tipo de sistemas, los materiales que se desean compostar no se encuentran en contacto directo con el medio exterior, sino a través de un sistema de conductos y turbinas, facilitando el tratamiento de olores generados en la degradación. En los sistemas cerrados las variables como: contenido de humedad, temperatura, pH, cantidad de gases, entre otros, pueden ser consideradas como controladas y optimizadas, produciendo una degradación más rápida con un mínimo impacto ambiental. Es importante mencionar que en estos sistemas la humedad de partida debe ser superior al 65% y la aireación (forzada) debe ser ajustada en función de la actividad biológica y que además mediante el uso de sensores se puedan registrar y controlar la temperatura, humedad, oxígeno y dióxido de carbono asegurando así la calidad del producto final (Chica et al., 2015). Este tipo de sistemas son considerados industrializados, ya que son ejecutados por entidades públicas o privadas y son empleados para el compostaje de residuos generados en las ciudades de tamaño medio o grande. La fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser verticales u horizontales y la fase final (maduración) en naves abiertas. Si bien estos sistemas son costoso su ventaja principal es la de rápidos y no requerir de grandes espacios (Departamento de Agricultura de Aragón, 2000).

### **2.5. Abono orgánico**

Son materiales de origen natural que se obtienen de la degradación y mineralización de materiales de tipo orgánico tales como: estiércoles, desechos de cocina, material verde, entre otros. Los abonos orgánicos son usados en los suelos agrícolas con la finalidad de incrementar la actividad microbiana en los terrenos y actúan sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos, ya que este tipo de abonos es rico en materia orgánica y microorganismos. La cantidad de nutrientes presentes en un abono orgánico dependerá de la concentración de residuos empleados (FONAG, 2010). Existen diferentes tipos de abonos orgánicos, pero de forma general se clasifican de acuerdo a su procesamiento, tal como lo resume la figura 6-2.

#### *2.5.1. Tipos de abonos orgánicos*



**Ilustración 6-2:** Tipos de abonos orgánicos

Fuente: (Espíndola, 2018).

### 2.5.1.1. Compost

Es un abono orgánico formado a través de un proceso biológico que ocurre en condiciones anaerobias, los residuos orgánicos que ingresan al proceso de compostaje son transformados en compost gracias a la acción de microorganismos que trabajan bajo parámetros controlados. Si bien el compost se caracteriza por ser un abono rico en nutrientes para las plantas, no siempre es así, en caso de que el contenido sea bajo el compost seguirá ayudando a que se capten mejor los nutrientes del suelo y mejorar la estructura del mismo (Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres, 2007).

#### **Clasificación del compost**

*Compost fresco:* Es el resultado de una descomposición parcial de la materia orgánica, su contenido de patógenos es nulo pero no se encuentra totalmente estabilizado, no es conveniente aplicarlo de forma directa a los cultivos ya que generarían reacciones adversas (Galea, 2013).

*Compost maduro:* Es el producto final de la fase de maduración, cumple con los requisitos sanitarios y de estabilización, su aplicación es sobre los cultivos, evitando que entre en contacto directo con el sistema radicular ya que influirá negativamente el crecimiento de la planta (Galea, 2013).

*Compost curado:* El abono orgánico ha pasado por un largo proceso de maduración y mineralización por lo cual es un producto altamente estabilizado, por lo tanto este tipo de compost puede ser aplicado a las plantas como sustrato incluso directamente al sistema radicular (Galea, 2013).

### ***Parámetros para evaluar la madurez del compost***

- Olor

El abono orgánico con un tiempo adecuado de maduración carece de olores desagradables, su olor es más bien bastante parecido al de “tierra mojada” este aroma se debe a la geosmina, metabolito secundario generado por los actinomicetos mesófilos los cuales predominan en la etapa de maduración (Iglesias, 2014) .

- Color

Durante el compostaje los residuos orgánicos sufren un oscurecimiento gradual, consecuencia de la humificación de la materia orgánica, aunque la intensidad de su melanización se ve condicionada por el tipo de materiales iniciales, la coloración al finalizar el proceso es pardo oscuro o casi negro por la formación de grupos cromóforos (Iglesias, 2014).

- Test de germinación

La madurez de un compost está directamente relacionado con el desarrollo y crecimiento vegetal, por ende el grado de madurez puede determinarse mediante la respuesta vegetal, para ello se han creado numerosos bioensayos, el más conocido es el método Zucconi (Iglesias, 2014). Este test consiste en la obtención de un extracto acuoso de compost que es introducido en una placa Petri de incubación, posterior se colocan semillas de rápido desarrollo y de fácil obtención, transcurrido el tiempo indicado en la metodología se determina el grado de germinación, el cual indica que un compost es maduro, estable y puede ser de aplicado a las plantas cuando su índice de germinación es mayor a 50% (Vicente, Carrasco y Negro, 1996).

Un bioensayo es considerado también como prueba de toxicidad, ya que permite determinar si un residuo tiene cantidades suficientemente altas de tóxicos para afectar el desarrollo normal de las plantas (García y Abad, 2015). La fitotoxicidad puede ser causa por varios factores, uno de ellos es la presencia de altas concentraciones de metales pesados o una alta concentración de sales solubles (Iglesias, 2014).

- Test de crecimiento

Este test también es realizado con el objetivo de evaluar el grado de toxicidad que presenta el compost, para ello se coloca en un recipiente la tierra junto con el abono orgánico formado (ambos previamente tamizados) y semillas que sean sensibles ante compuestos tóxicos, todos estos

componentes son humedecidos con agua de lluvia o destilada, el recipiente es tapado dejando el espacio de 1cm entre la tapa y la boca, posterior son colocados en un lugar seco y claro a temperatura ambiente por un tiempo de 7 días (14 horas luz y 10 de oscuridad). Las plantas que van creciendo con este test son observadas con detenimiento para observar si existen problemas en su desarrollo, también se visualiza su coloración ya que pueden desarrollarse fenómenos de necrosis y clorosis en las hojas. Si la planta alcanza un desarrollo potencial indica ausencia de fitotoxicidad, por el contrario si existe una baja germinación puede indicar un contenido elevado de sales (Céspedes et al., 2014).

#### *2.5.1.2. Biol*

Es un abono orgánico líquido, resultado del aprovechamiento de estiércol y agua los cuales son sometidos a un proceso de fermentación anaerobia en un biodigestor, el cual da como resultado un fertilizante foliar que contiene auxinas y giberelinas (hormonas vegetales). El biol es un abono fitorregulador, es decir que ayuda al desarrollo óptimo de las plantas y por ende genera mayor productividad en los cultivos (SISTEMA BIOBOLSA, 2015).

#### *Materiales e insumos para la elaboración de biol*

El biol puede ser preparado en envases cerrados (biodigestor) de diferentes tamaños dependiendo del requerimiento, no existen recetas exactas para la preparación del biol, existen diferentes formas de producción ya que los ingredientes pueden variar dependiendo de la localidad, las necesidades y de las condiciones ambientales, sin embargo, el componente principal es el estiércol y su cantidad se encuentra entre un 25 a 50% del total de volumen a preparar, el resto de insumos son adicionados en pequeñas cantidades (FONCODES, 2014).

#### Equipo para la preparación de biol

El biofertilizante es preparado en un biodigestor el cual es un recipiente cerrado herméticamente, está compuesto por dos partes: la cámara de digestión (digestor) en donde se desarrolla la degradación de la materia orgánica y la zona en donde se acumula el gas generado denominado gasómetro. Este sistema en ausencia de oxígeno y en presencia de microorganismos produce gases y un fertilizante líquido denominado biol (Herrero, 2019).

El biogás producido en la fermentación está conformado por metano (combustible) el cual representa entre el 50 y 70% del total del gas, dióxido de carbono que se encuentra en un rango de 20 a 40% y trazas de ácido sulfhídrico (Herrero, 2019).

## Tipos de biodigestores

Los biodigestores varían de acuerdo con su utilidad y complejidad, una forma de clasificarlos es de acuerdo a su flujo de alimentación y otra forma es de acuerdo a los dispositivos que contienen es decir dependiendo de su tecnología (Herrero, 2019).

**Tabla 15-2:** Tipos de biodigestores por su flujo de alimentación

| Tipo                     | Descripción  |
|--------------------------|--|
| Continuo                 | La carga de sustrato activo se produce de forma ininterrumpida, suelen ser de tipo industrial bien acondicionados (calefacción, agitación y control) para una producción continua, en este tipo de biodigestores se genera biogás en gran cantidad.  |
| Semicontinuo o por lotes | La primera carga que se realiza es abundante, luego se continúa agregando la materia prima, pero en función del tiempo de retención, generalmente son en cortos periodos, manteniendo la biomasa constante y la producción de biogás continua.   |
| Discontinuo o tipo Batch | La materia prima es cargada una sola vez al igual que la descarga del producto, este último cuando se haya terminado de generar el biogás (final de la fermentación). Este tipo de biodigestores son ideales para usos de laboratorio para evaluar los parámetros del proceso, así como el comportamiento de los residuos orgánicos. |

**Fuente:** (Herrero, 2019).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Existen otros tipos de biodigestores que son comúnmente conocidos tales como:

- **Modelo Chino:** Son elaborados utilizando materiales duros como ladrillos, hormigón o tanques plásticos, esta estructura favorece a que se pueda implementar un sistema de agitación sin inconveniente, su transporte puede ser complicado debido al tamaño que estos poseen (FAO, 2019). Tienen forma de domo con tuberías internas y son totalmente enterrados, su alimentación es diaria a través de la cubierta superior que es removible, no posee un gasómetro por lo cual a medida que aumenta el gas su presión incrementa forzando al líquido a salir, por ello también se recomienda que estén correctamente construidos para que el sistema de colapse (Herrero, 2019).

- **Tubulares o taiwaneses:** Su construcción se realiza empleando diferentes tipos de membranas, las cuales pueden variar por el grosor, costo y tipo de material, las más usadas son las de PVC, EPDM o PDA, su forma es la de un tubo largo que va enterrado sobre el suelo, la forma de este biodigestor favorece al traslado de la masa del líquido hacia la salida haciendo que la misma carga sirva de agitación. Su instalación es sencilla al igual que su movilidad, el grosor de la membrana no debe ser menor a 0.80 mm y debe ser resistente al ataque químico y los rayos solares (FAO, 2019).
- **Modelo Indiano:** Poseen forma vertical y son enterrados, tienen apariencia de pozo, su carga es una vez al día por gravedad, su volumen de mezcla depende del tiempo en el que demore la fermentación anaerobia y su producción de gas en condiciones óptimas suele ser constante. Este modelo posee un gasómetro en forma de campana integrado al sistema, en parte superior del pozo, haciendo que la presión del gas sobre la superficie sea muy baja (Herrero, 2019).

#### Ingredientes usados para la obtención de biol

- **Estiércol:** Aporta al proceso de fermentación una diversidad de microorganismos: levaduras, bacterias, hongos y protozoos, considerándose como la principal fuente de microorganismos que da inicio al proceso de obtención de biol, es también rico en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre y boro, haciendo que el estiércol mejore las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, otra ventaja de emplear estiércol es que sus microorganismos pueden desarrollarse tanto en medios aerobios como anaerobios (Restrepo, 2014).
- **Leche o suero de leche:** Es de gran utilidad para la obtención de biol ya que aporta aminoácidos, grasas y proteínas que son ingredientes necesarios para que los microorganismos se multipliquen y se pueda llevar a cabo el proceso de fermentación (Restrepo, 2014).
- **Ceniza:** Aporta sales minerales y microelementos al biofertilizante para activar y enriquecer la fermentación, las mejores cenizas son aquellas originadas por las cascarillas de arroz, bagazo de caña y maíz (Restrepo y Hensel, 2009).
- **Melaza:** Disuelta en agua potencia la fermentación ya que proporciona energía a los microorganismos encargados de transformar la materia orgánica en nutrientes, la melaza también aporta minerales en concentraciones pequeñas como: calcio, potasio, fósforo, hierro, manganeso, zinc, magnesio y boro (Restrepo y Hensel, 2009).
- **Sales Minerales:** Incluyen azufre, cobre, boro, sodio, zinc y magnesio, al encontrarse en el biofertilizante enriquecen y nutren el suelo y por ende los cultivos. Las sales minerales son activadas a través de la digestión y el metabolismo de los microorganismos presentes en el

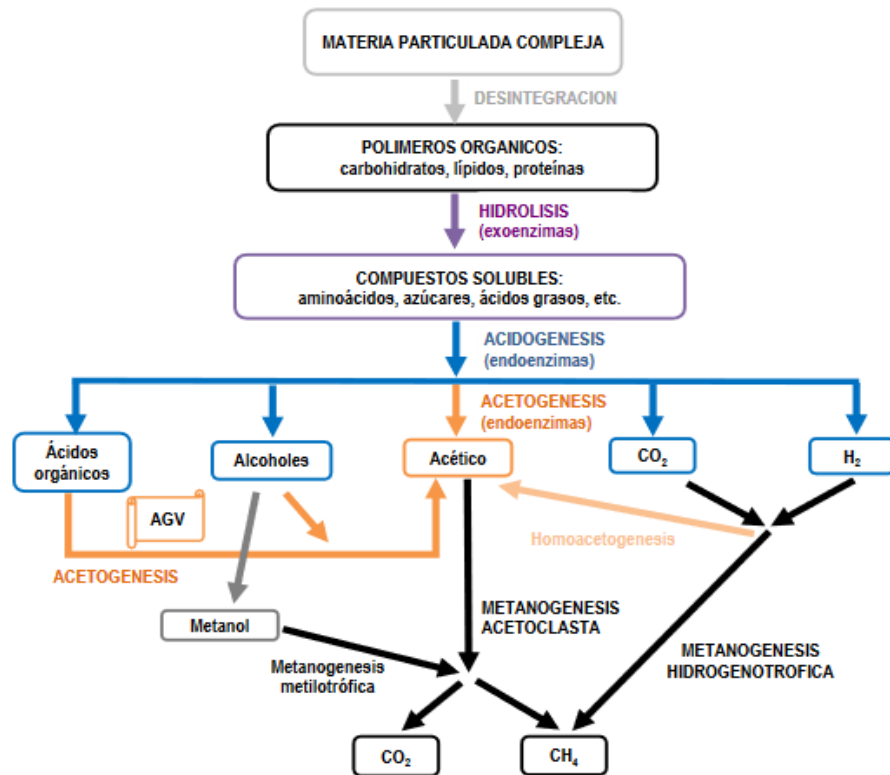
estiércol y que se encuentran incorporados en el tanque de fermentación (Restrepo y Hensel, 2009).

- **Agua:** Ayuda a la homogenización de los ingredientes añadidos al biodigestor, muchos de los microorganismos que se encuentran en el fermentador se desarrollan de forma óptima si se encuentran en un medio líquido y varios productos como enzimas, vitaminas y péptidos son mejor aprovechados en este estado (Restrepo, 2014).
- **Levadura:** Aporta a que se dé inicio el proceso de fermentación del biofertilizante, estimula y acelera el proceso de descomposición ya que segregan sustratos útiles que son aprovechados por actinomicetos y las bacterias ácido lácticas. La mejor levadura es la granulada, esta es activada con azúcar o con melaza para acelerar su funcionamiento (INIAP, 2011).

### *Fundamentos de la fermentación anaerobia*

La digestión anaerobia es un proceso que consiste en la oxidación biológica de la materia orgánica, gracias a la acción de microorganismos específicos que se desarrollan en ausencia de oxígeno molecular, este proceso de degradación da como resultado productos estables e inertes y biogás. Este proceso complejo engloba diferentes etapas en las que intervienen diversos grupos de microorganismo que actúan de forma coordinada y secuencial (García, 2009). Las reacciones que se desarrollan durante la digestión anaerobia son cuatro: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Cuando los residuos orgánicos son complejos ocurre una etapa previa llamada desintegración, fenómeno físico que convierte la materia orgánica a una forma más accesible a la acción enzimática (Esteban, 2014).





**Ilustración 7-2:** Esquema representativo de las etapas de la digestión anaerobia  
**Fuente:** (Esteban, 2014).

- Etapa de hidrólisis

Esta etapa consiste en la conversión de los polímeros (carbohidratos, lípidos, proteínas) que no pueden ser directamente metabolizados por los microorganismos anaerobios, en sus respectivos monómeros (monosacáridos y oligosacáridos, ácidos grasos, aminoácidos y polipéptidos) gracias a la acción de enzimas hidrolasas que pueden encontrarse en bacterias anaerobias estrictas o facultativas, hongos y protozoos, estas exoenzimas solubilizan los compuestos orgánicos en el exterior celular (Lorenzo y Obaya, 2005). Las hidrolasas rompen enlaces específicos con ayuda del agua, produciéndose la liberación de monómeros y dímeros capaces de atravesar la membrana celular, facilitando su aprovechamiento por parte de los microorganismos responsables de las etapas posteriores, es por ello que esta etapa se considera fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia. El sustrato utilizado es de gran importancia pues condiciona la velocidad de la hidrólisis, la cantidad y tipo de bacterias hidrolíticas presentes. (Marco, 2019).

- Etapa de acidogénesis

Los compuestos solubilizados en la etapa anterior son convertidos en alcoholes y ácidos orgánicos como el acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), butírico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) y propiónico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) principalmente y también en sustancias simples como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$ . Estas reacciones ocurren en el interior celular de microorganismos fermentativos como *Clostridium*, *Enterobacter*, etc. Entre los diferentes ácidos orgánicos que se forman en esta etapa, se encuentran los ácidos orgánicos volátiles (de cadena corta) compuestos intermedios de gran relevancia para la digestión anaerobia (Esteban, 2014).

Los factores con importancia en esta etapa son el pH y la presión parcial de oxígeno, con un pH mayor a 5 la producción de ácidos orgánicos volátiles es mayor, a niveles de pH menor a 5, el etanol se produce en mayor cantidad, cuando el pH es menor a 4 el proceso de digestión anaerobia puede verse detenido. Las bajas presiones parciales de hidrógeno incrementan la formación de acetato e hidrógeno y la producción de etanol es menor, es importante destacar que el ácido acético es el que posteriormente se convertirá en metano por lo que su generación llega a ser imprescindible. Esta etapa es la más rápida en la digestión anaerobia (Schon, 2009)

**Tabla 16-2:** Principales productos de la degradación de la glucosa en la etapa acidogénica

| Reacciones   | Productos                        |
|--|----------------------------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$                         | Ácido acético                    |
| $3\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5 \rightarrow 4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | Ácido propiónico + Ácido acético |
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$                          | Ácido butírico                   |
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  | Ácido láctico                    |
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{CO}_2$  | Etanol                           |

Fuente: (Schon, 2009).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

- Etapa de acetogénesis

Consiste en la formación de ácido acético el cual puede ser generado a partir de los productos de la hidrólisis o por compuestos producidos durante la acidogénesis mediante la fermentación de ácidos y alcoholes (deshidrogenación acetogénica), el ácido acético también puede ser formado a partir de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$  proceso llamado homoacetogénesis que tiene lugar gracias a la presencia de bacterias homoacetogénicas (Esteban, 2014). Las bacterias acetogénicas viven en colaboración con las *Archaeas metanogénicas* (reacción sintrófica), las cuales son capaces de transformar los ácidos grasos resultantes de la etapa acidogénica en sustratos propios de la metanogénesis como son:

ácido acético, CO<sub>2</sub> e hidrógeno (García, 2009). Estos microorganismos son importantes en la metanogénesis porque metabolizan ácidos, disminuyen la acidez del medio que inhibe la actuación de las bacterias metanogénicas, producen acetato que es un factor cítrico y el 70 a 90% de metano proviene de la acetogénesis.

**Tabla 17-2:** Reacciones producidas durante la etapa acetogénica

|  |
|--|
| <b>Reacciones</b>  |
| <i>Acetogénesis del ácido butírico</i>   |
| $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$               |
| <i>Metanogénesis de hidrógeno</i>  |
| $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  |
| <i>Reacción sintrófica</i>   |
| $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + \text{CH}_4$ |

Fuente: (Schon, 2009).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

- Etapa de metanogénesis

Es la etapa final del proceso de formación del metano, esta fase es llevada a cabo principalmente por dos grupos de microorganismos metanógenos: los hidrogenótrofos y los acetoclásticos, el primer grupo genera metano y agua a partir del CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, y los segundos usan el ácido acético para obtener metano y dióxido de carbono, los acetoclásticos tienen un crecimiento lento y son más sensibles a factores ambientales como pH y temperatura, haciendo que esta fase sea la más delicada y limita la velocidad del proceso de digestión anaerobia (Esteban, 2014). El 70% del metano producido es por vía acetoclástica y el resto por vía hidrogenotrófica. Pese a que la vía hidrogenotrófica no produce metano en gran concentración, esta es indispensable para regular la presión parcial de hidrógeno en el proceso y esto a su vez ayuda a la existencia de microorganismos acetogénicos (Núñez, 2017a).

Existe una tercera vía que puede desarrollarse, la metilotrófica que tiene lugar gracias a microorganismos metanógenos metilotróficos (arqueobacterias metanogénicas) los cuales son microorganismos que metabolizan compuestos de metilo (metanol, metilamina, etc.) para producir en pequeñas cantidades de CH<sub>4</sub> (Rubia, Villamil y Mohedano, 2012).

**Tabla 18-2:** Reacciones producidas durante la etapa de metanogénesis

|                                       |
|---------------------------------------|
| <b>Reacciones</b>                     |
| <i>Metanogénesis hidrogenotrófica</i> |

|   |
|---|
| $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$             |
| <i>Metanogénesis acetoclástica</i>  |
| $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$                        |
| <i>Oxidación de acetato</i>   |
| $\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2$ |
| <i>Homoacetogénesis</i>   |
| $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$  |
| <i>Metanogénesis metilotrófica</i>  |
| $4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  |

Fuente: (Schon, 2009).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### *Parámetros de control en la formación del biol*

Pese a que en la digestión anaerobia existen parámetros medibles, no todos proporcionan la fiabilidad necesaria, impidiendo anticiparse a los tiempos de inestabilidad y por ende evitando que el proceso se desarrolle adecuadamente (Esteban, 2014). Clásicamente se monitorean parámetros fisicoquímicos que están presentes en los procesos anaerobios, estos se consideran indicadores de la evolución de la biometanización, ya que de ellos también depende que los microorganismos que actúan sobre la materia orgánica contribuyan a la degradación (Lorenzo y Obaya, 2005).

- Parámetros operacionales

Temperatura: Es un factor de gran importancia para la producción de biogás pues la velocidad de reacción de los procesos biológicos dependen de la velocidad de crecimiento de los microorganismos y estos de la temperatura, conforme incrementa la temperatura, la velocidad de crecimiento de los microorganismos aumenta y con ello el proceso de digestión anaerobia (FAO, 2011).

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor producen la desestabilización del proceso, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor es imprescindible un sistema de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en la que trabajan los microorganismos anaeróbicos (FAO, 2011).

- Psicrófilico: Microorganismos que se desarrollan a temperaturas menores a 25°C y su máximo rendimiento es a esta temperatura, cuando la temperatura es menor a 15°C su actividad desciende (Palau y Virginia, 2016). Este régimen presenta bajos problemas de

estabilidad en comparación con los otros rangos, sin embargo es poco viable ya que genera un tiempo de fermentación mayor a 100 días (FAO, 2011).

- Mesofílico: Los microorganismos se desempeñan a una temperatura entre los 25 y 45°C, siendo su rango óptimo en el intervalo de 33 y 38°C para la producción de biogás (Palau y Virginia, 2016). Este régimen de operación es el más utilizado y el tiempo de obtención de biogás es de entre 30 a 60 días (FAO, 2011).
- Termofílico: Los microorganismos se reproducen en un intervalo de 45 y 65°C con una temperatura óptima de desarrollo de 60°C. (Palau y Virginia, 2016). Con este rango de temperatura el tiempo de fermentación dura de entre 10 a 15 días y un aumento en la eliminación de patógenos, si bien este proceso es mucho más rápido, presenta inconvenientes con el control del digestor pues suele ser más inestable a los cambios de las condiciones de operación, así también presenta mayores problemas de inhibición del proceso debido a la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas (FAO, 2011).

Agitación: Hace más eficiente el proceso, sin embargo, es un parámetro opcional ya que dependerá del tipo de reactor que se esté utilizando, en caso de emplearse, la agitación debe ser lo suficientemente fuerte para homogenizar al reactor, pero sin generar la ruptura de la torta de sustrato que contiene a los diferentes microorganismos. Este factor permite la uniformidad, evita la sedimentación de los microorganismos y la formación de espumas, evita la formación los llamados espacios muertos en donde no se genera actividad biológica (Andrade et al., 2017, pp.110-111).

La agitación incrementa la producción de gas y disminuye el tiempo de retención ya que este factor permite la distribución uniforme de la temperatura y el sustrato en el interior del reactor, se desarrolla un mayor contacto entre el sustrato y las bacterias, impidiendo que se formen cúmulos alrededor de las bacterias (FAO, 2011). Se conoce tres tipos de agitación:

- Mecánica: Pueden emplearse tantos agitadores manuales o con motores eléctricos
- Hidráulica: Mediante bombas de flujo lento para recircular la biomasa
- Burbujeo de biogás: Por medio de cañerías se hace recircular el biogás generando en el fondo del biodigestor (FAO, 2011).

Tiempo de retención: El tiempo de retención de sólidos (TRS) es el tiempo de resistencia del fango en el reactor y está relacionado con el tiempo medio que la biomasa esta retenida al mismo tiempo, el TRS influye en gran medida al proceso, puesto que se requiere que los microorganismos se reproduzcan adecuadamente para compensar la cantidad retirada del digestor y se pueda mantener en un estado estacionario. Por su parte el tiempo de retención hidráulico (TRH) se refiere al tiempo de resistencia de la fase líquida en el reactor influyendo también en la eficiencia del proceso (Esteban, 2014). El TRH es importante para determinar el volumen del tanque digestor, puesto que conforme aumenta el tiempo de retención hidráulica con ella aumenta el

porcentaje de materia orgánica degradada y consigo la producción de biogás (Salazar, 2019). La velocidad de degradación de los microorganismos incrementa conforme lo hace la temperatura, por ende, a mayor temperatura menor TRH (Núñez, 2017b).

- Variables químicas

Potencial de Hidrógeno: Es uno de los factores que condicionan la evolución de los tratamientos anaerobios sobre todo en la actividad microbiológica, no todos los microorganismos anaerobios tienen el mismo grado de sensibilidad frente al pH, las especies metanogénicas presentan un desarrollo óptimo en torno a la neutralidad (pH 7) y las especies acidogénicas trabajan mejor en un pH cercano a 6. Cuando el pH del digestor empieza a disminuir por debajo de 6,5, la actividad de las metanogénicas se verá afectada y si el pH llega a ser menor a 5,5 morirán. La actividad del resto de microorganismos implicados en la digestión anaerobia se detendrá una vez el potencial de hidrógeno llegue a 4,5. Por lo tanto un digestor tiene un pH idóneo cuando se encuentra en un rango de 6,8 a 7,2. El pH también es uno de los factores que determina la toxicidad de determinados compuestos ya que influyen tanto de forma directa como indirecta en la distribución de los mismos tanto de forma ionizada como no ionizada (Esteban, 2014).

AGV: Son de gran importancia ya que son productos intermediarios mayoritarios del proceso de digestión anaerobia, este parámetro es útil de controlar en su estado metabólico ya que informa las variaciones en el sistema debido a una sobrecarga de la materia orgánica o una alteración generada entre las bacterias acetogénicas y los microorganismos metanogénicos lo cual generará la inhibición de este último grupo ocasionado probablemente por la adición de elementos tóxicos, limitaciones o condiciones ambientales. En cualquiera de las dos circunstancias mencionadas anteriormente, se producirá una acumulación de ácido acético y un aumento de la presión parcial de hidrógeno, esto genera inhibición en las bacterias acetogénicas encargadas de la degradación de los AGV y por ende que estos se acumulen disminuyendo la producción de biogás, es por ello que, un aumento de la concentración de AGV indica desestabilizaciones en el proceso de digestión anaerobia. Los valores óptimos de AGV son contracciones equivalentes a 50 y 500 mg acético/L (Marco, 2019).

Inhibidores: Hace referencia a una gran variedad de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que pueden causar toxicidad y por ende interferir con el desarrollo microbiano que tiene lugar en la digestión anaerobia, dependiendo de la naturaleza de los inhibidores pueden causar efectos que pueden ser reversibles o irreversibles, en ocasiones puede afectar el rendimiento del proceso y en el peor de los casos, puede ocurrir una total desestabilización del mismo (Esteban, 2014). El oxígeno forma parte de estos inhibidores ya que imposibilita la supervivencia de las bacterias acetogénicas y metanogénicas, otros inhibidores son las altas concentraciones de amoníaco, las sales minerales, los detergentes y los metales que pueden

encontrarse en la materia prima o a su vez desarrollarse en el proceso de digestión anaerobia. En caso de encontrarse grandes cantidades de inhibidores estudios experimentales concluyen que, pueden ser controlados bajo la preparación de un inóculo adecuado, la climatización del biodigestor a estos compuestos y la búsqueda de efectos sinérgicos de modo que disminuyan su toxicidad (Andrade et al., 2017, pp.110-111).

- Otros parámetros

Tipo de residuo: La composición y las características de los residuos que ingresan al proceso de digestión anaerobia afectan de forma significativa a la evolución del proceso tanto a nivel de arranque como en el tiempo de retención, de producción de biogás o de eliminación de sólidos volátiles, si los residuos que ingresan al biodigestor poseen o su degradación genera compuestos con potencial tóxico afectarán a los microorganismos anaerobios, especialmente a los metanogénicos, por ende el tipo de residuos también condiciona la viabilidad del proceso. Dependiendo el tipo de residuo, las porciones de moléculas orgánicas variaran influyendo también en la biometanización, es decir, los residuos ricos en grasas producirán un biogás más rico en metano en comparación con los residuos que contienen carbohidratos en mayor proporción (Esteban, 2014).

*Características:*

- Es un producto biológicamente estable, es rico en humus y posee una baja concentración de patógenos, también contiene nitrógeno amoniacal, aminoácidos, vitaminas, minerales, hongos y microflora.
- Contiene un considerado porcentaje de materia orgánica, en el caso de biol bovino hasta un 40,48% y porcino 22,87%. Aproximadamente el 90% del material que entra en el biodigestor es transformado en biol, se mantienen elementos como N, K, P, Mg y contiene un pequeño porcentaje de sólidos totales que van de entre 1 a 5%. El biosol es la porción sólida generada de este proceso de fermentación y representa el 10% restante del total, su contenido de humedad se encuentra entre 25 a 10%, su composición dependerá de los ingredientes empleados para la obtención del abono.
- El abono líquido puede aumentar la producción del cultivo de entre un 30 a 50%, además sirve como repelente de insectos y recupera los cultivos afectados por las heladas.
- El biol mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo, los requerimientos hídricos y también crea un micro clima ideal para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

- Por su capacidad fitorregulador promueve actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas, favorece su enrizamiento, alarga la fase de crecimiento de hojas, mejora la floración, activa el vigor y poder germinativo de las semillas (SISTEMA BIOBOLSA, 2015).

**Tabla 19-2:** Características fisicoquímicas del biol

| Parámetros                      | Biol   |         |
|---------------------------------|--------|---------|
|                                 | Bovino | Porcino |
| pH                              | 6,91   | 7,29    |
| Conductividad eléctrica (mS/cm) | 6,7    | 10,3    |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )   | 1      | 0,97    |
| Nitrógeno total (%)             | 0,25   | 0,41    |
| Fósforo (%)                     | 0,17   | 0,05    |
| Sólidos Totales (%)             | 2,86   | 0,48    |
| Potasio (%)                     | 0,06   | 0,04    |
| Magnesio (%)                    | 0,032  | 0,013   |
| Cobre (mg/kg)                   | 0,1    | 0,2     |
| Cobalto (mg/kg)                 | 0,1    | 0,1     |
| Hierro (mg/kg)                  | 3,9    | 1,6     |
| Manganeso (mg/kg)               | 0,5    | 0,8     |
| Zinc (mg/kg)                    | 0,5    | 0,6     |

Fuente:(SISTEMA BIOBOLSA, 2015).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### *Forma y dosis de aplicación del biol*

El abono líquido obtenido puede ser aplicado tanto en el suelo como en el follaje, puede ser por rociado o junto con el agua de riego, la dosis de biol/agua debe encontrarse en relación 1:100, en caso de aplicación foliar la dilución puede llegar hasta un máximo de 75% y un mínimo de 25% (Jiménez, 2012).

### **2.5.2. Otras técnicas empleadas para la obtención de abono orgánico**

#### *2.5.2.1. Vermicompostaje*

Es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, mediante la acción combinada de microorganismos y lombrices, las cuales a través de su tubo digestivo



transforman los residuos en un producto estable y rico en nutrientes denominado vermicompost, el cual es un abono ideal para las plantas (Santos y Urquiaga, 2013).

El Vermicompostaje de forma doméstica es realizado en cubos, este diseño facilita las condiciones de vida para la lombriz *Eisenia foetida* mejor conocida como la lombriz roja Californiana la cual es la protagonista del Vermicompostaje, pues tiene un gran rendimiento en la producción de humus, además que se alimenta de restos orgánicos, se reproduce rápidamente y tolera un amplio rango de temperatura (Santos y Urquiaga, 2013). Esta técnica puede llevarse a cabo en espacios reducidos, la exigencia recae en la de favorecer las condiciones ambientales para que se desarrollen las lombrices y puedan transformar la materia orgánica gracias a su metabolismo (GRAMA, 2006).

#### 2.5.2.2. Takakura

Es un método que emplea microorganismos aerobios que descomponen la materia orgánica en menor tiempo, esta transformación se fortalece por el constante movimiento del compost ya que el movimiento ayuda a los microorganismos aerobios y disminuye la acción de los anaerobios (Honobe, 2013). En este método los residuos orgánicos son sometidos al proceso de compostaje con microorganismos que se adaptan al suelo y están disponibles en el ambiente natural, los microorganismos fermentativos juegan un rol fundamental en este método ya que se adaptan al compost, posibilita la producción de una gran cantidad de abono orgánico en periodo de tiempo reducido y en espacios pequeños (IGES, 2010).

Los residuos orgánicos son fácilmente putrescibles y una forma de evitarlos es mediante la aplicación de microorganismos fermentativos e inducir un proceso de fermentación, una buena cantidad de microorganismos fermentativos evita la generación de malos olores por parte de los residuos orgánicos, para el desarrollo del compostaje no se requiere de microorganismos fermentativos especiales, sino más bien de aquellos que son nativos. Los microorganismos fermentativos de calidad están presentes en alimentos fermentados como el yogurt, la soja fermentada, vino, levaduras entre otros, también se encuentran en la tierra vegetal, en los campos de cultivo orgánico y otros materiales naturales como el afrecho de arroz, el pasto, árboles podridos, entre otros (IGES, 2010).

El método Takakura se elabora en tres fases:

**Primera fase:** Elaboración de una solución salada y dulce, los ingredientes principales para estas sustancias son: pieles de frutas y cáscaras de verduras, sal, azúcar o melaza, agua y productos que contengan microorganismos fermentativos, luego estas soluciones deben reposar por un tiempo aproximado de 8 días (Honobe, 2013).

**Segunda fase:** Preparación de la semilla, las soluciones fermentadas (salada y dulce), son mezcladas con aserrín, harina blanca u hojarasca, la mezcla se deja en reposo por un tiempo de 9 días o hasta que aparezca una capa blanca sobre el cúmulo.

**Tercera fase:** Elaboración de la compostera y desarrollo del compostaje, se emplea una gaveta, cesto o canasta que contenga orificios para la respiración de los microorganismos, en el interior del recipiente se introduce un cartón, en el cual se coloca una la semilla y los residuos desmenuzados, se realiza el control de parámetros como: temperatura, pH y húmedas, finalmente se espera a que el compost este maduro y apto para ser utilizado (Honobe, 2013).

#### *Ventajas del método Takakura*

- Producción del compost en dos semanas en un espacio pequeño.
- No genera malos olores ni infiltraciones.
- Económico y fácil.
- Uso de materiales locales.
- La presencia de microorganismos fermentados en el compost enriquece el suelo.
- Generación de ingresos por la venta del compost (IGES, 2010).

La principal diferencia entre el compostaje normal y el método Takakura es que este último degrada los residuos orgánicos en un periodo de tiempo reducido, requiere espacios reducidos para su producción haciendo que el método sea rápido, fácil y económico (Honobe, 2013).

## **2.6. Base Legal**

### **2.6.1. . Normativa para el aprovechamiento de residuos sólidos**

- Constitución de la República del Ecuador

Es la norma suprema que rige al país, a más de regular las actividades humanas incluye temas relacionados con la protección ambiental, reconociendo por primera vez los derechos de la naturaleza (Jara, 2016).

**Art 14.** Se reconoce el derecho a la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado de modo que se garantice la sostenibilidad y el buen vivir (Custode, 2017).

**Artículo 264.** Los gobiernos municipales tendrán competencias exclusivas sin perjudicar a la ley, entre dichas competencias se encuentra: prestar el servicio de agua potable, actividades de saneamiento ambiental, manejo de desechos sólidos y aquellos otros que establezca la ley (Custode, 2017).

- Ley de Gestión Ambiental

Establece varios principios de gran importancia, entre ellos la solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje, reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas sustentables, respeto a las culturas y prácticas tradicionales (Custode, 2017).

- Ley de Prevención y control de la contaminación Ambiental

Establece las disposiciones de contaminación del aire, agua y suelo, con la finalidad de precautelar la salud de las personas y el cuidado de los recursos naturales y otros bienes, las fuentes potenciales de contaminación son establecidos en la misma ley (Custode, 2017).

- Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización

El COOTAD en su artículo 4 establece las finalidades que tienen los gobiernos autónomos descentralizados, uno de ellos se enmarca en el literal d) en donde menciona que son responsables de la recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento del medio ambiente sostenible y sustentable, otro es mencionado en el literal f) que indica la responsabilidad que tienen los GAD para ofrecer un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos. En su artículo 55. Se delimita las limitaciones que tiene los GAD, el literal a) señala que tienen la responsabilidad de planificar junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad, el desarrollo cantonal...d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Custode, 2017).

- Acuerdo Ministerial 0.61

El acuerdo ministerial 0.61, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), busca controlar las actividades y responsabilidades tanto públicas como privadas de la conservación y preservación del medio ambiente, este acuerdo ministerial establece las normas y directrices para evitar que se generen daños ambientales, por ende menciona propiciar buenas prácticas ambientales, reciclaje y aprovechamiento de residuos principalmente (MAE, 2015).

**Art 47.** Sobre las Políticas Nacionales de Residuos Sólidos, menciona que el Estado ecuatoriano declara como prioridad nacional la gestión de residuos sólidos en el país esta es responsabilidad

compartida con la sociedad mediante un conjunto de políticas intersectoriales nacionales (MAE, 2015).

**Art 55.** Establece la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos como el conjunto de acciones y regulaciones con el fin de dar a estos residuos el destino mas apropiado desde el punto de vista técnico, económico y ambiental (MAE, 2015).

**Art 57.** Menciona las responsabilidades que tienen los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, entre sus literales se resaltan:

b) Establece la implementación de programas educativos para fomentar la cultura de la minimización, generación, separación de la fuente y reciclaje de residuos.

d) Promover la instalación y operación de centros de recuperación de residuos sólidos aprovechables con el objetico de fomentar su reciclaje (MAE, 2015).

### **2.6.2. Normativa para el uso y aprovechamiento de lodos residuales**

Ecuador actualmente no cuenta con normativa para los lodos residuales, la cual ayudaría a controlar los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, por ende, es necesario recurrir a la normativa internacional que la Autoridad Ambiental Nacional considere aplicable (Gualoto, 2016).

- US.EPA CFR 40 parte 503 Norma Para el uso o Eliminación de Lodos Residuales

Establece los límites de contaminantes, prácticas de gestión y las normas de funcionamiento para el uso o la eliminación de lodos residuales generados en el tratamiento de aguas domesticas en la planta de tratamiento (Gualoto 2016).

**Tabla 20-2:** Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales

| <b>Contaminante</b> | <b>Concentración para aplicación<br/>(mg/kg) en base seca</b> | <b>Concentración máxima<br/>(mg/kg) en base seca</b> |
|---------------------|---|--|
| Arsénico            | 41  | 75   |
| Cadmio              | 39  | 85   |
| Cobre               | 1500  | 4300   |
| Plomo               | 300   | 840  |
| Mercurio            | 17  | 57   |
| Níquel              | 420   | 420  |

|         |      |      |
|---------|------|------|
| Selenio | 100  | 100  |
| Zinc    | 2800 | 7500 |

Fuente: (EPA, 2018)

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La EPA clasifica además a los lodos en dos clases: A y B de acuerdo a su contenido de patógenos.

**Tabla 21-2:** Límites de calidad microbiológica establecido por la EPA

| Microorganismo        | Lodo Clase A         | Lodo Clase B                    |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------|
| Coliformes fecales    | < 1000 NMP o UFC     | < 2 x 10 <sup>6</sup> NMP o UFC |
| <i>Salmonella spp</i> | < 3 NMP/4g           | No aplica                       |
| Huevos de helmintos   | < 1 huevo viable/ 4g | No aplica                       |

Fuente: (Jiménez y Méndez, 2005).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

- NORM-004 SEMARNAR 2002

La Norma oficial mexicana, establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes de lodos y biosólidos, para su aprovechamiento y disposición final, con la finalidad de posibilitar su tratamiento o su disposición final y con ello proteger al ambiente y la salud humana. De acuerdo con esta normativa los biosólidos son clasificados por: su contenido de metales pesados y por su contenido de patógenos (SEGOB, 2003).

**Tabla 22-2:** Límites máximos establecidos para metales pesados en biosólidos

| Metal pesado | Excelentes (mg/Kg) en base seca | Buenos (mg/Kg) en base seca |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Arsénico     | 41                              | 75                          |
| Cadmio       | 39                              | 85                          |
| Cromo        | 1200                            | 3000                        |
| Cobre        | 1500                            | 4300                        |
| Plomo        | 300                             | 840                         |
| Mercurio     | 17                              | 57                          |
| Níquel       | 420                             | 420                         |
| Zinc         | 2800                            | 7500                        |

Fuente: (SEGOB, 2003).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 23-2:** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

| Microorganismos   | Clase A           | Clase B           | Clase C           |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Coliformes fecales (NMP/g en base seca)                   | $< 1 \times 10^3$ | $< 1 \times 10^3$ | $< 2 \times 10^6$ |
| <i>Salmonella spp</i> (NMP/g en base seca)                | $< 3$             | $< 3$             | $< 300$           |
| Huevos de helmintos (huevos de helmintos /g en base seca) | $< 1$             | $< 10$            | $< 35$            |

Fuente: (SEGOB, 2003).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Los lodos residuales provenientes de las PTAR son desechos sólidos, que, dependiendo de sus caracterización y composición pueden ser considerados como peligrosos o no peligrosos. Su regulación y control está a cargo del Ministerio del Ambiente y en función de Normas Técnicas que establecen los límites máximos permisibles de sustancias o contaminantes, previos a su disposición final. En caso de ser clasificado como desecho no peligroso, la normativa aplicable es el Libro VI del TULSMA, en donde se establece todas las directrices y consideraciones que se deben tomar en cuenta para su manejo. Cuando el lodo es considerado peligroso, el Acuerdo Ministerial 026, determina todos los procedimientos requeridos para transportar, gestionar y registrar este tipo de desechos (Pérez y Zumbana, 2016).

### 2.6.3. Normativa para el uso del compostaje

Ecuador no posee una normativa vigente para determinar la calidad de un compost como enmienda orgánica, por ello es necesario recurrir a normas internacionales para comparar y establecer el tipo de abono orgánico obtenido. Chile es el país pionero en América latina en elaborar estas normas, su legislación está basada también en otras normas internacionales, las cuales son usadas por Ecuador (Yañez, Levy y Azero, 2007).

- Normativa Chilena

Clase A: Este compost no presenta ninguna restricción de uso y puede ser aplicado directamente sin mezclarse ya que ha sido sometido a un proceso de humificación.

Clase B: Abono orgánico que debe ser mezclado antes de su aplicación.

Inmaduro: Materia orgánica que aún no ha alcanzado su estabilización porque ha pasado únicamente por la etapa mesófila y termófila (SAG, 2005).

**Tabla 24-2:** Parámetros de la calidad de compost

| Parámetro                                 | Concentración              |         |          |
|---|----------------------------|---------|----------|
|   | Clase A                    | Clase B | Inmaduro |
| Humedad (%)                               | < 30                       |         |          |
| Conductividad eléctrica (dS/m)            | ≤ 5                        | 5-12    |          |
| C/N                                       | 10-25                      | 10-40   | Max 50   |
| pH  | 7-8                        | 6,5-8,5 | 6, 8,5   |
| M.O (% base seca)                         | ≥ 25                       |         |          |
| Coliformes fecales (NMP/g base seca)      | < 1 x10 <sup>3</sup>       |         |          |
| <i>Salmonella spp.</i> (NMP/4g base seca) | < 3                        |         |          |
| Huevos de helminto (NMP/4g base seca)     | < 1                        |         |          |
| Olor                                      | No presenta olores fuertes |         |          |

Fuente: (SAG, 2005).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 25-2:** Concentraciones máximas de metales pesados en compost a base de lodos

| Metal Pesado | Concentración máxima (mg/Kg en base seca) |
|--------------|---|
| Arsénico     | 20  |
| Cadmio       | 8   |
| Cobre        | 1000                                      |
| Cromo        | 600                                       |
| Mercurio     | 4   |
| Níquel       | 80  |
| Plomo        | 300                                       |
| Zinc         | 2000                                      |

Fuente: (SAG, 2005).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

- NORMA-004 SEMARNAR 2002

La norma oficial mexicana establece el aprovechamiento que se da a los biosólidos de acuerdo a su clasificación.

**Tabla 26-2:** Aprovechamiento de biosólidos

| Clase | Tipo              | Aprovechamiento   |
|-------|-------------------|---|
| A     | Excelente         | - Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación<br>- Los establecidos en la clase B y C |
| B     | Excelente o Bueno | - Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación<br>- Los establecidos para la clase C   |
| C     | Excelente o Bueno | -Usos forestales<br>-Mejoramiento de suelos<br>-Usos agrícolas  |

Fuente: (SEGOB, 2003).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

- Real decreto 506/2013 España- sobre productos fertilizantes

Esta normativa establece los límites de determinados parámetros y metales pesados, para poder clasificar al compost en diferentes categorías: A, B y C, en función del contenido de metales pesados (Ministerio de la Presidencia, 2013).

El Real decreto 506/2013 España-sobre productos fertilizantes, establece también que los fertilizantes orgánicos serán acreditados cuando no superen los límites máximos de los siguientes microorganismos: *Salmonella* el cual debe estar ausente en 25 g de producto elaborado y *Echerichia coli* menor a 1000 NMP/g y no deben superar las concentraciones de metales pesados establecidos (Ministerio de la Presidencia, 2013).

**Tabla 27-2:** Límite máximo de concentraciones de metales pesados en fertilizantes orgánicos

| Metal pesado  | Límites de concentración (mg/Kg) |         |         |
|---------------|----------------------------------|---------|---------|
|               | Clase A                          | Clase B | Clase C |
| Cadmio        | 0,7                              | 2       | 3       |
| Cobre         | 70                               | 300     | 400     |
| Níquel        | 25                               | 90      | 100     |
| Plomo         | 45                               | 150     | 200     |
| Zinc          | 200                              | 500     | 1000    |
| Mercurio      | 0,4                              | 1,5     | 2,5     |
| Cromo (Total) | 70                               | 250     | 300     |
| Cromo (VI)    | No detectable                    |         |         |

Fuente: (Ministerio de la Presidencia, 2013).

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo experimental ya que para la obtención del bioabono se utilizaron bacterias ácido lácticas provenientes de leche y suero de leche para determinar la más eficiente. El proyecto tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo, cualitativo ya que para determinar las características del abono se consideró: olor, color y textura; cuantitativo puesto que, durante el proceso de compostaje y digestión anaerobia, se obtienen datos numéricos que permiten evaluar los parámetros de control.

#### 3.2. Localización del proyecto

La planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía PEISOL S.A, lugar de donde se extrajo los lodos se encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio, parroquia Dureno, la cual está comprendida en la latitud 0.044444 y la longitud -76.6972 a una altura de 300 msnm.

##### *Límites*

**Norte:** Parroquia General Farfán y Pacayacu y límite internacional con Colombia.

**Sur:** Parroquia el Eno y cantón Shushufindi.

**Este:** Parroquia el Eno y Nueva Loja.

##### *3.2.1. Localización experimental*

El desarrollo del presente trabajo de titulación se desarrolló en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia rural de Guaytacama, barrio La Libertad, en un espacio de terreno de 120 m<sup>2</sup>. Las pruebas de laboratorio se realizaron en los laboratorios de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, con una latitud de -1.6709800 y una longitud de -78.6471200.

#### 3.3. Población de estudio y tamaño de la muestra

La población de estudio para el presente trabajo de titulación fueron los lodos activados provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía PEISOL S.A.

Se recibieron 45 barriles de lodos los cuales han sido tomados mediante muestreo de la PTAR por los trabajadores de la compañía para posterior a su descarga realizar su caracterización, el cual fue desarrollado en el laboratorio de calidad de agua y suelos de la facultad de Ciencias.

Para la recolección de las muestras del compostaje se empleó el método del cuarteo, considerando 4 submuestras tomadas de diferentes partes de la unidad experimental, para que la muestra fuese representativa al final se tomó una sola muestra de 1 kg para su análisis en el laboratorio y para el biol se tomó una muestra de 500 mL de mezcla previamente homogenizada.

### **3.4. Técnica de recolección de datos**

#### ***3.4.1. Por instrumentación***

- Termómetro: Control de la temperatura en el proceso de obtención de abono orgánico tanto sólido como líquido
- Higrómetro de jardín: Toma de datos de la humedad de la composta.
- pH-metro y papel tornasol: Permite obtener información sobre el potencial de hidrógeno en el desarrollo tanto del compost como del biol.
- Conductímetro: Permite la toma de datos de la conductividad eléctrica de ambos procesos.

#### ***3.4.2. Por indicadores***

- Análisis de laboratorio al iniciar los tratamientos, se consideran parámetros como: nitrógeno, fósforo, materia orgánica, carbono, calcio y magnesio.
- Control de la temperatura, pH y humedad tres veces por semana.
- Toma de muestras de ambos procesos biológicos para su análisis al finalizar el proceso.
- Registro de los datos obtenidos y comparación de los tratamientos con las normas establecidas.
- Análisis estadístico de los resultados obtenidos del biol.

### **3.5. Metodología**

#### ***3.5.1. Adecuación del espacio físico para el desarrollo del proyecto***

Al tratarse de una cantidad considerable de lodo a ser sometido a un proceso de estabilización, se construyó un reservorio de 3 m de ancho, 3 m de largo y 0,85 m de profundidad, el cual fue cubierto con una geomembrana para que el líquido no pueda infiltrarse en el suelo, además en el mismo sitio fue necesario diseñar una estructura honda rectangular cubierta con plástico con el objetivo de poder separar el líquido del sólido, así también se construyó un invernadero artesanal de 6 m de ancho y 20 m de largo para evitar que las condiciones climatológicas influyesen en el proceso de obtención del abono orgánico y además para simular la temperatura de procedencia de los lodos, para su construcción fueron empleados clavos de 2,2.5, 4 y 5 pulgadas, 20 palos de madera y un plástico de invernadero de reúso.



**Ilustración 1-3:** Construcción del invernadero artesanal

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 3.5.2. Caracterización inicial

Una vez descargado el lodo residual en el reservorio, se separó el excedente de líquido utilizando una malla fina y depositándolo en el recipiente de madera construido, posterior se tomó una muestra tanto del líquido como de lodo para su caracterización fisicoquímica y microbiológica. La toma de la muestra de lodo se tomó mediante un muestreo al azar, para el caso del lodo se recolectaron dos muestras, una para el análisis fisicoquímico, para la cual se tomó 250 g en una funda ziploc y la otra fue tomada en un frasco de orina estéril para su análisis microbiológico, ambas muestras fueron etiquetadas y trasladadas en un cooler a una temperatura de 4°C hasta el laboratorio la facultad de Ciencias de la ESPOCH para su caracterización.

**Tabla 1-3:** Métodos usados para el análisis físico químico del lodo residual

| Parámetros            | Unidades       | Método de análisis |
|-----------------------|----------------|--------------------|
| pH                    | Unidades de pH | Potenciómetro      |
| Humedad               | %              | Gravimétrico       |
| Materia Orgánica (BS) | %              | Wlkley-Black       |

|                             |      |                                      |
|-----------------------------|------|--------------------------------------|
|                             |      | Volumétrico Ox-Rd                    |
| Carbono Orgánico Total (BS) | %    | Cálculo                              |
| Nitrógeno Total (BS)        | %    | Digestión Ácido/base<br>colorimetría |
| Fósforo Total (BS)          | %    | Gravimétrico                         |
| Plomo                       | m/Kg | Colorimétrico Hach<br>TNT 850        |
| Cadmio                      | m/Kg | Colorimétrico Hach<br>TNT 852        |
| Tensoactivos                | m/Kg | Colorimétrico Hach<br>TNT 710        |
| Aceites y Grasas            | m/Kg | Gravimétrico SM<br>*5520-B           |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 2-3:** Métodos usados para el análisis microbiológico del lodo residual

| Parámetros                   | Unidades | Método de análisis |
|------------------------------|----------|--------------------|
| Coliformes totales           | UFC/g    | Siembra en masa    |
| <i>Escherichia Coli</i>      | UFC/g    | Siembra en masa    |
| Pseudomonas                  | UFC/g    | Siembra en masa    |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | UFC/g    | Siembra en masa    |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La muestra de agua residual fue tomada mediante muestreo al azar y a media profundidad, lejos de las orillas, para su análisis fisicoquímico se tomó una muestra de 500 mL en un recipiente de plástico, para el análisis de aceites y grasas 500 mL en un recipiente ámbar de vidrio y para el microbiológico en un frasco de orina estéril, las muestras recolectas fueron etiquetadas y trasladadas en un cooler a una temperatura de 4°C hasta su traslado al laboratorio la facultad de Ciencias de la ESPOCH para su respectiva caracterización.

**Tabla 3-3:** Métodos usados para el análisis físico químico del agua residual

| Parámetros    | Unidades       | Método de análisis |
|---------------|----------------|--------------------|
| pH            | Unidades de pH | 4500-H-B           |
| Conductividad | μSiems/cm      | 2510-B             |
| Turbiedad     | NTU            | 2130-B             |

|  |      |                         |
|--|------|-------------------------|
| Demanda Química de oxígeno             | mg/L | 5220-D                  |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno          | mg/L | 5210-B                  |
| Fósforo- Fosfatos                      | mg/L | 4500-P-D                |
| Nitrógeno orgánico total               | mg/L | 4500-NO <sub>3</sub> -E |
| Plomo                                  | mg/L | HACH-10216              |
| Zinc                                   | mg/L | HACH-8009               |
| Detergentes.<br>Surfactantes aniónicos | mg/L | HACH-710                |
| Aceites y Grasas                       | mg/L | 5520-B                  |
| Materia orgánica; volátil              | mg/L | 2540-E                  |
| Sólidos disueltos                      | mg/L | 2540-C                  |
| Sólidos suspendidos                    | mg/L | 2540-D                  |
| Sólidos sedimentables                  | mg/L | 2540-F                  |
| Sólidos totales                        | mg/L | 2540-B                  |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 4-3:** Métodos usados para el análisis microbiológico del agua residual

| Parámetros         | Unidades   | Método de análisis |
|--------------------|------------|--------------------|
| Coliformes totales | UFC/100 mL | Siembra en masa    |
| Coliformes Fecales | UFC/100 mL | Siembra en masa    |
| Estafilococos      | UFC/100 mL | Siembra en masa    |
| Hongos y Levaduras | UFC/100 mL | Siembra en masa    |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

En cuanto a los residuos sólidos, estos fueron recolectados de los hogares de los tesisistas ya que al ser un proyecto a escala piloto la cantidad requerida no era considerable, su caracterización fue realizada de forma bibliográfica, puesto que se trataban de residuos bastante comunes y que antes ya han sido empleados con éxito en procesos de compostaje.

### 3.5.3. *Elaboración de abono orgánico mediante el método Takakura*

#### 3.5.3.1. *Preparación de la solución dulce y salada*

##### *Materiales*

Adicional a los descritos en la tabla 5-3 se requiere dos botellas plásticas con volumen de 5 litros con tapa y como equipo una balanza para pesar las cantidades establecidas.

**Tabla 5-3:** Ingredientes y concentraciones empleados en el método Takakura

| Solución dulce      |                   | Solución Salada     |                   |
|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Ingredientes</i> | <i>Cantidades</i> | <i>Ingredientes</i> | <i>Cantidades</i> |
| Agua                | 2 L               | Agua                | 2 L               |
| Azúcar Morena       | 61.5 gr           | Sal                 | 39 gr             |
| Yogurt              | 0,2 L             | Frutas              | 750 gr            |
| Melaza              | 0,25 L            | Verduras            | 227 gr            |
| Levadura            | 11,5 gr           |                     |                   |

**Fuente:** (Ocampo, Gutiérrez y Ramírez, 2015).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### *Procedimiento*

En una de las botellas plásticas se mezclaron los ingredientes para la elaboración de la solución dulce: agua, azúcar morena, yogurt, melaza y levadura granulada en las concentraciones establecidas en la tabla 5-3, así mismo para la solución salada se mezclaron en el segundo recipiente la piel de frutas (uva, manzana y papaya) y la de verduras (pepinillo y lechuga) con agua y sal, ambas botellas fueron tapadas y las soluciones dejadas en reposo durante 8 días, transcurrido este tiempo se tomó una muestra de 500 mL para su análisis en el laboratorio y comprobar su fermentación, ambas soluciones fueron filtradas con el fin de utilizar únicamente el líquido en la preparación de la semilla.



**Ilustración 2-3:** Solución salada y dulce

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 3.5.3.2. Preparación de la semilla Takakura

Transcurrido los 8 días de fermentación de las soluciones salada y dulce se procedió a la elaboración del coctel de microorganismos denominado semilla Takakura, para lo cual, en un recipiente de plástico grande se mezclaron los ingredientes descritos en la tabla 6-3, estos fueron homogenizados y humedecidos hasta alcanzar una humedad del 50%, para verificar este parámetro se realizó la prueba del puño, la cual consiste en tomar una cantidad de sustrato con el puño de la mano y apretarlo, si esta se compacta y no se deforma, la humedad es la adecuada, por el contrario si pierde la forma indica que la mezcla esta demasiada seca y si al apretar chorrea agua quiere decir que tiene exceso de humedad. El recipiente con la mezcla fue tapado con papel periódico para evitar el ingreso de insectos y mantener la temperatura adecuada. Transcurrido un periodo de 15 días en la superficie se formó moho blanco indicando la finalización del proceso de fermentación.

**Tabla 6-3:** Proporciones para la semilla Takakura

| <b>Ingredientes</b> | <b>Cantidad</b> |
|---------------------|-----------------|
| Harina              | 2 kg            |
| Lodo deshidratado   | 1, 5 kg         |
| Aserrín             | 3 kg            |
| Fermento dulce      | 3,5 L           |
| Fermento salado     | 3.5 L           |

**Fuente:** (Ocampo, Gutiérrez y Ramírez, 2015).

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.



**Ilustración 3-3:** Preparación de la semilla Takakura

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### *3.5.3.3. Elaboración de la caja respirable y desarrollo del proceso a escala piloto*

Para la elaboración de la compostera se tomó una gaveta con orificios en sus paredes, este fue forrado por dentro con un cartón, las ranuras generadas fueron selladas con tape masking ya que este permite el paso de aire que ayudará al desarrollo de los microorganismos, e impide el paso de insectos que pueden alterar el proceso.



**Ilustración 4-3:** Elaboración de la caja respirable

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Una vez puestos los equipos de protección personal se colocó la mitad de la semilla en la base de la compostera, posterior los 15 kg de desechos orgánicos recolectados que fueron picados hasta



alcanzar un tamaño de 3 cm y luego el resto de la semilla macerada se colocó en la superficie, finalmente la caja es cubierta con una tela para evitar el ingreso de insectos.



**Ilustración 5-3:** Inicio del proceso de compostaje

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 3.5.3.4. Control de los parámetros

##### *Materiales*

- Cofia
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Cuaderno de apuntes
- Pala plástica para arena

##### *Equipos*

- Termómetro de suelos en forma de T
- Higrómetro de jardín
- Termohigrómetro
- Cámara fotográfica

##### *Procedimiento*

- El termohigrómetro permitió conocer la temperatura ambiente ya que si este se encontraba muy frío la compostera tardaría en calentarse influyendo en el proceso de compostaje y si el clima se encontraba cálido beneficiaba al proceso, en este caso al encontrarse la compostera

en un invernadero, la temperatura ambiente tomada fue de este espacio, el cual no superó los 30°C.

- Para el control de la temperatura se empleó el termómetro de suelos en forma de T, la medición en forma directa fue realizada pasando un día.
- Para medir la humedad y el pH se utilizó un higrómetro de jardín con la misma frecuencia que la temperatura.
- Para controlar la temperatura y la humedad se realizaron volteos manuales utilizando una pala para arena y el equipo de protección personal, durante el proceso de compostaje se realizaron en total de 6 volteos puesto que al encontrarse en el interior de un invernadero la parte superior de la compostera se encontraba a mayor temperatura que en el interior, los volteos en conjunto con la adición de agua permitieron regular la temperatura y la humedad.

#### 3.5.3.5. Toma de muestras para el compost

Las muestras fueron tomadas utilizando materiales como: mascarillas, guantes, cofia, pala plástica para arena y una funda ziploc, con ayuda de los guantes y la pala se tomaron 6 submuestras de zonas diferentes de la compostera, estas fueron homogenizadas y se realizó el método del cuarteo con la finalidad de conseguir una muestra representativa. La toma de la muestra se realizó al inicio y al finalizar el proceso de compostaje, en cada muestreo realizado se envió 500 g de muestra al laboratorio de calidad de agua y suelos para su respectivo análisis, para la toma de la última muestra, esta fue tamizada para separar el material grande del pequeño

#### 3.5.3.6. Ensayos de los análisis en el laboratorio

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos tanto de la solución dulce y salada, así como del compost fueron realizados en el laboratorio de calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias empleando las técnicas descritas en las siguientes tablas:

**Tabla 7-3:** Métodos fisicoquímicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos

| <b>Parámetro</b>        | <b>Técnica</b>                         | <b>Unidad</b>  |
|-------------------------|--|----------------|
| Conductividad eléctrica | Potenciométrico                        | dS/m           |
| Potencial de hidrógeno  | Potenciométrico                        | Unidades de pH |
| Nitrógeno               | Digestión ácida/ base<br>colorimétrica | %              |
| Magnesio                | Volumétrico                            | %              |
| Materia orgánica        | Volumétrico                            | %              |

|                                    |                               |                   |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Calcio                             | Volumétrico                   | %                 |
| Fósforo                            | Colorimétrico                 | %                 |
| Hierro                             | Colorimétrico                 | mg/Kg             |
| Capacidad de intercambio catiónico | Volumétrico                   | meq/g             |
| Humedad                            | Gravimétrico                  | %                 |
| Arsénico                           | Absorción atómica             | mg/Kg             |
| Cobre                              | Absorción atómica             | mg/Kg             |
| Plomo                              | Colorimétrico HACH<br>TNT 850 | mg/Kg             |
| Cromo                              | Absorción atómica             | mg/Kg             |
| Densidad aparente                  | Gravimétrico                  | kg/m <sup>3</sup> |
| Densidad relativa                  | Gravimétrico                  | kg/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### **Procedimientos realizados en el laboratorio**

Previo al desarrollo de los análisis se procedió a preparar las muestras, utilizando el equipo de protección personal y los materiales de laboratorio. Para la muestra tomada el inicio del proceso de compostaje, los residuos fueron reducidos de tamaño y molidas utilizando un mortero, una vez alcanzada el tamaño adecuado se pesó un gramo en una balanza analítica y con ayuda de una probeta se llevó a una dilución de 1 en 100 con agua destilada, luego se tomó 10 mL de la dilución anterior y se llevó a 100 mL ya que el color era demasiado intenso e influiría en las pruebas colorimétricas. La última dilución fue colocada en un Erlenmeyer de 250 mL y se colocó en un digestor magnético por 24 horas para poder homogenizar bien la muestra.

Para las soluciones salada y dulce, empleando una probeta se realizó una dilución de 5 en 100 para cada una, al ser todavía muy intenso el color se tomó 10 mL de cada dilución y se llevó a 100 mL con agua destilada.

#### *Conductividad eléctrica y pH*

Para las solución salina y dulce se tomó 5 mL de la muestra en un vaso plástico y se realizó la lectura directa. Para el compost maduro se pesó 3 gramos de muestra en una balanza analítica y se cubrió con agua destilada en un envase plástico, la mezcla fue homogenizada y se colocaron los electrodos para medir ambos parámetros.

#### *Nitrógeno*

- El nitrógeno fue analizado utilizando el método Hach Nitrógeno total. Este procedimiento cuenta con dos cajas de reactivos, el primer paso fue mezclar el reactivo de persulfato de nitrógeno al tubo de reactivo de hidróxido de nitrógeno total RA (ambos contenidos en la primera caja), se limpió el reactivo que quedo a ver quedado en la rosca del tubo y se tapó bien.
- Luego se añadió 0,5 mL de muestra que se encontraba en el Erlenmeyer después de su digestión, se tapó el tubo y se agitó vigorosamente por medio minuto.
- Posterior se colocó el tubo en el reactor y se dejó calentando por 30 minutos, transcurrido este tiempo se retiraron los tubos del equipo y fueron colocados en una gradilla para ser enfriados.
- Una vez el tubo se encontraba frío, seleccionamos en el espectrofotómetro Hach la opción 394 total RA TNT, y se añadió el reactivo A que se encontraba en la segunda caja, se tapó el tubo y se agitó manualmente durante 15 segundos.
- En el equipo seleccionamos el temporizador y marcamos un tiempo de 3 minutos, pasado este tiempo se colocó el reactivo B y nuevamente se agitaron por 15 segundos, con este reactivo la solución adoptó una coloración amarilla.
- Nuevamente se colocó el temporizador por 2 minutos más, la segunda caja contenía un tubo C con reactivo TN, al cual se añadió 2 mL de la muestra digerida y tratada, se tapó correctamente el tubo y se agitó hasta que se mezcló bien, esta acción generó una reacción exotérmica y se dejó reposar la nueva sustancia por 5 minutos utilizando el temporizador.
- Finalmente se realizó la lectura de nitrógeno total de la muestra utilizando el espectrofotómetro.

#### *Fósforo*

- Al ser todavía el color muy intenso para determinar este parámetro se realizó una filtración y luego una nueva dilución, para ello se tomó una muestra de 10 mL de esta filtración y se llevó a 100 mL en la probeta, finalmente se colocó el reactivo de fósforo y se realizó su lectura en el espectrofotómetro. La intensidad de la coloración celeste nos dará un indicativo de su coloración.

#### *Calcio y Magnesio*

- Del filtrado anterior se tomó 25 mL de muestra y se aforó a 100 mL con agua destilada en una probeta, de esta solución se tomó 25 mL y se llevó a un Erlenmeyer.

- Para el magnesio con ayuda de una pipeta se añadió 1,5 mL de solución buffer y una pizca de negro de Ericromo T y se llevó a titulación con EDTA
- En el caso del calcio se colocó 1 mL de CN en 50 mL de la muestra, se añade una gota de murexina y se tituló con EDTA.
- Finalmente, sus valores son calculados mediante la siguiente expresión:

$$Ca/Mg = \frac{Vf \times M \times Pm}{Vt}$$

Donde:

Vf: Volumen empleado en la titulación

M: Molaridad del EDTA

Pm: Peso molecular del elemento

Vt: Volumen total de la muestra

#### *Humedad y Materia orgánica*

Se pesó la bandeja de aluminio y después se colocó la muestra, este fue colocado en una mufla a 430°C por un tiempo de 24 horas y se procedió a pesar en una balanza analítica. Para la metería orgánica utilizamos un crisol el cual fue primero pesado, luego taramos el crisol (a 105°C por 2 h), se dejó reposar en el desecador por 30 minutos y se volvió a pesar, colocamos 3 gramos de muestra y lo llevamos a la mufla por un día a una temperatura de 430°C, una vez transcurrido este tiempo se colocó en el desecador por un tiempo estimado de 30 minutos hasta que enfríe, finalmente se volvió a pesar la muestra calcinada y se calculó empleando la siguiente formula.

$$MS = PMS - PA$$

$$\%H = \frac{PA + MS - PA}{PAM}$$

Donde:

H: Humedad

PA: Peso de papel aluminio

PAM: Peso del papel aluminio + muestra

PMS: Peso de la muestra seca + papel aluminio

MS: Muestra seca

$$\%M.O = \frac{(\text{Peso de crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{peso de crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso del crisol vacío}) \times 100}$$

### *Hierro y cobre*

Se pesó una muestra de 1 gramo de compost en la balanza analítica, la muestra se colocó en Erlenmeyer y se añadió 100 mL de agua destilada, se homogenizó en el agitador magnético, para estos parámetros fue necesario filtrar dos veces la solución ya que el color influiría en sus análisis, se tomó 2 muestras de 10 mL con ayuda de una pipeta y se colocó en 2 tubos, a cada uno se le colocó un reactivo, uno para hierro y otro para cobre, finalmente los tubos fueron introducidos en el espectrofotómetro para su lectura.

### *Capacidad de intercambio catiónico*

Este parámetro se realizó por bases intercambiables por valoración con EDTA

- Se pesó 0,5 g de muestra de compost en una balanza analítica, se añadió en un Erlenmeyer de 250 mL una cantidad de 100 mL de disolución de acetato de amonio.
- Se agitó en un agitador magnético durante 5 minutos, luego se filtró la mezcla utilizando papel filtro, luego se añadió 10 mL de solución reguladora y 10 gotas de negro de Ericromo T.
- Luego se valoró el filtrado con EDTA hasta que su color cambió de rojo a azul.

### *Densidad aparente*

- Se pesó una probeta de 50 mL utilizando una balanza analítica, luego se añadió compost hasta la marca de 30 mL en la probeta y se volvió a pesar.
- Se determinó la masa del suelo al restar el peso de la probeta con abono orgánico menos el peso de la probeta vacía, esto permitió a su vez el cálculo de la densidad.

$$Densidad = \frac{peso}{volumen}$$

### *Densidad real*

- En una balanza analítica se pesó la probeta de 50 mL, se añadió abono orgánico hasta los 30 mL de la probeta, nuevamente se volvió a pesar, pero con el contenido de compost.
- Se determinó la masa del suelo al restar el peso de la probeta con abono orgánico menos el peso de la probeta vacía.
- Se determinó el volumen del suelo, pero sin aire, para ello se compactó el compost en el interior de la probeta hasta observar que no haya espacios vacíos y se observó el volumen real.

- Se calculó la densidad real del suelo a través de la fórmula:

$$Densidad\ real = \frac{peso}{volumen\ real}$$

**Tabla 8-3:** Métodos microbiológicos y biológicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos

| Parámetro             | Técnica         | Unidad     |
|-----------------------|-----------------|------------|
| Coliformes totales    | Siembra en masa | UFC/100 mL |
| Coliformes fecales    | Siembra en masa | UFC/100 mL |
| Índice de germinación | Zucconi et al., | %          |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### Índice de germinación

- Se pesó 3 g de compost y se humedeció hasta alcanzar el 60 % (4,5 mL de agua destilada) y se dejó en reposo durante 30 minutos.
- Con ayuda de una probeta se midió 13,5 mL de agua destilada por cada gramo de muestra, en total se añadió 40,5 mL y se agitó por 30 minutos.
- La mezcla fue centrifugada a 400 rpm por un tiempo de 10 minutos.
- Para esterilizar el extracto se filtró al vacío con papel de 0,45 micrómetros.
- Se colocó papel filtro en el interior de 20 cajas Petri, 10 fueron para el extracto y las restantes para tratamiento testigo.
- En el interior de cada caja de Petri se colocó 10 semillas de rábano y con ayuda de una pipeta plástica estéril se añadió 1 mL de extracto acuoso.
- Para el tratamiento testigo se adicionó 1 mL de agua destilada.
- Las cajas Petri fueron selladas y etiquetadas para ser incubadas a 28°C por 48 horas, las cajas fueron distribuidas en grupos de 5 y fueron cubiertas con hojas de papel recicladas.
- Una vez pasado el tiempo establecido se contabilizó las semillas germinadas y se midió el tamaño de las raíces usando una hoja de papel milimetrado.
- Finalmente se calculó el índice de germinación empleando la siguiente expresión:

$$\%GRS = \frac{N^{\circ}\text{ semillas germinadas en el extracto}}{N^{\circ}\text{ semillas germinadas en el blanco}} \times 100$$

$$\%CRR = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula en el extracto}}{\text{Longitud promedio de la radícula en el blanco}} \times 100$$

$$\%IG = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

Donde:

GRS= Porcentaje de germinación relativa de semillas

CRR= Crecimiento relativo de la radícula

IG= Índice de crecimiento

### 3.5.4. *Elaboración de abono orgánico líquido mediante digestión anaerobia*

#### 3.5.4.1. *Diseño experimental*

En el presente proyecto de investigación se empleó un diseño completo al azar; la obtención de biol a pequeña escala se realizó en la ciudad de Latacunga, con tres tratamientos con dos réplicas y un blanco, mientras que los análisis de laboratorio fueron desarrollados en el laboratorio de calidad del agua y suelos de la facultad de ciencias de la ESPOCH ubicado en la ciudad de Riobamba.

**Tabla 9-3:** Formulación del blanco

| <b>Materiales</b>        | <b>Cantidad</b> |
|--------------------------|-----------------|
| Estiércol fresco de vaca | 306.96 g        |
| Melaza                   | 154.61 g        |
| Levadura                 | 24 gr           |
| Ceniza                   | 120 g           |
| Cáscara de huevo molido  | 60 g            |
| Agua                     | 3 L             |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 10-3:** Tratamientos para la obtención de biol

| <b>Tratamiento</b> | <b>Identificación</b> | <b>Composición</b>   |
|--------------------|-----------------------|--|
| 1                  | L1                    | estiércol + melaza+ levadura+ ceniza + agua + cáscara de huevo + leche pura                              |
| 2                  | S1                    | estiércol + melaza+ levadura+ ceniza + agua + cáscara de huevo + suero de leche                          |
| 3                  | M1                    | estiércol + melaza+ levadura+ ceniza + agua + cáscara de huevo + suero de leche (50%) + leche pura (50%) |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.



### 3.5.4.2. Construcción del biodigestor

#### Procedimiento

El biodigestor considerado para esta experimentación fue de tipo artesanal, para ello, a las botellas plásticas de 6 litros de capacidad se adaptó un extremo de las mangueras de media pulgada de diámetro cercano a la tapa y el otro extremo de la manguera fue adaptado a la botella plástica pequeña que contenía agua (3/4 de su capacidad) para la recolección de gases generados en el proceso fermentativo, para asegurar que no existan fugas se realizó un sellado hermético a las conexiones usando cinta teipe y silicona caliente. Para acelerar el proceso se consideró el uso de hieleras termo de espuma Flex, las cuales fueron forradas interiormente con papel aluminio, adicional se instaló un foco incandescente para incrementar la temperatura interna.

### 3.5.4.3. Determinación de la cantidad de muestra y de los ingredientes usados

Se determinó la cantidad de muestra de agua residual y de los ingredientes a emplear para la obtención de abono líquido a escala de laboratorio, partiendo de una base de 3 litros de agua no potable, en lugar de 130 L y 25 litros de agua que sugiere bibliografía.

**Tabla 11-3:** Cantidades de los ingredientes requeridos para la obtención de biol a escala de laboratorio

| Ingredientes             | Cantidad sugerida | Cálculos                         | Cantidad a escala de piloto |
|--------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Estiércol fresco de vaca | 13300 g           | $X = \frac{3L * 13300 g}{130 L}$ | 306.96 g                    |
| Melaza                   | 6700 g            | $X = \frac{3L * 6700 g}{130 L}$  | 154.61 g                    |
| Levadura                 | 200 gr            | $X = \frac{3L * 200 g}{25 L}$    | 24 gr                       |
| Suero de leche           | 1 L               | $X = \frac{3L * 1L}{25 L}$       | 120 mL                      |
| Ceniza                   | 1000 g            | $X = \frac{3L * 1000 g}{25 L}$   | 120 g                       |
| Cáscara de huevo molido  | 500 g             | $X = \frac{3L * 500 g}{25 L}$    | 60 g                        |
| Leche pura de vaca       | 1 L               | $X = \frac{3L * 1L}{25 L}$       | 120 mL                      |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 3.5.4.4. *Obtención de biol a escala piloto*

- Para la obtención de abono orgánico a escala de laboratorio se recolectó los materiales a emplear y se midieron utilizando una balanza en caso de los sólidos y una probeta en caso de los líquidos.
- Todos los ingredientes fueron mezclados en un recipiente estéril e incorporados uno de los biodigestores artesanales.
- Luego se añadió la fuente de microorganismos ácido lácticos (leche y suero de leche) en cada uno de los biodigestores conforme lo indica en la tabla 11-3.
- Se verificó el sellado hermético de los biodigestores, así como la temperatura en el interior del espacio térmico elaborado, en una hilera termo de espuma Flex se colocó 3 biodigestores y en el otro 4. En cada caja se colocó un foco con encendido intermitente para incrementar la temperatura.



**Ilustración 6-3:** Inicio del proceso de anaerobio

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 3.5.4.5. *Control de los parámetros*

Tres veces por semana se abrieron los aislantes térmicos para tomar los datos de temperatura y pH, para ello se homogenizó la mezcla de los biodigestores cuidadosamente utilizando una barrilla de agitación. El control de la temperatura del biol se realizó empleando un termómetro químico, el valor se tomó de forma directa colocando el termómetro en la mezcla de cada uno de los biodigestores artesanales. El pH fue medido utilizando papel tornasol, el cual fue sumergido

en un vaso de precipitación que contenía la muestra a analizar, la misma que fue tomada utilizando una pipeta y una pera, el color obtenido al colocar las tiras de pH fue comparado con la tabla de colores y valores que viene incluida en la caja. Las características organolépticas del biol obtenido tales como: olor, color y aspectos fueron determinadas usando los sentidos del olfato y vista respectivamente.

#### *3.5.4.6. Separación del biosol del biol*

Luego del proceso de digestión anaerobia el cual tardó 43 días, se corroboró que no burbujee el agua colocado en la botella de 500 mL, luego se filtró el lodo resultante del proceso utilizando una tela, ambos fueron colocados en recipientes diferentes y almacenados en sitios oscuros para su análisis y posterior utilización dependiendo de los resultados obtenidos.



**Ilustración 7-3:** Separación del biol del biosol

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### *3.5.4.7. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biol*

Para los análisis realizados al inicio del proceso se tomó una muestra de 200 mL del blanco o testigo, el cual fue trasladado al laboratorio de calidad de agua y suelos de la facultad de ciencias de las ESPOCH, los parámetros que se determinaron fueron:

##### *Materia orgánica*

- Para determinar este parámetro, 5 mL de la muestra blanco del biol fue diluida en 95 mL de agua destilada.
- Para disminuir el color, de la dilución anterior se tomó 5 mL y se colocó en un Erlenmeyer para ser mezclado nuevamente con 5 mL de agua destilada.
- Se añadió a la mezcla anterior 10 mL de  $K_2Cr_2O_7$  y 20 mL de  $H_2SO_4$ .
- Posterior se llevó a digerir por 30 minutos, para luego colocar 200 mL de agua destilada, 0,1 mL de fluoruro de sodio y 10 mL de ácido fosfórico.
- Este proceso se realizó tanto para la muestra como para el blanco.
- Se tituló con FAS tanto la muestra como el blanco.

#### *Nitrógeno*

- Se pesó 10 gramos de biol y se diluyó en 100 mL de agua destilada.
- De la dilución anterior se tomó 10 mL y se aforó a 100 mL.
- Se filtró la solución a un Erlenmeyer usando un embudo y un papel filtro para realizar la prueba colorimétrica.
- Se tomó 0,5 mL de muestra para la aplicación del método nitrógeno total HR (2-150 mg/L).

#### *Fósforo*

- En un tubo se colocó 10 mL de la muestra diluida y se coloca el reactivo para fósforo.
- Se dejó reposar por 2 minutos para que el color empiece a reflejarse.
- Se llevó al espectrofotómetro para su lectura.

#### *Calcio y Magnesio*

- El calcio se determinó usando 25 mL de muestra diluida, se adicionó 1 mL de NaOH, 1 mL de KCN al 1% y una pizca de murexida.
- Se llevó a valoración con EDTA al 0,02 M.
- Para el magnesio se tomó 25 mL de muestra diluida, se colocó en un Erlenmeyer, posterior se adicionó 1,5 mL de solución Buffer de pH 10 y 1 mL de cianuro de potasio además de una pizca de negro de eriocromo
- Finalmente se tituló con EDTA al 0,02 M y se determinó el valor del magnesio.

$$Ca/Mg = \frac{Vf \times M \times Pm}{Vt}$$

Donde:

Vf: Volumen empleado en la titulación

M: Molaridad del EDTA

Pm: Peso molecular del elemento

Vt: Volumen total de la muestra

Finalizado el proceso de obtención de abono orgánico se tomó una muestra de 200 mL de cada tratamiento y se envió al laboratorio SAQMIC de la ciudad de Riobamba, los resultados obtenidos permitieron identificar las diferencias que presentaron un biol con otro. Los parámetros analizados se describen en la tabla 12-3.

**Tabla 12-3:** Métodos para análisis físico químicos del biol

| Parámetros       | Unidades | Método                            |
|------------------|----------|-----------------------------------|
| Materia Orgánica | g/L      | Walkley Black Oxi-Red             |
| Nitrógeno total  | mg/L     | Digestión Ácido/base colorimetría |
| Fósforo total    | mg/L     | Digestión Ácido/base colorimetría |
| DBO5             | mg/L     | Digestión Ácido/base colorimetría |
| DQO              | mg/L     | Gasométrico                       |
| Calcio           | mg/L     | Volumetría                        |
| Magnesio         | mg/L     | Volumetría                        |
| Hierro           | mg/L     | Colorimetría                      |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 13-3:** Métodos microbiológicos y biológicos usados en el laboratorio de calidad de agua y suelos

| Parámetro          | Técnica         | Unidad     |
|--------------------|-----------------|------------|
| Coliformes totales | Siembra en masa | UFC/100 mL |
| Coliformes fecales | Siembra en masa | UFC/100 mL |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 3.6. Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el presente proyecto es un diseño completamente al azar, el cual es resuelto con un ANOVA de un factor, determinado el grado de significancia de los parámetros analizados. El método de Dunnet permite comparar los tratamientos con un tratamiento control y establecer la influencia de los tratamientos empleados en el resultado final del biol, además, se realizará un análisis descriptivo del método Takakura para evaluar la calidad del compost obtenido.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los materiales de partida

**Tabla 1-4:** Análisis fisicoquímico del lodo residual

| Parámetros                     | Unidades       | Resultado             |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|
| pH                             | Unidades de pH | 7,06                  |
| Humedad                        | %              | 94,18                 |
| Materia Orgánica (BS)          | %              | 43,55                 |
| Carbono Orgánico Total (BS)    | %              | 25,30                 |
| Nitrógeno Total (BS)           | %              | 1,55                  |
| Fósforo Total (BS)             | %              | 1,08                  |
| Plomo                          | m/Kg           | 93,6                  |
| Cadmio                         | m/Kg           | 15,05                 |
| Tensoactivos                   | m/Kg           | 16,39                 |
| Aceites y Grasas               | m/Kg           | 494,5                 |
| <b>Análisis microbiológico</b> |                |                       |
| Coliformes totales             | UFC/g          | 1,0 x 10 <sup>5</sup> |
| <i>Escherichia Coli</i>        | UFC/g          | 5,0 x 10 <sup>3</sup> |
| <i>Pseudomonas</i>             | UFC/g          | 3,0 x 10 <sup>5</sup> |
| <i>Staphylococcus aureus</i>   | UFC/g          | 1,0 x 10 <sup>4</sup> |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 1-4 contiene los resultados obtenidos de la caracterización de los lodos residuales provenientes de la PTAR de PEISOL S.A, los valores determinados en cuanto a metales pesados permiten clasificarlo como un lodo no peligroso ya que las cantidades de cadmio y plomo no sobrepasan los límites permisibles establecidos por la EPA. El carbono orgánico y el nitrógeno son parámetros importantes para establecer la relación C:N el cual de acuerdo con (Román, 2013) no debe ser mayor a 35 puesto que se presentaría problema para el desarrollo del compostaje. Los valores obtenidos en la tabla 1-4 concuerdan además con estudios realizados por (Torres et al., 2005); (Vico, 2015) en donde emplearon lodos de depuradoras para generar abono orgánico logrando resultados favorables.

**Tabla 2-4:** Análisis fisicoquímico y microbiológico del excedente de agua en el lodo

| <b>Análisis fisicoquímico-Agua residual</b> |                 |                         |
|---|-----------------|-------------------------|
| <b>Parámetros</b>                           | <b>Unidades</b> | <b>Resultado</b>        |
| pH  | Unidades de pH  | 8,17                    |
| Conductividad                               | μSiems/cm       | 2319                    |
| Turbiedad                                   | NTU             | 89,2                    |
| Demanda Química de oxígeno                  | mg/L            | 540,0                   |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno               | mg/L            | 204,0                   |
| Fósforo- Fosfatos                           | mg/L            | 43,75                   |
| Nitrógeno orgánico total                    | mg/L            | 280,0                   |
| Plomo                                       | mg/L            | 0,44                    |
| Zinc  | mg/L            | 1,8                     |
| Detergentes. Surfactantes aniónicos         | mg/L            | 1,66                    |
| Aceites y Grasas                            | mg/L            | 112,0                   |
| Materia orgánica; volátil                   | mg/L            | 840,0                   |
| Sólidos disueltos                           | mg/L            | 1409                    |
| Sólidos suspendidos                         | mg/L            | 134,0                   |
| Sólidos sedimentables                       | mg/L            | 0,7                     |
| Sólidos totales                             | mg/L            | 1072                    |
| <b>Análisis microbiológico</b>              |                 |                         |
| Coliformes totales                          | UFC/100 mL      | 2,6 x 10 <sup>7</sup>   |
| Coliformes Fecales                          | UFC/100 mL      | 3,6 x 10 <sup>6</sup>   |
| Estafilococos                               | UFC/100 mL      | 1,0 x 10 <sup>8</sup>   |
| Hongos y Levaduras                          | UFC/100 mL      | < 1,0 x 10 <sup>3</sup> |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Resultado de la separación del lodo del líquido se obtuvo agua residual el cual fue caracterizado, en la tabla 2-4 se aprecia los resultados obtenidos y dadas sus características, el líquido supera los límites permisibles establecidos en el anexo 097-A del TULSMA (tabla 8, 9 y 10). La investigación realizada por (Pinto y Quipuzco, 2014) demuestran que es posible obtener abono líquido utilizando agua residual, además la caracterización del agua del estudio mencionado es bastante similar al líquido analizado en la tabla 2-4.



## **4.2. Monitoreo de parámetros en el proceso Takakura**

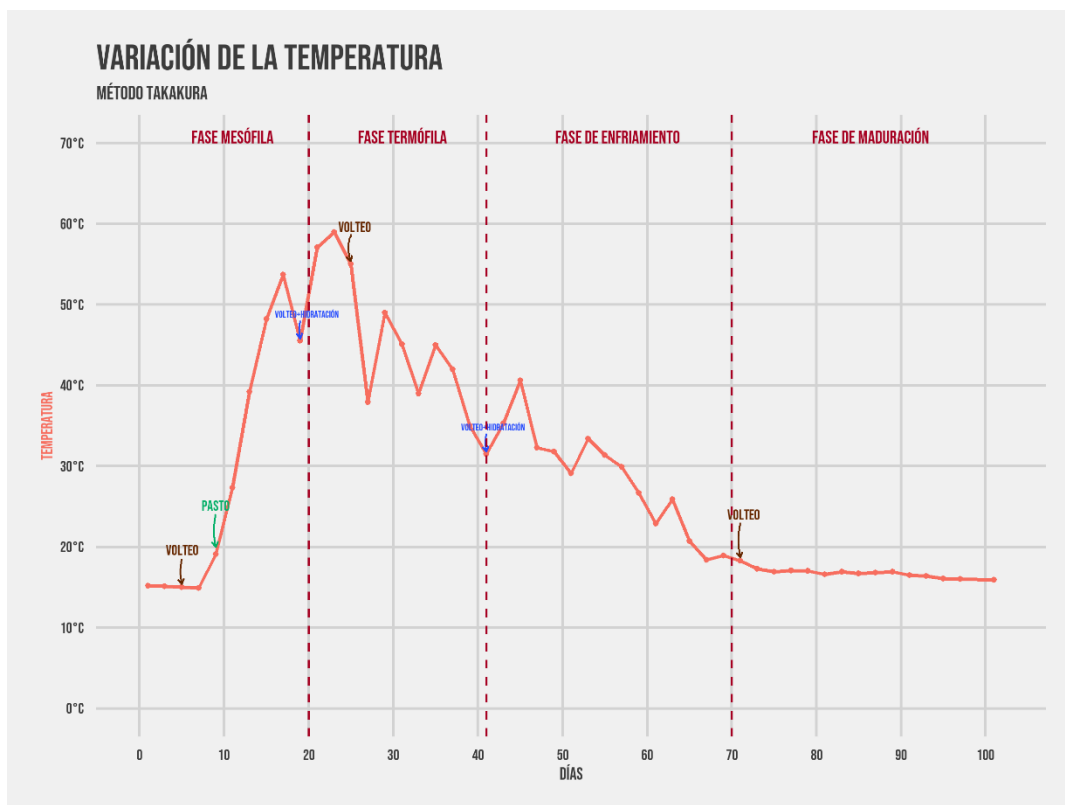
### **4.2.1. Evolución de la temperatura**

En la Ilustración 1-4 se aprecia que al inicio del proceso de compostaje, la compostera tardó en calentarse indicando un descenso en la actividad microbiana, ocurrido probablemente por la falta de elementos nutritivos ya que al quinto día se realizó un volteo considerando que podría ser por falta de aireación, sin embargo, la temperatura no incrementaba, por ende, se procedió a colocar material rico en nitrógeno pasado de una temperatura de 14,9°C a 19,1°C , además se volvió a cortar los residuos hasta alcanzar el tamaño de 1 cm para ayudar a los microorganismos a la degradación de la materia orgánica.

Una vez añadida una capa de pasto fresco a la compostera, la temperatura empezó a incrementar y a partir del día 21 inició la fase termófila, logrando un valor máximo de 59°C, gracias a la temperatura desarrollada en el interior del invernadero, esta fase tuvo una duración de 20 días, puesto que hubo periodos en los que la compostera sobrepasó los 45°C, condiciones en cuanto a temperatura, que establece (Román, 2013) para que se efectúe la etapa termófila. Durante esta fase se logra la eliminación de microorganismos patógenos descritos en la tabla 14-2 y que varios de ellos se encuentran el lodo residual utilizado como material de partida.

A partir del día 41 da inicio la etapa de enfriamiento, se observa que la temperatura empieza a descender generando la recolonización de microorganismos mesófilos que terminan de degradar la materia orgánica, el proceso dura varias semanas hasta que la temperatura empieza a ser cercana a la de del ambiente, dando lugar a la fase de maduración en donde se desarrolla la polimerización del humus.

Luego de ejecutarse cada volteo e hidratación a la cama de compost se aprecia un incremento en la temperatura puesto que se mejora la oxigenación y homogenización de la mezcla (Cabrera, 2018). Los resultados obtenidos en este parámetro son bastante parecidos a la de (Navarrón, 2016) en donde emplea lodos residuales para la obtención de abono orgánico mediante el compostaje.

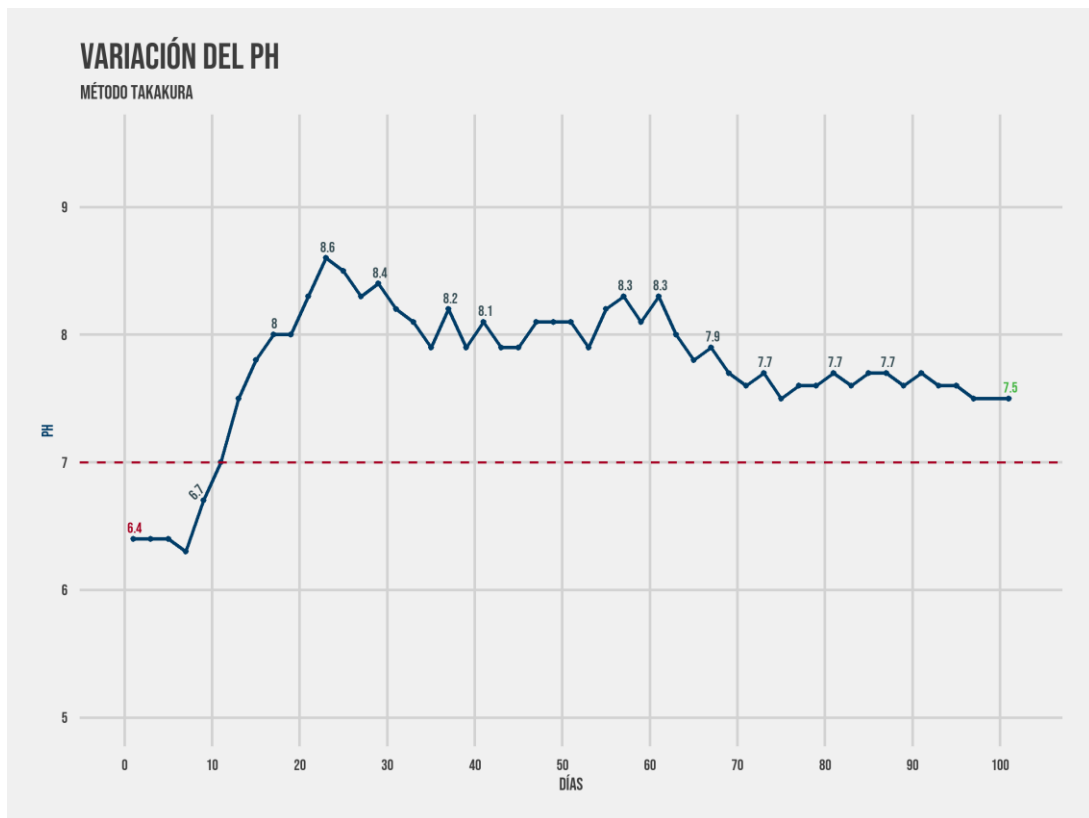


**Ilustración 1-4:** Evolución de la temperatura-método Takakura

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 4.2.2. Evolución del pH

Durante la fase mesófila se observa una leve disminución en el pH, generado por la actividad de los microorganismos como *Actinomycetes* que actúan sobre la materia más lábil oxidando los compuestos ricos en carbono y nitrógeno a ácidos orgánicos (Torres, 2021). El pH una vez incrementada la temperatura del compostaje comenzó a aumentar, esto debido a la degradación de los elementos ácidos en presencia de humedad que genera hidróxidos básicos, (Arango-Osorio et al., 2016) menciona también que la presencia de elementos ricos en nitrógeno al inicio del proceso ocasiona incrementos de pH debido al metabolismo de los microorganismos que lo transforman en amoníaco y luego en amonio e hidroxilo, el pH empieza a descender hasta llegar a un valor neutro cuando todo el amoníaco ha sido liberado. El resultado obtenido (7,5) se encuentra en el rango establecido en el manual del agricultor, la cual establece que el valor del potencia de hidrógeno una vez finalizado el proceso debe encontrarse en una escala de 6,5 a 8,5 (Román, 2013), este resultado permite un desarrollo y asimilación adecuada por parte de las plantas una vez el abono sea aplicado. Los resultado obtenidos en la evolución del pH son semejantes a los establecidos por (Mejía y Ramos, 2019) en donde emplearon residuos orgánicos para obtener abono mediante el método Takakura.



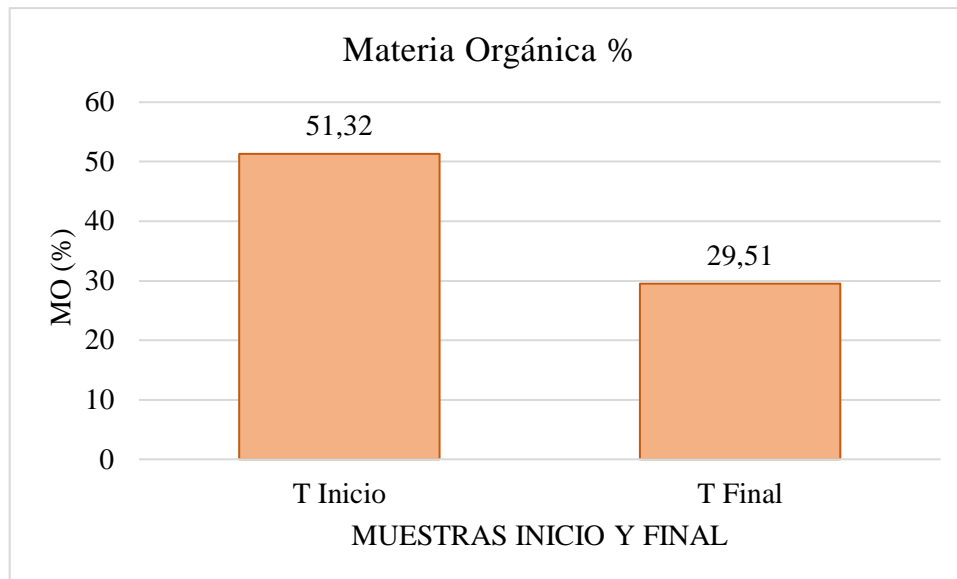
**Ilustración 2-4:** Evolución del pH-método Takakura

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 4.2.3. *Humedad*

El proceso de compostaje inició con un porcentaje de humedad del 53%, el cual es un valor que se encuentra en el rango de 45 a 60 % establecido por (Román, 2013) para que el compostaje se ejecute de forma óptima. Este parámetro tuvo un comportamiento diferente conforme se desarrollaron las etapas del compostaje, cuando las temperaturas fueron elevadas la evaporación del agua retenida se desarrolló de forma rápida, siendo requerido la adición de agua a la mezcla para que el proceso no se vea detenido.

#### 4.2.4. *Materia Orgánica*



**Ilustración 3-4:** Materia orgánica al inicio y al final del proceso Takakura

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

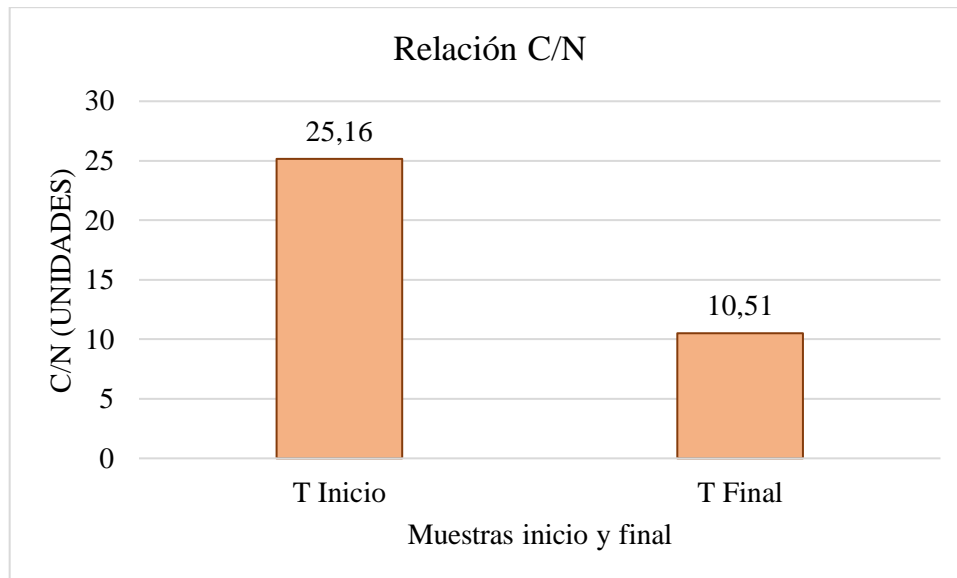
En la ilustración 3-4 se aprecia la disminución del porcentaje de la materia orgánica, esto se debe a la mineralización de los materiales a lo largo del compostaje y por la actividad de los microorganismos que se encargan de transformar el carbono principalmente en  $\text{CO}_2$ , el valor final obtenido también se debe al elevado contenido de materia orgánica que poseen los materiales que son ricos en celulosa y fibra (Jiménez, Silvo, 2015). El porcentaje de materia orgánica al finalizar el proceso fue de 29,51% el cual está dentro del rango ( $>20\%$ ) establecido por (Román, 2013) para un compost maduro. La disminución de este parámetro también se ve evidenciado en trabajos similares tales como Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT-EP del cantón Pelileo provincia de Tungurahua (Montaguano, 2019) y Manejo de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales, aplicando un bioactivador natural para elaborar compost, en el cantón Cascales, provincia de Sucumbíos (Velasco, 2016), en donde se encontraron valores de 26,24% y de 28,32% respectivamente.

#### 4.2.5. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica partió con un valor alto de 2,1 dS/m esto debido a que, en el método Takakura se emplean dos soluciones y una de ellas es salada la cual aporta microorganismos que ayudan al proceso de compostaje, al finalizar la CE adquirió un valor de 3,3 dS/m ya que este parámetro tiende a aumentar conforme se va degradando la materia orgánica, hecho que también genera un incremento de nutrientes. El valor de conductividad eléctrica se encuentra dentro de los rangos establecidos para ser un compost de tipo A de acuerdo con la norma chilena ( $\leq 5$ ), por

ende puede ser aplicado al suelo porque no contiene exceso de sales que dificulten la absorción de agua por parte de las plantas (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005).

#### 4.2.6. *Relación C/N*



**Ilustración 4-4:** Relación C/N al inicio y al final del proceso Takakura

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

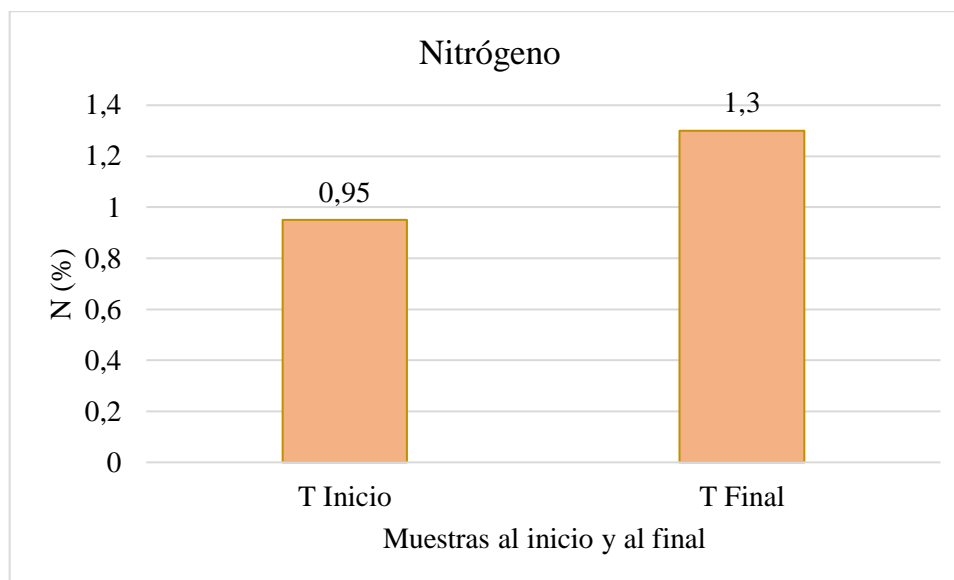
La relación C/N es un parámetro importante que influye en la velocidad del proceso de compostaje, (Román, 2013) establece que el valor inicial óptimo debe encontrarse entre 25:1 y 35:1 ya que si esta relación es mayor la actividad microbológica disminuye y los microorganismos empiezan a degradar el exceso de carbono, desarrollando un proceso lento por la carencia de nitrógeno en la mezcla el cual ayuda a la síntesis proteica de los microorganismos (Bueno, Díaz y Cabrera, 2005). Al finalizar el proceso el valor de C/N disminuyó a 10,51 el cual está dentro del rango establecido por la FAO para ser considerado un compost maduro, demostrando que el proceso se desarrolló de forma adecuada.

#### 4.2.7. *Fósforo*

El fósforo juega un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, por ello son importantes para el metabolismo microbiano, este parámetro aumenta durante el proceso de compostaje debido a un efecto concentración, el cual es consecuencia de la degradación de la materia orgánica (Montes, 2015). Los valores de fósforo pasaron de un porcentaje de 1,2 al inicio del proceso a 1,5 % al final del compostaje, esta concentración se encuentra dentro de rango establecido por (Bonilla y Urbina, 2020) quienes en base a varias fuentes bibliográficas

establecen que el rango óptimo para P es entre 0,15-1,5. Este elemento en cantidades adecuadas ayuda a enriquecer el suelo y por ende mejorar los cultivos (Jiménez, Silvo, 2015).

#### 4.2.8. *Nitrógeno y potasio*



**Ilustración 5-4:** Evolución del nitrógeno al inicio y al final del proceso Takakura

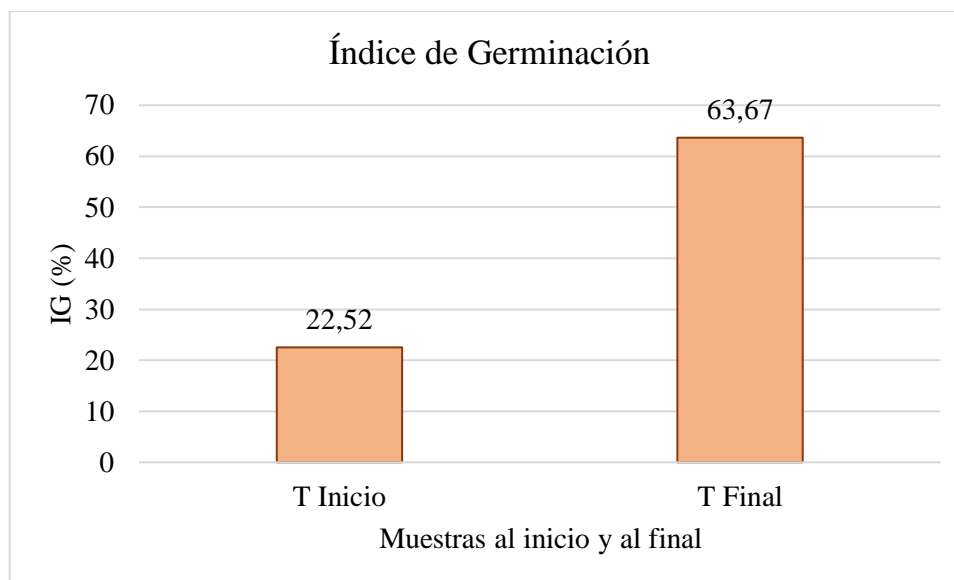
**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

El nitrógeno es esencial para la vida vegetal, el contenido de este nutriente en un residuo fresco o compostado condiciona la capacidad fertilizante del producto, conforme ocurre el proceso de degradación de la materia orgánica su fracción orgánica se va transformando paulatinamente a formas inorgánicas, estas especies se pueden perder en el proceso debido a la lixiviación o por volatilización a la atmósfera (liberación de amoníaco), si bien hay procesos que hacen que el nitrógeno disminuya, la pérdida de materia orgánica hace que se genere la reducción de la masa a compostar produciendo que las especies nitrogenadas experimenten un efecto concentración, lo que significa que al finalizar el proceso pese a que se pierda nitrógeno, este se encontrará más concentrado como es el caso de esta investigación en la cual al finalizar el proceso este elemento se encontró en una concentración de 1,3% tal como lo indica la ilustración 5-4, debido a la reducción de la masa de la compostera y también por la posible fijación biológica de nitrógeno (Paredes et al., 2002).

De acuerdo con la (FAO, 2015), el potasio es importante para el desarrollo vegetal y la adaptación de la planta a suelos con alta salinidad, en esta investigación se obtuvo un valor de 0,88% el cual se encuentra cercano al valor establecido por (Gutierrez, 2010), quien menciona que este parámetro debe encontrarse en un rango de 1 a 1,5%. El resultado obtenido es bastante parecido al determinado por (Niquinga, 2019), quien en su tesis titulada: compostaje de residuos sólidos

orgánicos del mercado Mayoristas de Riobamba a escala semi-industrial, reportó un valor de 0,92 % para potasio.

#### 4.2.9. Índice de Germinación



**Ilustración 6-4:** Índice de germinación en el proceso Takakura

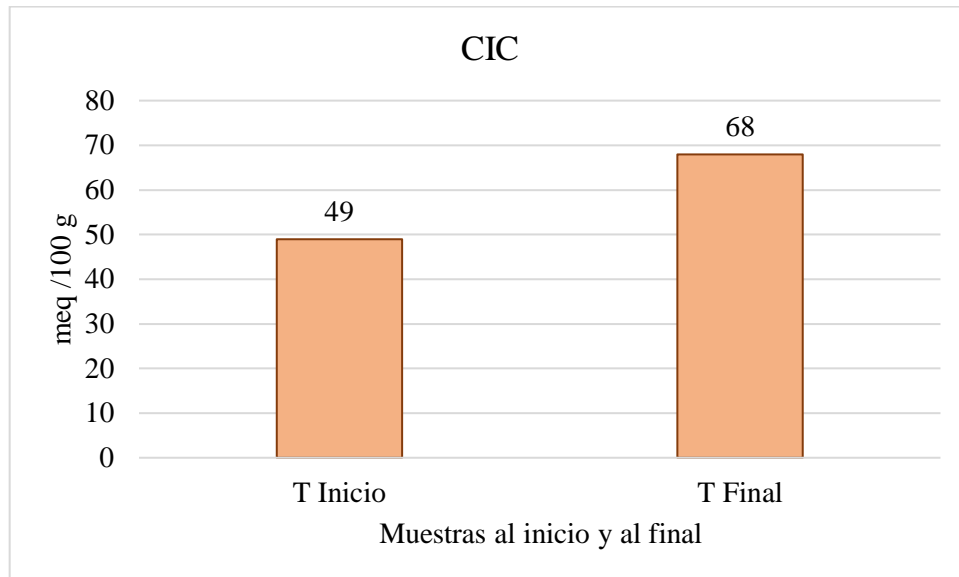
**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

En la ilustración 6-4 se aprecia que el índice de germinación incrementó al finalizar el proceso, al inicio su valor es bajo, esto debido probablemente a la salinidad y a la concentración de polifenoles presentes en los residuos vegetales solubles de la mezcla inicial, un alto contenido de estos compuestos genera inhibición en las semillas, razón por la cual no es conveniente depositar los residuos orgánicos de forma directa en el suelo, una vez completado el compostaje el IG fue superior a 50% valor que representa la ausencia de fitotoxinas, este porcentaje también es indicativo de la madurez que presenta el producto obtenido y que por ende puede ser aplicado al suelo (Vicente, Carrasco y Negro, 1996). El resultado de este parámetro es bastante similar al de (Montaguano, 2019), quien en su estudio utilizó lodos de lavadoras de jeans para generar compost, obtuvo un valor de 64% para el índice de germinación.

#### 4.2.10. Capacidad de Intercambio Catiónico

La CIC es considerado un parámetro que se encuentra relacionado a los proceso de humificación, por ende es usado como un indicador de la madurez del compost, debido a que este factor muestra la evolución de la humificación gracias a la formación de grupos carboxílicos o hidroxifenólicos (Jara, 2016). El valor de CIC incrementó al finalizar el proceso (68 meq/100) esto debido a la

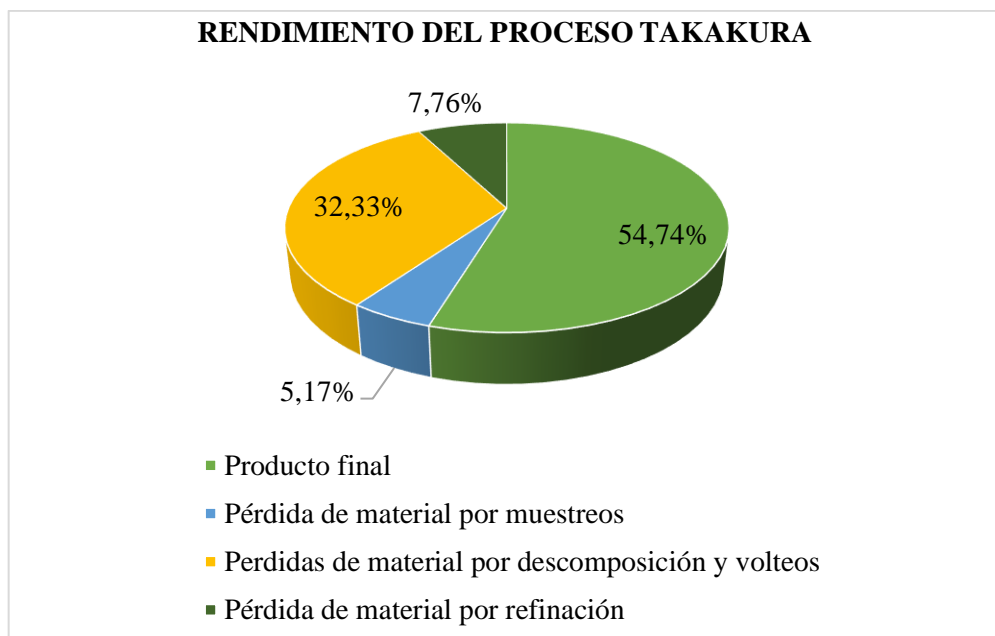
mineralización de la materia orgánica, (Iglesias y Pérez, 1992) establece que un compost maduro posee una capacidad de intercambio catiónico  $\geq 67$ , el valor obtenido superó este rango siendo un buen indicativo para el compost obtenido.



**Ilustración 7-4:** Capacidad de intercambio catiónico en el proceso Takakura

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 4.2.11. Rendimiento del compost Takakura



**Ilustración 8-4:** Rendimiento del proceso Takakura

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.



El compostaje inició con un peso de 23, 2 kg representando el 100%, al finalizar el proceso Takakura su rendimiento fue de 54,74% (12,7 Kg), la pérdida de material por la toma de muestras para los respectivos análisis representó el 5,17%, la transformación de la materia orgánica y los volteos realizados durante el proceso representaron una pérdida del 32,33% , finalmente la separación de las partículas (>1cm) para lograr el refinado del abono orgánico generó una disminución del 7,76% del total de compost obtenido, los materiales separados pueden ser incluidos en un nuevo proceso de degradación de la materia orgánica.

#### 4.2.12. Caracterización del compost obtenido y comparación con las normativas

Para determinar la calidad del abono orgánico obtenido, los resultados obtenidos de su caracterización fue comparada con normativas internacionales y con criterios ecológicos para mejorar el recurso suelo (Jara, 2016).

**Tabla 3-4:** Análisis fisicoquímico y microbiológico del compost

| Parámetro               | Unidades  | Valor   | EPA       | Comisión Europea | Chilena   | Criterios ecológicos |
|-------------------------|-----------|---------|-----------|------------------|-----------|----------------------|
| Conductividad eléctrica | dS/m      | 3,5     | $\geq 2$  |                  | $\leq 5$  | -                    |
| Materia Orgánica        | %         | 29,51   | $\geq 25$ | $\geq 15$        | $\geq 25$ | >20                  |
| Relación C: N           | %         | 10,51   | 10-25     | -                | 10-25     | -                    |
| Carbono                 | %         | 13,67   |           | -                | -         | -                    |
| Nitrógeno               | %         | 1,3     | $\geq 1$  | -                | -         | <30                  |
| Calcio                  | %         | 0,9     |           | -                | -         | -                    |
| Magnesio                | %         | 0,75    | -         | -                | -         | -                    |
| Fósforo                 | %         | 1,5     | -         | -                | -         | -                    |
| Potasio                 | %         | 0,88    | -         | -                | -         | -                    |
| Arsénico                | mg/Kg     | 0,00002 | 41        | -                | 15        | 10                   |
| Cromo                   | mg/Kg     | 0,00001 | 1200      | 100              | 120       | 100                  |
| Plomo                   | mg/Kg     | 95,4    | 300       | 120              | 100       | 100                  |
| Cadmio                  | mg/Kg     | 17,3    | 39        | 1,5              | 2         | 1                    |
| Cobre                   | mg/Kg     | 0,00317 | -         | 200              | 100       | 100                  |
| Hierro                  | mg/Kg     | 0,024   | -         | -                | -         | -                    |
| CIC                     | mEq/100 g | 68      | -         | -                | -         | -                    |

|                       |                   |                      |   |   |                      |   |
|-----------------------|-------------------|----------------------|---|---|----------------------|---|
| Densidad aparente     | g/cm <sup>3</sup> | 0,401                | - | - | -                    | - |
| Índice de germinación | %                 | 63,67                | - | - |                      | - |
| Coliformes fecales    | UFC/g             | 100                  | - | - | < 1 x10 <sup>3</sup> | - |
| Coliformes totales    | UFC/g             | 3,3 x10 <sup>4</sup> | - | - |                      | - |

**Fuente:** Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 3-4 muestra los resultados obtenidos al caracterizar el compost, casi todos los parámetros concuerdan con las diferentes normativas para ser clasificado como un compost de tipo A de acuerdo a la normativa chilena, es un compost maduro en lo que refiere la EPA y las normas Europeas, sin embargo el cadmio presenta valores mayores a 1 y 2 por ende no cumple con la mayoría de normas comparadas a excepción de la EPA que considera que el valor máximo de este metal es 39, para el resto de metales, estos poseen una concentración menor a la de los límites permisibles.

### 4.3. Rendimiento del biol

Una vez finalizado el proceso de digestión anaerobia se registró el volumen final obtenido (sin considerar la cantidad de biosol) el cual fue dividido para el valor inicial y multiplicado por 100 para conocer el rendimiento del proceso, este proceso fue empleado en cada uno de los tratamientos realizados, dando los resultados expuestos en la tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Análisis organoléptico de los viroles obtenidos

| Tratamiento         | Volumen Inicial (mL) | Volumen Final (mL) | Rendimiento (%) |
|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| Blanco              | 5 000                | 3 000              | 60              |
| T1 (Leche pura)     | 5 000                | 3 250              | 65              |
| T2 (Suero de leche) | 5 000                | 3 440              | 68,8            |
| T3 (Mezcla 50/50)   | 5 000                | 3 210              | 64,2            |

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

### 4.4. Análisis del proceso de digestión anaerobia

#### 4.4.1. Análisis organoléptico

**Tabla 5-4:** Análisis organoléptico de los violes obtenidos

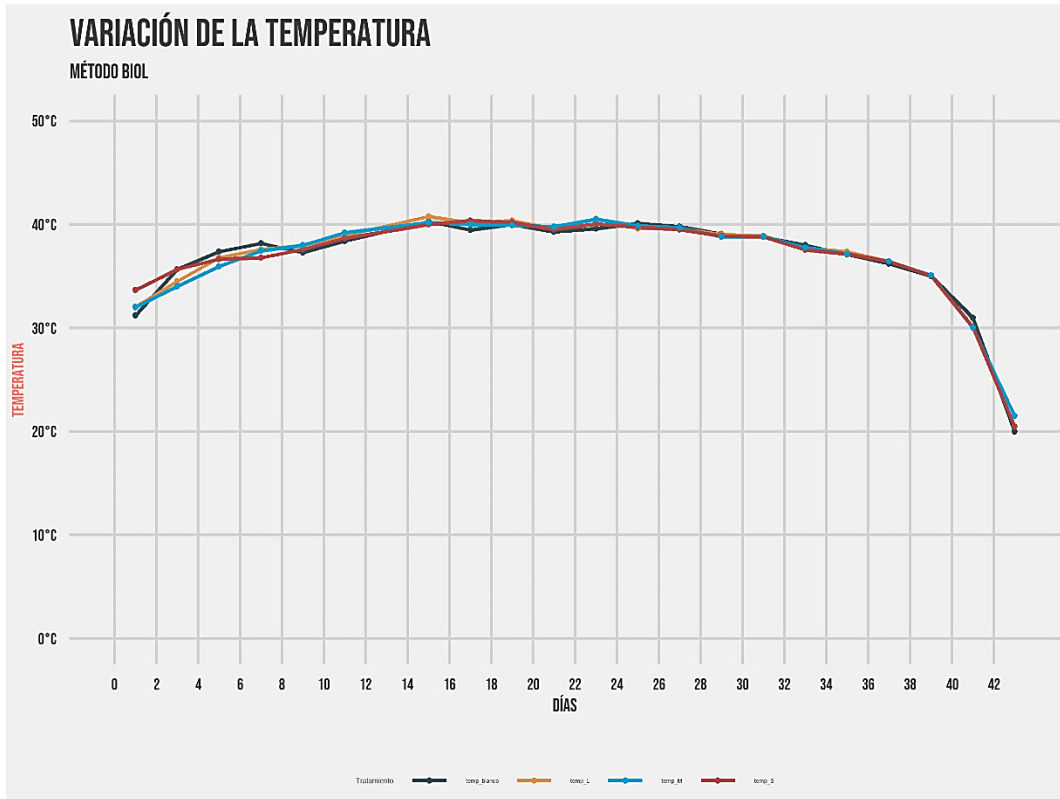
| <b>Tratamiento</b>  | <b>Color</b> | <b>Olor</b>    | <b>Aspecto</b> |
|---------------------|--------------|----------------|----------------|
| Blanco              | Café oscuro  | Putrefacción   | Grumoso        |
| T1 (Leche pura)     | Verde oscuro | Putrefacción   | Grumoso        |
| T2 (Suero de leche) | Café claro   | Fermento dulce | Lodoso         |
| T3 (Mezcla 50/50)   | Verde oscuro | Putrefacción   | Grumoso        |

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Mediante los sentidos de la vista y el olfato, los diferentes bioles obtenidos fueron examinados, de todos los tratamientos realizados solo el T2 cumple con las características descritas por (Arroyo, 2015), quien menciona que el olor debe ser agradable y no a putrefacción, un buen producto presenta coloraciones entre verde, ámbar y traslúcido, café y vino tinto sin partículas en suspensión (Instituto Técnico Agropecuario, 2015). Transcurridos los 43 días de fermentación, el resto de tratamientos emanaban un olor a putrefacción, pese a que el burbujeo había finalizado, este aroma pudo deberse a que la digestión anaerobia no ha eliminado en su totalidad a aminas y amonios que son los que producen este olor (Cruz, 2018), el aroma desagradable en el agua residual empleado para este estudio pudo haber influido también en este resultado.

#### 4.4.2. Control del proceso

##### 4.4.2.1. Temperatura interna de los biodigestores



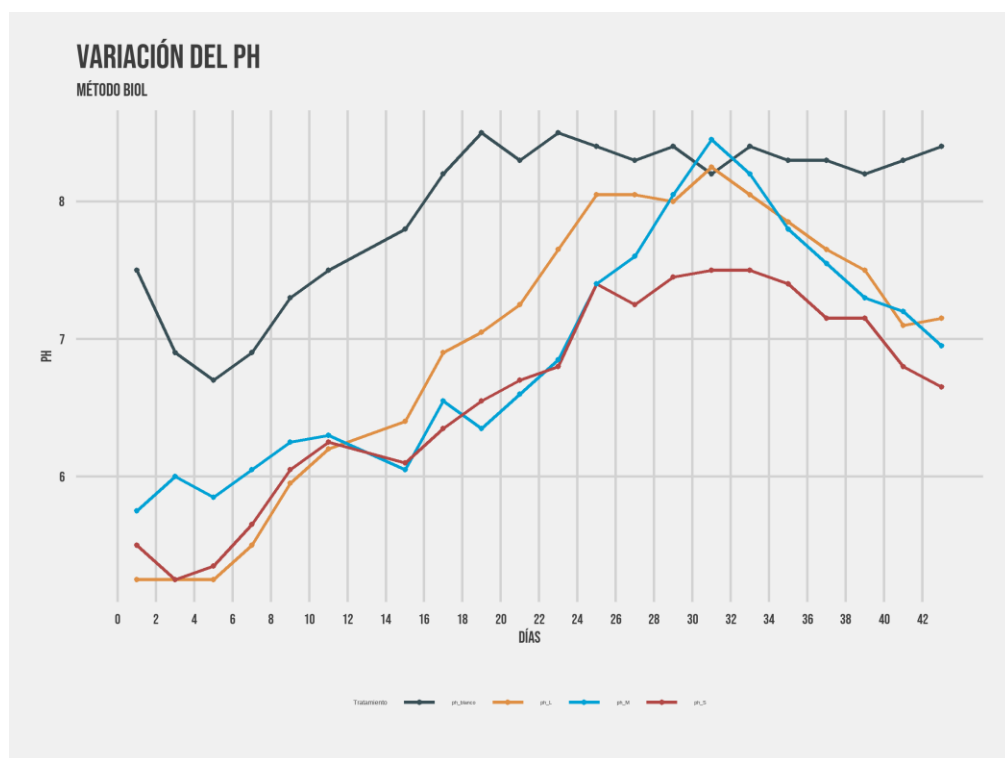
**Ilustración 9-4:** Evolución de la temperatura en la digestión anaerobia

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

En la Ilustración 9-4 se observa el perfil térmico de los bioles, todos los tratamientos inician con una temperatura de 15°C, una vez instalado el sistema de calefacción la temperatura incrementó en el primer día hasta llegar a valores entre los 31 y 33 °C, dando inicio a la fermentación mesófila, la cantidad promedio más alto alcanzado por los tratamientos durante todo el proceso fue de 40, 53 °C, temperatura que se encuentra dentro del rango ideal (20-55°C) para la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas (Espíndola, 2018). La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos los cuales dependen de la temperatura, conforme aumenta la temperatura los microorganismos aumentan y aceleran el proceso de digestión, generando mayor producción de biogás (FAO, 2011), este hecho se ve evidenciado una vez llegado el día 37 cuando el burbujeo en el agua contenido en la botella plástica para la salida del gas disminuyó, al igual que la temperatura hasta llegar a 21°C en el día 43 en donde el agua dejó de burbujear totalmente. Los resultados obtenidos se asemejan al de (Cruz,2018), en su estudio para obtener biol, empleó un sistema de calefacción lo cual permitió mantener a los biodigestores a temperaturas similares durante todas sus fases.

#### 4.4.2.2. pH en el interior de los biodigestores

El pH inició en el blanco con un valor neutro (7,5), el resto de tratamientos con un contenido ácido, esto debido a la acción de las bacterias ácido lácticas que fueron adicionadas a los tratamientos T1, T2 y T3 a través de la leche y suero de leche respectivamente, estas bacterias fermentan los carbohidratos hidrosolubles provenientes de la melaza, produciendo la acidificación de la mezcla (Media, Quipuzco y Juscamaíta, 2015), posterior a ello los valores empiezan a presentarse irregulares hasta finalizar el proceso en donde el potencial de hidrógeno se neutralizó en la mayoría de los tratamientos y solo fue alcalino en el tratamiento testigo, (Martí-Herrero, 2008) menciona que la actividad metalogénica puede desarrollarse en valores de 6,5 a 8 aunque su rango ideal es de 6,5 a 7,5, cuando el valor es menor a 5 o mayor a 8 inhibe el proceso de fermentación o puede llegar a detenerlo puesto que las bacterias metanogénicas las cuales son productoras de biogás se desarrollan en un pH neutro. El T2 es el único tratamiento que se desarrolló en un pH de entre 6,1 a 7, 6, mientras que los tratamientos T0,T1 y T3 se desarrollaron en un valor de potencial de hidrógeno de entre 7,1 a 8,5, los cuales son bastante semejantes al estudio desarrollados por (Cruz, 2018) en donde el proceso de obtención de biol se desarrolló de forma satisfactoria.



**Ilustración 10-4:** Variación del pH en la digestión anaerobia

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

#### 4.4.3. Caracterización del biol y análisis estadístico

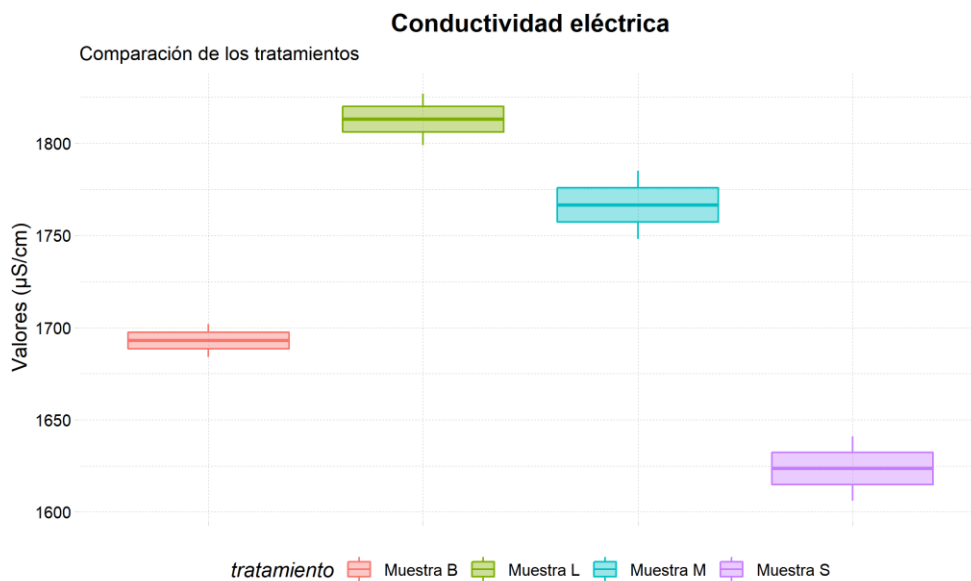
**Tabla 6-4:** Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los abonos líquidos obtenidos

| Parámetros              | Unidades   | Biol B            | Biol L             | Biol S             | Biol M               |
|-------------------------|------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Conductividad eléctrica | μS/cm      | 1702              | 1813               | 1624               | 1767                 |
| Materia Orgánica        | mg/L       | 780               | 3020               | 3705               | 2825                 |
| Nitrógeno Total         | mg/L       | 3900              | 3850               | 4100               | 3825                 |
| Fósforo total           | mg/L       | 310               | 225                | 525                | 375                  |
| DBO5                    | mg/L       | 18900             | 32750              | 29450              | 17900                |
| DQO                     | mg/L       | 28900             | 57550              | 57750              | 30350                |
| Calcio                  | mg/L       | 480               | 2928               | 3360               | 960                  |
| Magnesio                | mg/L       | 1778              | 4445,5             | 3556,5             | 2995,2               |
| Hierro                  | mg/L       | 13                | 17,5               | 32                 | 11                   |
| Coliformes totales      | UFC/100 ML | 7x10 <sup>3</sup> | <3x10 <sup>3</sup> | <1x10 <sup>3</sup> | 1,65x10 <sup>3</sup> |
| Coliformes fecales      | UFC/100 ML | Ausencia          | Ausencia           | Ausencia           | Ausencia             |

Fuente: Laboratorio de la calidad de agua y suelos de la Facultad de Ciencias, 2022.

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

##### 4.4.3.1. Conductividad eléctrica



**Ilustración 11-4:** Conductividad eléctrica de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La Ilustración 11-4 representa la conductividad eléctrica de los diferentes bioles obtenidos, al finalizar el proceso, la muestra L con tratamiento a base de leche contiene mayor cantidad de sales en comparación con los otros tratamientos (1813 μS/cm), los valores obtenidos en todos los tratamientos son menores a los reportados por (Jara, Gallegos y Cruz, 2021), quienes reportaron datos de 2910, 2740, 2770 y 2840 μS/cm para cada uno de sus tratamientos con consorcios bacterianos

como acelerantes, los cuales son considerados bajos y por ende pueden ser aplicados a la agricultura.

**Tabla 7-4:** ANOVA de la materia orgánica al final del biol

| <b>Conductividad Eléctrica</b> |            |             |                         |           |                |
|--------------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b>     | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>            | 41577      | 3           | 13859,0                 | 29,9492   | 0,003          |
| <b>Error</b>                   | 1851       | 4           | 462,8                   |           |                |
| <b>Total</b>                   | 43428      | 7           |                         |           |                |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 7-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA para la conductividad eléctrica, en donde se observa que el valor-p es menor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza al menos un promedio es diferente de los demás, es decir que el consorcio bacteriano influye estadísticamente en el parámetro de conductividad eléctrica del biol obtenido.

Considerando que en la prueba ANOVA se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de conductividad eléctrica se realizó la prueba de Dunnet para comparar los tratamientos aplicados Vs el tratamiento testigo.

**Tabla 8-4:** Prueba Dunnet para la conductividad eléctrica al final del biol

| <b>Biol</b>         | <b>Diferencia</b> | <b>Intervalo Inferior</b> | <b>Intervalo Superior</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Muestra L-Muestra B | 120               | 41,78996                  | 198,21                    | 0,011442       |
| Muestra M-Muestra B | 73,5              | -4,71004                  | 151,71                    | 0,059675       |
| Muestra S-Muestra B | -69,5             | -147,71                   | 8,710044                  | 0,070348       |

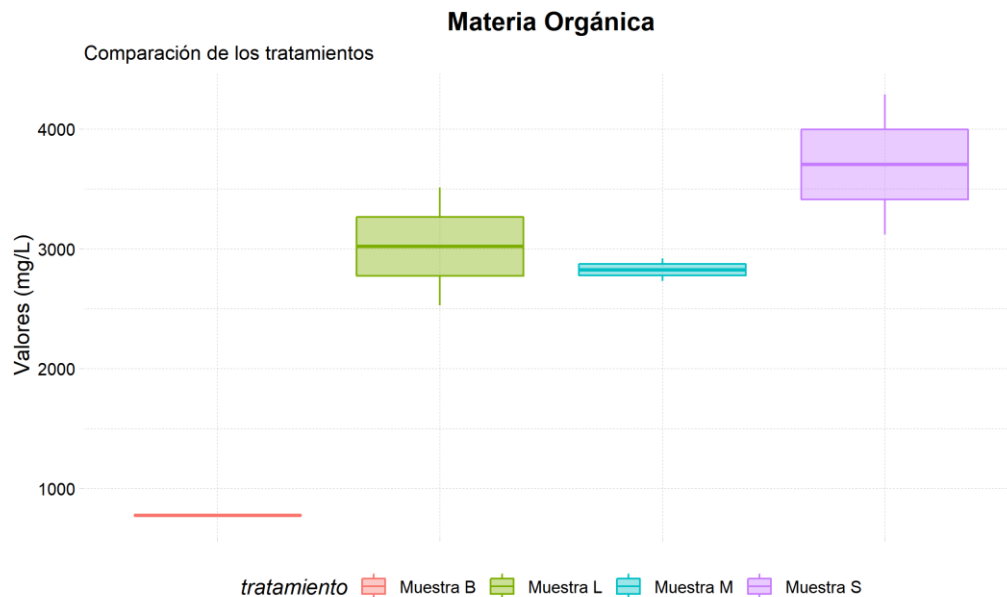
Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La relación de los tratamientos Vs el tratamiento testigo demuestra que todos los demás tratamientos en los que se empleó el consorcio bacteriano (leche y suero de leche) son diferentes estadísticamente de la muestra testigo evidenciando su influencia.

#### 4.4.3.2. *Materia Orgánica*

La Ilustración 12-4 muestra la variación significativa de la materia orgánica en cada uno de los tratamientos, el biol S en el cual se empleó suero de leche obtuvo valores más altos de materia

orgánica (3705 mg/L) en comparación con los otros tratamientos, mientras que el resultado más bajo fue de la muestra testigo. El bajo porcentaje de materia orgánica demuestra que los microorganismos metanogénicos han aprovechado los nutrientes para producir biol y biogás, además para el caso del abono líquido representa una ventaja ya que ayuda a la absorción de nutrientes (Chiriboga, Graciela y Julian, 2015). Los resultados obtenidos son similares a los registrados por (Jara, Gallegos y Cruz, 2021), en donde emplearon un consorcio bacteriano como acelerante para obtener biol.



**Ilustración 12-4:** Materia orgánica de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 9-4:** ANOVA de la materia orgánica al final del biol

| <b>Materia Orgánica</b>    |            |             |                         |           |                |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b> | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>        | 9540094    | 3           | 3180031                 | 10,76     | 0,02           |
| <b>Error</b>               | 1182718    | 4           | 295680                  |           |                |
| <b>Total</b>               | 1,1E+07    | 7           |                         |           |                |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 9-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA, en donde se observa que el valor-p es menor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza al menos un promedio es diferente de los demás, es decir que el consorcio bacteriano influye estadísticamente en la materia orgánica del biol obtenido.



Considerando que en la prueba ANOVA se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de materia orgánica se realizó la prueba de Dunnet para comparar los tratamientos aplicados Vs el tratamiento testigo.

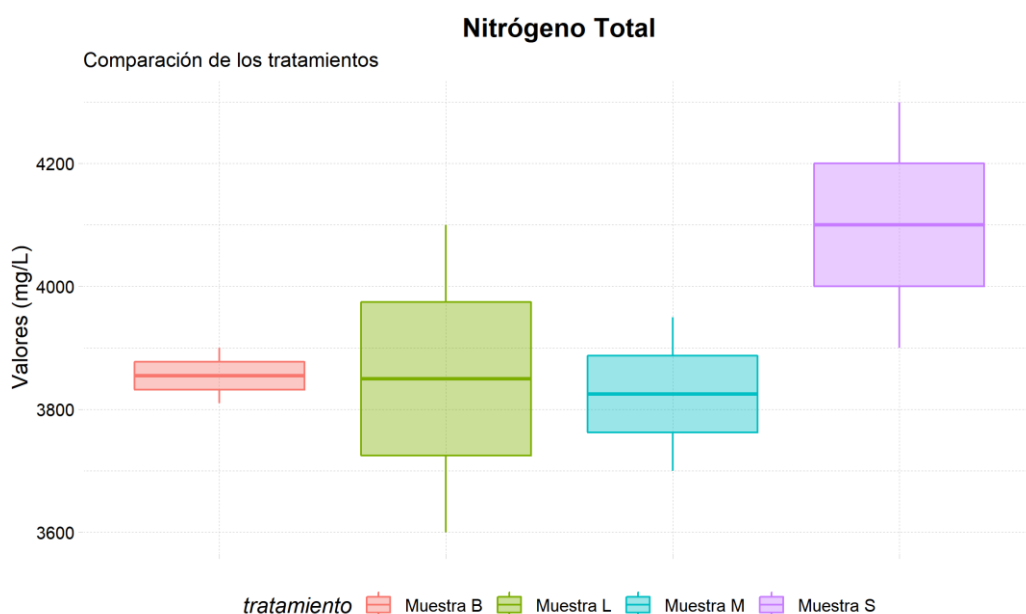
**Tabla 10-4:** Prueba Dunnet para la materia orgánica al final del biol

| <b>Biol</b>         | <b>Diferencia</b> | <b>Intervalo Inferior</b> | <b>Intervalo Superior</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Muestra L-Muestra B | 2243              | 266,0307                  | 4219,969                  | 0,032663       |
| Muestra M-Muestra B | 2048              | 71,03071                  | 4024,969                  | 0,044211       |
| Muestra S-Muestra B | 2928              | 951,0307                  | 4904,969                  | 0,013176       |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La relación de los tratamientos Vs el tratamiento testigo demuestra que todos los demás tratamientos en los que se empleó el consorcio bacteriano (leche y suero de leche) son diferentes estadísticamente de la muestra testigo evidenciando su influencia.

#### 4.4.3.3. Nitrógeno Total



**Ilustración 13-4:** Nitrógeno de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Los resultados de nitrógeno son bastante parecidos entre los tratamientos aplicados, puesto que casi todos contienen los mismos ingredientes para su elaboración, a excepción de la muestra control al cual no se le adicionó ningún consorcio bacteriano (leche y suero de leche). Para (Peralta, Juscamaita y Meza, 2016), los valores de nitrógeno mayores a 1000 mg/L son considerados elevados

y mencionan a que esto se debe a que el nitrógeno contenido en las excretas no ha podido ser perdido como amoniaco, debido a las concentraciones de pH bajas, sin embargo, el decreto Real 506/2013 sobre productos fertilizantes menciona que el contenido de nitrógeno debe ser mínimo del 2% y comparando con los resultados obtenidos en esta investigación cumple con la exigencia de la norma mencionada.

**Tabla 11-4:** ANOVA del nitrógeno total al final del biol

| <b>Nitrógeno Total</b>     |            |             |                         |           |                |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b> | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>        | 99850      | 3           | 33283,3                 | 0,5540    | 0,67           |
| <b>Error</b>               | 240300     | 4           | 60075,0                 |           |                |
| <b>Total</b>               | 340150     | 7           |                         |           |                |

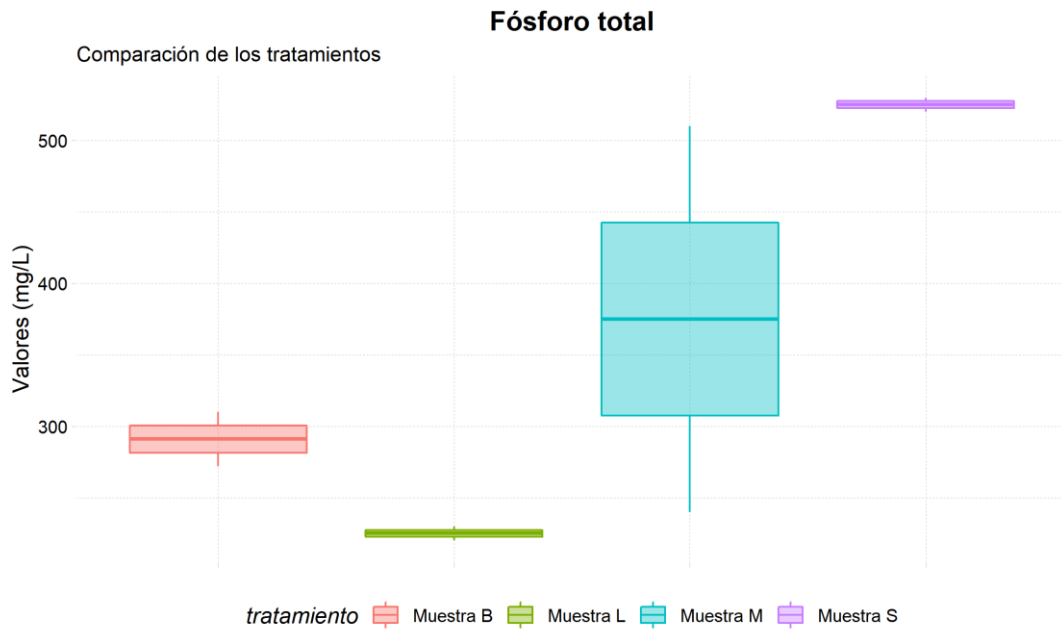
Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 11-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA, en donde se observa que para el parámetro de nitrógeno total el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el nitrógeno total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de nitrógeno total, no es necesario realizar la prueba de Dunnet para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.4. Fósforo Total

Para la variable fósforo en la Ilustración 14-4 se observa que los valores fueron variados, el tratamiento con un T1 fue menor (225 mg/L), seguido del blanco con un contenido de 310 mg/L y los más altos fueron para 375 mg/L y 525 mg/L para T3 y T2 respectivamente, es decir que el tratamiento con suero de leche como consorcio bacteriano, posee mayor cantidad de este nutriente en comparación con los bioles elaborados. Los resultados obtenidos son similares a los de (Quipuzco, Baldeón y Tag, 2011) quienes obtuvieron biol empleando estiércol vacuno, y son menores a los de (Peralta, Juscamaita y Meza, 2016) investigadores que desarrollaron abono líquido usando consorcios microbianos ácido lácticos. La cantidad de fósforo puede aumentar dependiendo de la cantidad de melaza, estiércol o consorcio ácido láctico empleado (Asimbaya, 2018).



**Ilustración 14-4:** Fósforo total de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 12-4:** ANOVA del fósforo total al final del biol

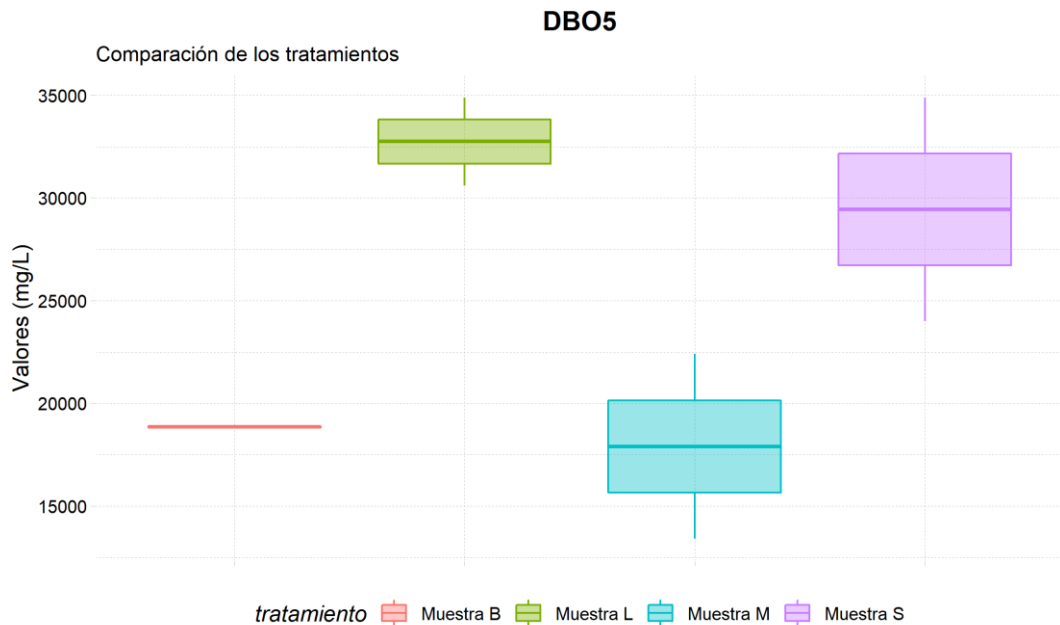
| <b>Fósforo Total</b>       |            |             |                         |           |                |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b> | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>        | 100584     | 3           | 33528,0                 | 3,5982    | 0,12           |
| <b>Error</b>               | 37272      | 4           | 9318,0                  |           |                |
| <b>Total</b>               | 137856     | 7           |                         |           |                |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 12-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA, en donde se observa que el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el parámetro de fósforo total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de fósforo, no es necesario realizar la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.5. DBO5



**Ilustración 15-4:** DBO5 de los biolos

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

En la Ilustración 15-4 se aprecia la variación de la de demanda bioquímica de oxígeno en todos los tratamientos, el biol obtenido a base de leche contiene mayor DBO5, es decir que requiere mayor cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica, mientras que el valor más bajo fue el de 1700 mg/L el cual corresponde a la muestra S. Los resultados de DBO5 en cuanto a las formulaciones establecidas para T1 y T2 concuerdan con el hecho de que a mayor cantidad de materia orgánica mayor DBO5, pese a que el T3 contiene una mezcla 50 /50 posee una DBO5 baja, esto puede explicarse por las sales inorgánicas que pueden presentarse (Wesley y Zmuda, 2007).

**Tabla 13-4:** ANOVA de la DBO5 al final del biol

| <b>DBO5</b>                |            |             |                         |           |                |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b> | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>        | 3,4E+08    | 3           | 111842012,7             | 4,0985    | 0,103          |
| <b>Error</b>               | 1,1E+08    | 4           | 27288512,5              |           |                |
| <b>Total</b>               | 4,4E+08    | 7           |                         |           |                |

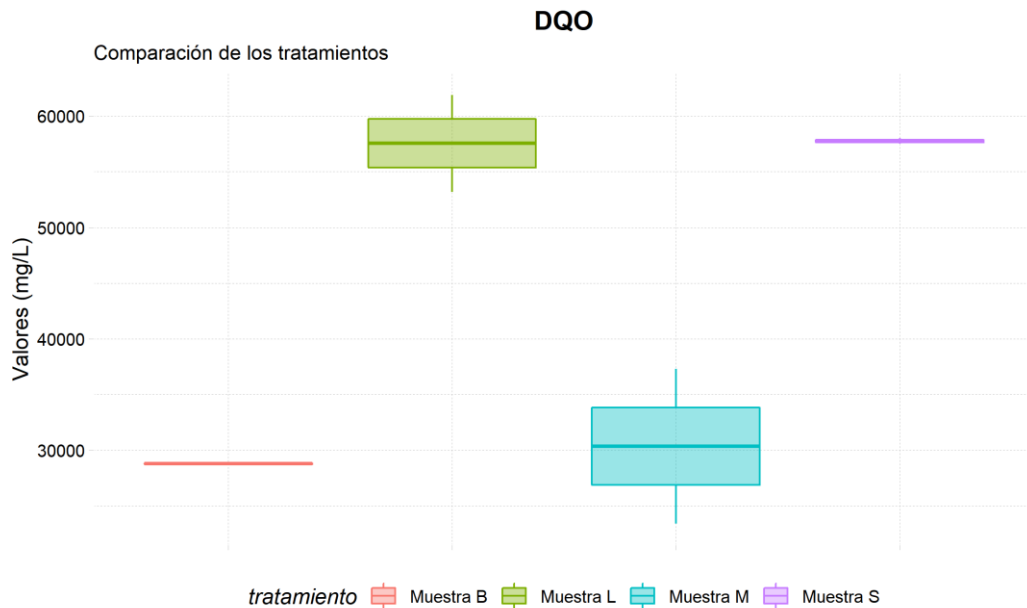
Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 13-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA, en donde se observa que el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del

95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el parámetro de DBO5 total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de DBO5, no es necesario realizar la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.6. DQO



**Ilustración 16-4:** DQO de los bioles

**Realizado por:** Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La Ilustración 16-4 representa los resultados obtenidos en cuanto a la variable DQO de todos los tratamientos aplicados, los bioles presentaron valores que van de entre 28900 mg/L (T0) y 57750 mg/L (T2) siendo este el resultado más alto alcanzado, estas concentraciones evidencian que existe una considerable cantidad materia en suspensión que no han sido degradados por los microorganismos y que su presencia en el abono líquido se explica por el uso de una tela fina para separar el biol del biosol y no hacerlo por otras técnicas que combinan la centrifugación y el prensado (Jara, Gallegos y Cruz, 2021).

**Tabla 14-4:** ANOVA de la DQO al final del biol

| DQO                 |         |      |                  |         |         |
|---------------------|---------|------|------------------|---------|---------|
| Fuente de variación | S.C     | G. L | Cuadrados Medios | Fh      | valor-p |
| Tratamientos        | 1,6E+09 | 3    | 525988446,0      | 15,6324 | 0,011   |
| Error               | 1,3E+08 | 4    | 33647362,5       |         |         |

|              |         |   |  |  |  |
|--------------|---------|---|--|--|--|
| <b>Total</b> | 1,7E+09 | 7 |  |  |  |
|--------------|---------|---|--|--|--|

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

En la tabla 14-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA, en donde se observa que el valor-p es menor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza al menos un promedio es diferente de los demás, es decir que el consorcio bacteriano influye estadísticamente en la DQO del biol obtenido.

Considerando que en la prueba ANOVA se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de DQO se realizó la prueba de Dunnet para comparar los tratamientos aplicados Vs el tratamiento testigo.

**Tabla 15-4:** Prueba Dunnet para la DQO al final del biol

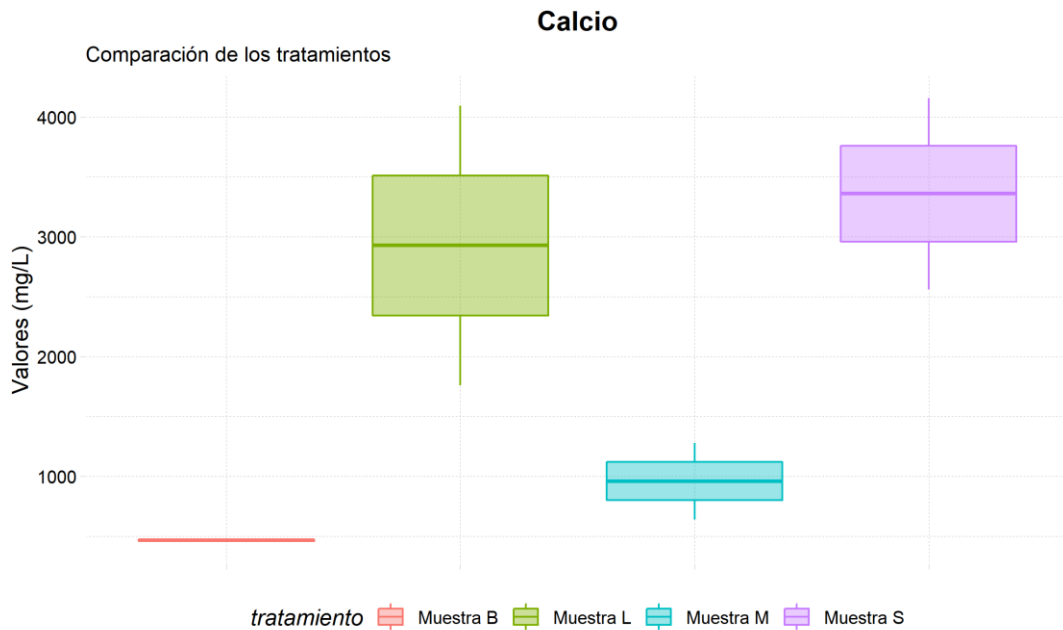
| <b>Biol</b>         | <b>Diferencia</b> | <b>Intervalo Inferior</b> | <b>Intervalo Superior</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Muestra L-Muestra B | 28735             | 7645,571                  | 49824,43                  | 0,01759        |
| Muestra M-Muestra B | 1535              | -19554,4                  | 22624,43                  | 0,985679       |
| Muestra S-Muestra B | 28935             | 7845,571                  | 50024,43                  | 0,017242       |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La relación de los tratamientos Vs el tratamiento testigo demuestra que todos los demás tratamientos en los que se empleó el consorcio bacteriano (leche y suero de leche) son diferentes estadísticamente de la muestra testigo evidenciando su influencia en el parámetro de DQO.

#### 4.4.3.7. Calcio

De todos los tratamientos realizados el biol elaborado utilizando como consorcio bacteriano el suero de leche posee mayor cantidad de calcio (3360 mg/L), en comparación con los otros tratamientos evaluados, sin embargo (Cerdas R., 2011) menciona que la concentración máxima de este elemento es de 2% para aplicación foliar, en base a ello únicamente los tratamientos T3 y el blanco cumplen este requerimiento ya que, el T2 posee un valor de 2,9% , la disponibilidad de calcio esta relación con el pH, mientras más cercano este a 7 hay mejor disponibilidad de este nutriente y se demuestra el trabajo de los microorganismos (Arroyo, 2015).



**Ilustración 17-4:** Calcio de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

**Tabla 16-4:** ANOVA del calcio al final del biol

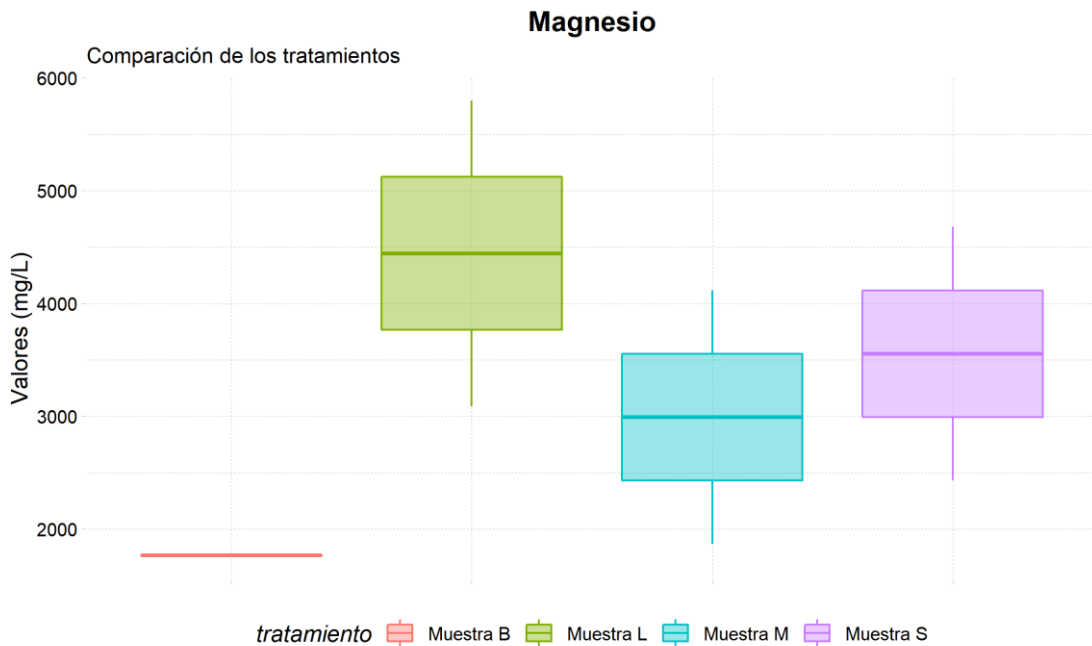
| <b>Calcio</b>              |            |             |                         |           |                |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| <b>Fuente de variación</b> | <b>S.C</b> | <b>G. L</b> | <b>Cuadrados Medios</b> | <b>Fh</b> | <b>valor-p</b> |
| <b>Tratamientos</b>        | 1,2E+07    | 3           | 4085344,7               | 3,8782    | 0,112          |
| <b>Error</b>               | 4213698    | 4           | 1053424,5               |           |                |
| <b>Total</b>               | 1,6E+07    | 7           |                         |           |                |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 16-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA para calcio, en donde se observa que el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el parámetro de calcio total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de calcio, no es necesario realizar la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.8. Magnesio



**Ilustración 18-4:** Magnesio de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La variación significativa que presenta el magnesio en cada uno de los tratamientos se ve reflejado en la Ilustración 18-4, en donde se evidencia que el biol obtenido utilizando leche pura como consorcio bacteriano presenta mayor concentración de magnesio (4445,5 mg/L), mientras que el tratamiento testigo obtuvo la menor concentración de Mg (1778 mg/L), resultados que concuerdan con el estudio desarrollado por (Cruz, 2018), en donde empleó bacterias ácido lácticas para obtener biol.

**Tabla 17-4:** ANOVA del magnesio al final del biol

| Magnesio            |         |      |                  |        |         |
|---------------------|---------|------|------------------|--------|---------|
| Fuente de variación | S.C     | G. L | Cuadrados Medios | Fh     | valor-p |
| Tratamientos        | 7541254 | 3    | 2513751,3        | 1,1513 | 0,431   |
| Error               | 8733473 | 4    | 2183368,3        |        |         |
| Total               | 1,6E+07 | 7    |                  |        |         |

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

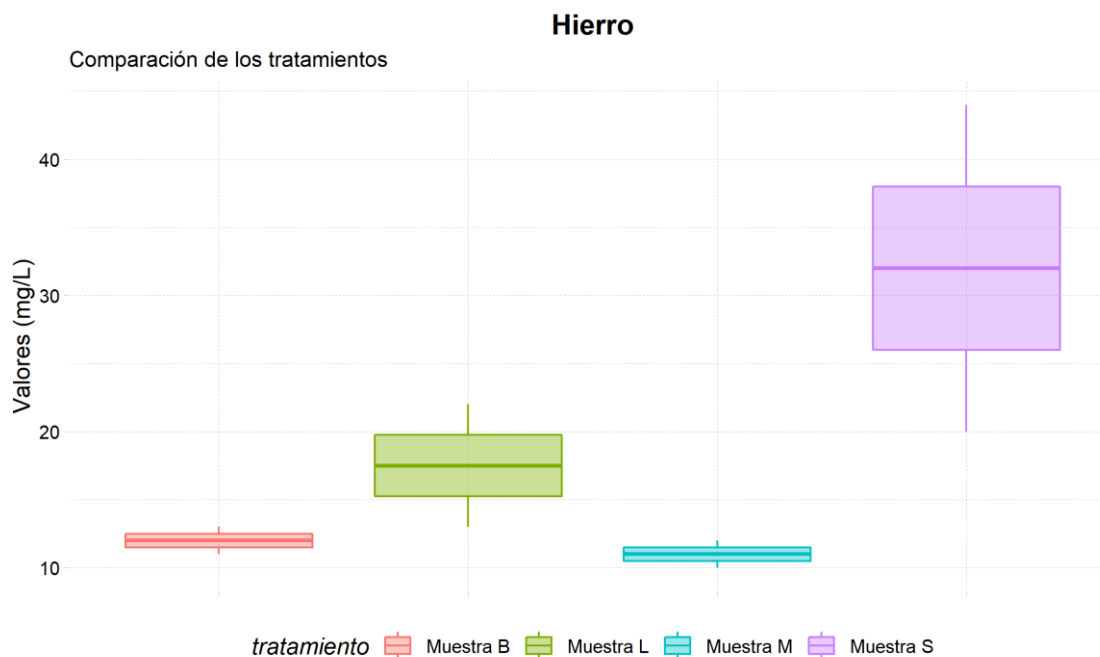
La tabla 17-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA para Magnesio, en donde se observa que el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con



un nivel del 95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el parámetro de Mg total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de Mg, no es necesario realizar la prueba de Dunnet para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.9. Hierro



**Ilustración 19-4:** Hierro de los bioles

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

Para el hierro en la Ilustración 19-4 se aprecia la variación que existe de este parámetro entre los diferentes tratamientos, el biol que contiene mayor Fe es el T2 en donde se empleó suero de leche como consorcio bacteriano y el de menor concentración fue T3, estos resultados concuerdan con el estudio realizado por (Cruz, 2018) y (Puente, 2012), quienes utilizan estiércol bovino para obtener biol.

**Tabla 18-4:** ANOVA del hierro al final del biol

| Hierro              |       |      |                  |        |         |
|---------------------|-------|------|------------------|--------|---------|
| Fuente de variación | S.C   | G. L | Cuadrados Medios | Fh     | valor-p |
| Tratamientos        | 562,4 | 3    | 187,5            | 2,2552 | 0,224   |
| Error               | 332,5 | 4    | 83,1             |        |         |

|              |       |   |  |  |  |
|--------------|-------|---|--|--|--|
| <b>Total</b> | 894,9 | 7 |  |  |  |
|--------------|-------|---|--|--|--|

Realizado por: Acosta, John; Guaita, Fernanda, 2022.

La tabla 18-4 se muestra el análisis de la varianza ANOVA para Fe, en donde se observa que el valor-p es mayor que 0,05 el cual es el nivel de significancia, por lo que se deduce que con un nivel del 95% de confianza todos los tratamientos son estadísticamente iguales, es decir que el consorcio bacteriano no influye en el parámetro de hierro total de los bioles obtenidos.

Considerando que en la prueba ANOVA no se rechazó la hipótesis nula de que los tratamientos son iguales en promedio de Fe, no es necesario realizar la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos.

#### 4.4.3.10. *Coliformes*

Al finalizar el proceso anaerobio se determinó que los coliformes totales redujeron su concentración en todos los tratamientos empleados, incluso en el testigo; sin embargo, pese a su disminución los bioles T0, T1 y T3 no cumplen con los parámetros para bioestimulantes establecidos por el (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020) en donde señala que la cantidad de coliformes totales debe ser hasta de 1000 UFC/100 mL, siendo el tratamiento T2 en donde se empleó suero de leche como consorcio bacteriano, el único que cumple con este requisito puesto que pasó de  $2,4 \times 10^8$  UFC/100 mL a  $<1 \times 10^3$  UFC/100 mL. Para el caso de coliformes totales todas las formulaciones reportaron ausencia de dicho microorganismo. Al inicio de los tratamientos su concentración en coliformes tanto fecales como totales fueron elevados dada la procedencia del agua residual, esto pudo influir en que en el hecho de que no fuese posible la eliminación en su totalidad de los coliformes totales; haciendo que solo el tratamiento con suero de leche cumpla los límites establecidos. Los resultados obtenidos son semejantes a los encontrados por (Pinto y Quipuzco, 2014) en donde utilizaron agua residual para la producción de biol y tampoco lograron la eliminación completa de coliformes.

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo abono orgánico utilizando lodos activados y desechos orgánicos a través del método Takakura lo cual generó abono orgánico sólido y mediante la digestión anaerobia para producir abono líquido (biol).
- Mediante análisis de laboratorio se caracterizó física, química y microbiológicamente los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas de PEISOL S.A y se determinó que es un residuo no peligroso ya que presenta un contenido de 93,6 mg/Kg de plomo y de 15,05 mg/Kg de cadmio, valores que no sobrepasan los límites máximos permitidos por la EPA. Esta caracterización permitió también establecer la relación C/N la cual partió con un valor de 25,16 asegurando el desarrollo del proceso.
- Se realizó dos procesos biológicos para el tratamiento de los lodos residuales, uno biológico aerobio y otro biológico anaerobio, en ambos tratamientos se obtuvieron rendimientos favorables (54,74 y 68,8 respectivamente), haciendo posible el aprovechamiento de este residuo para obtener enmiendas orgánicas las cuales al ser aplicadas al suelo producen un efecto positivo y además representan un ahorro económico para la empresa, ya que se evita el envío al gestor ambiental.
- Mediante la caracterización fisicoquímica de los bioles obtenidos se determinó que el T2 en donde se empleó suero de leche fue el mejor, ya que es el único que cumplió con las características organolépticas y su rendimiento fue superior (68,8%) en comparación con los otros tratamientos.
- Se caracterizó los abonos orgánicos obtenidos, de lo cual se determina que los productos generados se encuentran bien nutridos para su aplicación en la agricultura, donde se encuentra para el abono Takakura 29,52% de MO, C 13,67%, N 1,3%, Ca 0,9%, Mg 0,75%, P 1,5%, y K 0,88%. El biol S posee 3705 mg/L de MO, 4100 mg/L de N, P 525 mg/L, DBO5 29450 mg/L, 57750 de DQO, 3360 mg/L de Ca, Mg 3556,5 mg/L y 32 mg/L de Fe, los abonos analizados poseen un contenido bajo de coliformes totales ( $<1 \times 10^3$ ) y no reportan la presencia de coliformes fecales.

## RECOMENDACIONES

- Revisar que las soluciones salada y dulce empleadas en el método Takakura no generen malos olores para garantizar una fermentación exitosa.
- Picar los desechos orgánicos lo más fino posible para que el proceso de descomposición sea más rápido.
- Al pasar la materia orgánica por un proceso de degradación, es común que aparezcan insectos, en este caso se debe colocar una tela sobre la compostera artesanal para evitar el ingreso de los insectos y que estos interfieran en el proceso.
- Si se desea cumplir los rangos de cadmio establecidos por las normas más exigentes, se puede investigar sobre microorganismos que sean capaces de asimilar el cadmio o a su vez aplicar el compost obtenido a los cultivos de girasol.
- La empresa PEISOL S.A puede implementar el vermicompostaje para el aprovechamiento de lodos si desea a su vez reducir el contenido de metales pesados.
- La empresa debe asociarse con plazas y mercados de la localidad para la recolección de residuos orgánicos para que puedan ser aprovechados junto con el lodo residual en el proceso Takakura a mayor escala.
- Para reducir los coliformes totales, se podría incrementar la temperatura en el calefactor térmico, ya que pueden tratarse de bacterias termo tolerantes o a su vez indagar sobre el uso de microorganismos benéficos.
- Continuar con los estudios para obtener biol utilizando agua residual, variando las concentraciones del consorcio bacteriano y los ingredientes empleados.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA.** *Guía Práctica para el Diseño y Explotación de Plantas de Compostaje* [En línea], España: Departament de Territori i Sostenibilitat, 2016. pp. 45-61. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: [https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC\\_web\\_ES.pdf](https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf)

**AMADOR, A.; et al.** “Tratamiento de lodos , generalidades y aplicaciones”. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* [En línea], 2015, 46(1). pp. 3-7. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

**ANDRADE, C.; et al.** “Procesos Bioquímicos Utilizados para la Producción de Bioetanol”, *Biodiésel y Biogás y su Estado en Colombia* [En línea], 2017, 3(1), pp. 110-111. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6444/1/COL0038496-2017-1-IQ.pdf>.

**ARANGO-OSORIO, S.; et al.** “Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa de leguminosa y ruminaza”. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícola* [En línea], 2016, 10(1), pp. 351-352. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/4052/pdf](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/4052/pdf)

**ARROYO, J.** Aprovechamiento de la humanaza generada en la Hostería Mar de Plata del cantón Esmeraldas, para la elaboración de Bioles en sistema anaerobio, como un bioabono de jardines [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito-Ecuador. 2015. pp. 1-115. [Consulta: 2 abril 2022]. Disponible en: [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1459/1/Tesis José Arroyo MGA2015 FINAL.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1459/1/Tesis%20José%20Arroyo%20MGA2015%20FINAL.pdf)

**ASIMBAYA, L.** Elaboración de Bioles producidos a partir de desechos del camal municipal de Cayambe (Sangre y Rumen) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito-Ecuador. 2018. pp.1-73. [Consulta: 2 abril 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15928>

**ASSOCIACIÓ CATALANA D'ENGINYERIA SENSE FRONTERES.** *Manual de Producción del Compost* [En línea]. Quito: Universidad Estatal Amazónica. 2007. [Consulta: 2 abril 2022]. Disponible en: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>

**AZHARPOOR, A.; et al.** “Oily wastewaters treatment using *Pseudomonas* sp . isolated from the compost fertilizer”. *Environmental Health Science & Engineering* [En línea], 2014, 12(1). pp. 1-6. [Consulta: 2 abril 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4038401/pdf/2052-336X-12-77.pdf>

**BOHORQUÉZ, W.** *El proceso de compostaje* [En línea]. Colombia: La Salle. 2019. [Consulta: 12 abril 2022]. ISBN 9789585486676. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>

**BONILLA, X.; & URBINA, J.** Estudio comparativo de dos técnicas de descomposición de los residuos orgánicos del restaurante-cafetería del Campus José Rubén Orellana [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2020. . [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20954/1/CD\\_10452.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20954/1/CD_10452.pdf)

**BUENO, P.; et al.** *Capítulo 4: Factores que afectan al proceso de Compostaje. El proceso de compostaje* [En línea]. España: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, 2005. pp. 4-8. [Consulta: 12 abril 2022]. ISBN 978-84-8476-346-8. 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)

**BUSTAMANTE, M.** Uso de compost de lodos de depuradora. *Compostando Ciencia* [En línea]. 2017. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2017/01/uso-de-compost-de-lodos-de-depuradora-por-la-dra-maria-angeles-bustamante/>

**CABRERA, W.** Empleo de Lixiviados para Compostar los Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios de la Ciudad de Sucúa, Mediante las Técnicas de Takakura y de Vermicompostaje [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-149. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10148/1/236T0360.pdf>

**CALLE, P.** Optimización del Proceso de Compostaje Realizado en el GAD Municipal del Cantón Cascales [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-149. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10176/1/236T0374.pdf>

**CAMPITELLI, P.; et al.** *Obtención de Abonos de Calidad para las Plantas* [En línea]. Argentina: s.n. 2014. [Consulta: 12 abril 2022]. ISBN 978-987-791-416-2. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/78144>.

**CAMPOS, E.; et al.** *Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje* [En línea]. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 2012. [Consulta: 1 abril 2022]. ISBN 978-84-996-133-6. Disponible en: [https://books.google.com.ar/books?id=sAOTHkOK9CUC&printsec=frontcover&source=gbg\\_e\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ar/books?id=sAOTHkOK9CUC&printsec=frontcover&source=gbg_e_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**CASTILLO, J.; et al.** “Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales”. *Revista Reimat* [En línea], 2020, 5(1). pp. 24-25. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2499/267>

**CERDAS, R.** “Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica”. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* [En línea], 2011, 12(24), pp. 109-128. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/666/66622581007/>.

**CÉSPEDES, G.; et al.** “Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas”. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* [En línea], 2014, 26(1), p. 6. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: [https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf\\_000202.pdf](https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000202.pdf)

**CHICA, A.; et al.** *Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica*. España: Mundi-Prensa. 2015. ISBN 9788484767060.

**CHIRIBOGA, H.; et al.** *Abonos orgánicos sólidos (compost) y líquido (biol)*. S.l.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015. pp. 32.

**CRUZ, M.** *Obtención de Biol a Partir de Desechos Generados en el Mercado Mayorista y en el Camal de Riobamba Usando un Consorcio Microbiano como Acelerador* [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-105. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10173/1/236T0371.pdf>

**CUPE, B.; & JUSCAMAITA, J.** “Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico”. *Ecología Aplicada* [En línea], 2018, 17(1), pp. 107-118. ISSN 1993-9507. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v17n1/a12v17n1.pdf>.

**CUSTODE, F.** Normativa Ambiental Ecuatoriana para el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. *Escuela Politécnica Nacional* [En línea]. 2017. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://fernandocustode.blog.epn.edu.ec/?p=113>

**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE ARAGÓN.** “Producción y gestión del compost”. *Dirección general de tecnologías agrarias*, vol. 88, n°1 (2000). pp. 15-19.

**DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.** *Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos* [En línea]. 2010. QUITO-Ecuador: EMASEO. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://www.emaseo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/ordenanza332-2016-abril.pdf>.

**ELIAS, X.** *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos* [En línea]. Madrid: Días de Santo. 2012. [Consulta: 1 abril 2022]. ISBN 978-84-9969-141-1. Disponible en: <https://books.google.com.cu/books?id=qYmL8Q10TYcC&printsec=frontcover#v=snippet&q=c compostaje&f=false>.

**EPA.** Standards for the use or Disposal of Sewage Sludge- Protection of Environment [en línea]. 2018. S.I.: s.n. 2018. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2018-title40-vol32/xml/CFR-2018-title40-vol32-part503.xml>

**ESPÍNDOLA, J.** Obtención de Bioles y de Biosoles a partir del lodo que se extrae de las eras de secado del camal municipal del cantón Ambato [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. [Consulta: 1 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10535/1/236T0394.pdf>

**ESTEBAN, M.** Co-Digestión Anaerobia de Lodo de EDAR con Residuos Orgánicos de Diferente Naturaleza : Combinación de Técnicas Experimentales Y Matemáticas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Navarra. Donostia-San Sebastián. 2014. pp. 1-260. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/35814/1/Myriam Esteban.pdf](http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/35814/1/Myriam%20Esteban.pdf)



**FAO.** *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores* [En línea]. Buenos Aires: FAO. 2019. [Consulta: 21 abril 2022]. ISBN 9789251315590. Disponible en: [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf)

**FAO.** *Manual de Biogás* [En línea]. Santiago de Chile: FAO. 2011. [Consulta: 21 abril 2022]. ISBN 978-95-306892-0. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.

**FONAG.** *Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana* [En línea]. S.l.: USAID, 2010. pp. 5. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [http://www.fonag.org.ec/doc\\_pdf/abonos\\_organicos.pdf](http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf)

**FONCODES.** *Producción y uso de abonos orgánicos : biol , compost y humus*. S.l.: s.n. 2014. pp. 12-21.

**GALEA, Z.** Ensayo de Producción y Caracterización de Compost a partir de Residuos de Guacamole, Poda y Gallinaza [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Pablo de Olavide, Área de Tecnologías del Medio Ambiente. 2013. pp. 1-70. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/80186/1/Ensayo de producción.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/80186/1/Ensayo%20de%20producci3n.pdf)

**GARCÍA, K.** Codigestión Anaeróbica de Estiércol y Lodos de Depuradora para Producción de Biogás [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. España. 2009. pp. 2-76. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/161351086.pdf>

**GARCÍA, N.; & ABAD, M.** “Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca”. *Universidad de Cuenca*, vol. 6, no. 1 (2015), pp. 96.

**GC TRATAMIENTO.** ¿Qué es una PTAR y cuál es su importancia? [En línea]. 2019. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://gctratamiento.mx/que-es-una-ptar/>.

**GRAMA.** *Manual de Vermicompostaje* [En línea], S.l: GRAMA, 2006. p. 3. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual de Vermicompostaje GRAMA.pdf](https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual%20de%20Vermicompostaje%20GRAMA.pdf).

**GUALOTO, J.** Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. Caso de estudio: Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la parroquia rural de Nono [En línea]. (Trabajo de Titulación)

(Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito-Ecuador. 2016. pp. 23-100. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17066>

**GUERREROS, R.** “Elaboración de un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios del Distrito de Chaupimarca - Cerro de Pasco 2017”. *Interciencia* [En línea], 2019, 1(1), pp. 25-26. [Consulta: 21 abril 2022]. ISSN 03781844. Disponible en: [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis\\_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026\\_70261078\\_T.pdf](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026_70261078_T.pdf)

**GUTIÉRREZ, M.** *Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos* [En línea]. Córdoba: Universidad de Córdoba. 2014. pp. 2-326. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11811/2014000000912.pdf?sequence=1>

**HERRERO, J.** *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación 1* [En línea]. Quito: s.n. 2019. [Consulta: 21 abril 2022]. ISBN 9789942362766. Disponible en: [http://redbiolac.org/wp-content/uploads/2022/05/Libro\\_Manual-de-Diseno-e-Instalacion-de-Biodigestores-Latinoamericanos-Jaime-Marti.pdf](http://redbiolac.org/wp-content/uploads/2022/05/Libro_Manual-de-Diseno-e-Instalacion-de-Biodigestores-Latinoamericanos-Jaime-Marti.pdf).

**HONOBE, Y.** *El método Takakura herramienta de responsabilidad ambiental* [En línea]. S.l.: FONAG. 2013. pp. 1-13. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>

**HUAMÁN, J.; & HUAMÁN, H.** Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Facultad de Ingeniería. Cajamarca-Perú, 2019. pp. 1-126. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/ANÁLISIS\\_Y\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_LODOS\\_RESIDUALES\\_GENERADOS\\_EN\\_LA\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DE\\_CAJABAMBA\\_PARA\\_LA\\_OBTENCIÓN\\_DE\\_COMPOST\\_YLADRILLOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/ANÁLISIS_Y_TRATAMIENTO_DE_LODOS_RESIDUALES_GENERADOS_EN_LA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DE_CAJABAMBA_PARA_LA_OBTENCIÓN_DE_COMPOST_YLADRILLOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**IGES.** *Compostaje para la reducción de residuos-Juego de Informaciones* [En línea], Japón: Instituto de Estrategias del Medio Ambiente Global. 2010. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp\\_kit\\_high.pdf](https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_high.pdf)

**IGLESIAS, E.** *Aspectos físico- bioquímicos y microbiológicos del proceso de Evaluación de la calidad.* [En línea], España: Universitat Miguel Hernández. 2014. p. 12. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3\\_2\\_Unidad\\_tematica\\_4.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3_2_Unidad_tematica_4.pdf)

**IGLESIAS, E.; & PÉREZ, V.** “Determination of maturity indices for city refuse composts. Agriculture”, *Ecosystems and Environment* [En línea], 1992, 38 (4), pp. 331-343. [Consulta: 21 abril 2022]. ISSN 01678809. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/5165/1/AEE-1992.pdf>.

**INIAP.** *Manual de Producción de Abonos Orgánicos* [En línea]. Cuenca. 2011. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2396/1/MANUAL\\_89.pdf](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2396/1/MANUAL_89.pdf)

**INSTITUTO TÉCNICO AGROPECUARIO.** *Cartilla práctica para la elaboración de Abono orgánico líquido fermentado en producción ecológica* [En línea]. Bogotá: ICA. 2015. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [www.ica.gov.co](http://www.ica.gov.co).

**JARA, J.; et al .** “Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos”. *InterSedes*, vol. 22, n° 1 (2021). pp. 197-199. ISSN 2215-2458.

**JARA, L.** Oportunidades de Valorización mediante compostaje de los Residuos Orgánicos de origen Urbano y afines en Ecuador: Propuesta de Gestión para la provincia de Chimborazo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo. 2016. pp. 1-36. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/909/TL\\_CayotopaLatorreCristhianArmando.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/909/TL_CayotopaLatorreCristhianArmando.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

**JIMÉNEZ, B.; & MÉNDEZ, J.** *Estabilización alcalina de lodos depurados en sistemas cerrados con recirculación de amoníaco opcional* [En línea]. 2005. S.l.: s.n. 2005. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/72/1f/23/1438bfaaa350c7/WO2005051853A1.pdf>

**JIMÉNEZ, J.** Elaboración de abono orgánico líquido fermentado (biol), a partir de vísceras de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), de los criaderos piscícolas de la parroquia de Tufiño [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Estatal de Carchi. Tulcán-Ecuador. 2012. pp. 1-155. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/6/1/006> ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO FERMENTADO %28 BIOL%29 A PARTIR DE VICERAS DE TRUCHA ARCO IRIS %28 ONCORHYNCHUS MYKIIS%29 DE LOS CRIADEROS - JIMÉNEZ MIDEROS JOHANNA MARIBEL.pdf

**JIMÉNEZ, Nancy.** “La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. Letras Verdes”. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* [En línea], 2015, 1(1), pp. 43-48. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/1419/1282>.

**JIMÉNEZ, Silvo.** Elaboración de Compost a Partir de Residuos Sólidos Orgánicos Generados en el Mercado Mayorista del Cantón Riobamba. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2015.

**LIMÓN, J.** Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? *Academia de Ingeniería México* [En línea], 2015. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/presentacion/los-lodos-de-las-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-¿problema-o-recurso>

**LORENZO, Y.; & OBAYA, C.** “La Digestión Anaerobia. Aspectos Técnicos Parte I”. *Redalyc* [En línea], 2005, 39(1). pp. 37-38. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

**MAE.** *Acuerdo Ministerial 0.61* [En línea]. Ecuador: s.n., 2015. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_acuerdo-ministerial-061.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-ministerial-061.pdf)

**MAE.** *Revisión Del Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua* [En línea], Ecuador: s.n., 2015. pp. 1-40. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

**MARCO, P.** Digestión Anaerobia de azúcares reductores para la obtención de biocombustible: Revisión bibliográfica [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Zaragoza, Facultad de Ciencias. España. 2019. pp. 1-56. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/290002341.pdf>

**MARTÍ-HERRERO, J.** *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. S.l.: s.n. ISBN 978-99954-0-339-3. 2008.

**MEDIA, A.; et al.** “Evaluación de la Calidad del Biol de Segunda Generación de Estiércol Ovino Producido a través de Biodigestores”. *Revistas la Molina* [En línea], 2015, 76(1), p. 121. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/772/740>.

**MEJÍA, E.; & RAMOS, S.** Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo de los Cantones Colta, Alausi y Guamate, Mediante Tratamientos Biológicos. Compostaje, Cocompostaje, Vermicompostaje Y Takakura [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10799/1/236T0430.pdf>

**MENDOZA, M.; & VIGÍL, J.** “Evaluación Físico – Química Y Microbiológica De Cuatro Niveles De Lodos Ordinarios En La Elaboración De Compost”. *Universidad De El Salvador* [En línea], 2012, 10(1). pp. 1-157. [Consulta: 19 julio 2022]. ISSN 0439-755X. Disponible en: <http://pub.chinasciencejournal.com/article/getArticleRedirect.action?doiCode=10.3724/SP.J.1041.2018.00953>.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA.** “Manual técnico para el registro y control de fertilizantes , enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola”. *Registro De Insumos Agropecuarios* [En línea], 2020, 1(5), pp. 38-40. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/ac6.pdf>.

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO.** *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España* [En línea]. S.l.: s.n., 2009. [Consulta: 19 julio 2022]. ISBN 1752-1947. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España \(NIPO 770-10-256-5\)\\_tcm30-170350.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España (NIPO 770-10-256-5)_tcm30-170350.pdf).

**MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA.** *LEGISLACIÓN CONSOLIDADA Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes* [En línea]. 2013. España: s.n. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-7540-consolidado.pdf>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE y PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS.** *Diagnóstico de la Cadena de Gestión Integral de Desechos Sólidos-Reciclaje* [En línea], Ecuador. 2015, pp. 2-3. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/08/Resumen-Cadena-de-Gestion-de-Residuos-Sólidos.pdf>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente.* Ecuador. 2017.

**MONTAGUANO, M.** Valorización del Uso de Lodos de Lavadoras de Jeans para el Compostaje de la empresa EMMAIT-EP del cantón Pelileo Provincia de Tungurahua [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10575/1/236T0419.pdf>.

**MONTES, L.** Valorización de Flujos Residuales Orgánicos Generados en Entornos Urbanos Mediante Co--Compostaje [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Miguel Hernández de Elche. 2015. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=109869&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=109869%0Ahttp://dspace.umh.es/bitstream/11000/2480/1/TFG Domingo Doménech, Guadalupe.pdf](https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=109869&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=109869%0Ahttp://dspace.umh.es/bitstream/11000/2480/1/TFG%20Domingo%20Doménech,%20Guadalupe.pdf)

**MORENO, J.; & MORAL, R.** *Compostaje* [En línea]. Madrid: Mundi-Pren. 2008. [Consulta: 19 julio 2022]. ISBN 978-84-8476-346-8. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=IWYJAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=IWYJAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

**NAVARRO, G.; & NAVARO, S.** *FERTILIZANTES QUÍMICA Y ACCIÓN* [En línea]. España: s.n. 2014. [Consulta: 19 julio 2022]. ISBN 978-84-8476-678-0. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes\\_química\\_y\\_acción.html?id=3McUBQAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&hl=es-419&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes_química_y_acción.html?id=3McUBQAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es-419&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

**NAVARRÓN, L.** Compostaje de Tronco Palmera con Lodos de Depuración de Aguas Residuales [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Miguel Hernández de Elche. 2016. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3249/1/TFG\\_Navarrón\\_Izquierdo%2C\\_Luis.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3249/1/TFG_Navarrón_Izquierdo%2C_Luis.pdf).

**NOYOLA, A.; et al.** *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* [En línea]. Primera Ed. México: s.n. 2013. ISBN 9786070248221. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)

**NTE INEN 2841.** *Estandarización de Colores para Recipientes de Depósito y Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos. Requisitos.*

**NÚÑEZ, L.** Diseño e Implementación de Prototipos de Digestión Anaerobia para Residuos Agrícolas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Universidad de Piura. 2017a. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2922/IME\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2922/IME_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**NÚÑEZ, L.** Modelamiento y Control de Procesos de Digestión Anaerobia para la producción de Biogás a partir de Residuos Orgánicos y/o Aguas Residuales [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. 2017b. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2986/MAS\\_IME\\_AUT\\_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2986/MAS_IME_AUT_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**OCAMPO, R.; et al.** “Implementación del Método de Compostaje Takakura para el Reciclaje de desechos en la Ciudad de Loja, Ecuador”. *ResearchGate* [En línea], 2015, 4(1). p. 38. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Roldan-Torres-Gutierrez/publication/295254069\\_IMPLEMENTING\\_TAKAKURA\\_COMPOSTING\\_METHOD\\_FOR\\_WASTE\\_RECYCLING\\_IN\\_LOJA\\_CITY\\_ECUADOR/links/56c888c108ae110637077b31/IMPLEMENTING-TAKAKURA-COMPOSTING-METHOD-FOR-WASTE-RECYCLING-](https://www.researchgate.net/profile/Roldan-Torres-Gutierrez/publication/295254069_IMPLEMENTING_TAKAKURA_COMPOSTING_METHOD_FOR_WASTE_RECYCLING_IN_LOJA_CITY_ECUADOR/links/56c888c108ae110637077b31/IMPLEMENTING-TAKAKURA-COMPOSTING-METHOD-FOR-WASTE-RECYCLING-)

**OCAÑA, S.** Diseño de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica

de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16317/1/20T01536.pdf>

**ORTIZ, A.** Impacto de Lodos Residuales de La Planta de Tratamiento de la UAAAN en Calabacita tipo ZUCCHINI (Cucúrbita pepo L.) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 2013. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4494/62671ORTIZRAMOS%2CAXELIVANTESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**ORTIZ, L.** Obtención de bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2017. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7010/1/236T0270.PDF>

**PALAU, E.; & VIRGINIA, C.** Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. España. 2016. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau - Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos..pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau-Digestiónanaerobiade residuosde biomasa para la producción de biogás. Fundamentos..pdf?sequence=1).

**PAREDES, C.; et al.** “Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes”. *Bioresource Technology*, vol. 85, no. 1 (2002), pp. 1-8. ISSN 09608524.

**PERALTA, L.; et al.** “Obtención y Caracterización De Abono Orgánico Líquido a Través Del Tratamiento De Excretas Del Ganado Vacuno De Un Establo Lechero Usando Un Consorcio Microbiano Ácido Láctico”. *Ecología Aplicada* [En línea], 2016, 15(1), pp. 8. ISSN 1726-2216. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v15n1/a01v15n1.pdf>

**PERDOMO, C.** Diagnostico del sistema de “lodos activados” de la planta de tratamiento de aguas residuales Funza, Cundinamarca, Colombia [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes. 2014. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/61232/3634.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.



**PÉREZ, J.; & ZUMBANA, E.** Diseño e Implementación de un Sistema de un Sistema de Tratamiento de Lodos Residuales de una PTAR a Escala de Laboratorio en la Facultad de Ciencias ESPOCH, 2015 [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2016 [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4911/1/236T0190.pdf>.

**PEREZ, M.** Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb). (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2016.

**PINTO, L.; & QUIPUZCO, L.** “Aprovechamiento de Aguas Residuales Domésticas para la Producción de Biogás y Biol mediante digestores de carga diaria”. *Dialnet* [Em línea], 2014, vol. 76, no. 1, pp. 87-93. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: DOI <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.768>.

**PUENTE, P.** Estudio de la Digestión Anaeróbica de Desechos de Fruta en la Planta Piloto del Laboratorio de desarrollo de energías alternativas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 2012. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5991/1/104813.pdf>

**QUIPUZCO, L.; et al.** “Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC”. *Scielo* , vol. 14, n° 1 (2011), pp. 99-104.

**QUISPE, M.; et al.** *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales* [En línea]. NOSÓTRICA. México: s.n. 2020. [Consulta: 19 julio 2022]. ISBN 9786079884055. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>.

**RAMÍREZ, E.** *Fundamentos teóricos de lodos activados y aeración extendida* [En línea], S.l.: s.n. 2004. pp. 48-49. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/1Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>.

**RESTREPO, J.** *Manual de Agricultura Orgánica* [En línea], Cali: s.n. 2014. pp. 21-23. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [http://docente.ifsc.edu.br/luciane.costa/MaterialDidatico/GEN/Manual de Agricultura Orgánica\\_Jairo Restrepo Rivera-1.pdf](http://docente.ifsc.edu.br/luciane.costa/MaterialDidatico/GEN/Manual%20de%20Agricultura%20Org%C3%A2nica_Jairo%20Restrepo%20Rivera-1.pdf).

**RESTREPO, J.; & HENSEL, J.** *MANUAL PRÁCTICO DE AGRICULTURA ORGÁNICA Y PANES DE PIEDRA* [En línea]. Primera Ed. Cali: s.n. 2009. [Consulta: 19 julio 2022]. ISBN 978-958. Disponible en: <http://agroecologiar.com/wp-content/uploads/2019/07/Jairo-Restrepo-Julius-Hensel-Manual-Practico-de-Agricultura-Organica-y-Panes-de-Piedra.pdf>

**ROMÁN, P.** *Manual de compostaje del agricultor* [En línea]. S.l.: s.n. 2013. ISBN 9789253078448. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

**RUBIA, M.; et al.** *Anaerobic Digestion for Methane and Hydrogen Production* [En línea]. S.l.: Elsevier Inc. 2012. [Consulta: 17 noviembre 2022]. ISBN 9780128162040. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816204-0.00004-7>.

**SAG.** *Norma Chilena 2880* [En línea]. 2005. Chile: s.n. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh\\_2880\\_Compost\\_Clasificación.pdf](https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificación.pdf).

**SALAZAR, D.** Evaluación de la Producción de Biól a Partir de Rumen Bovino del Camal Frigorífico Municipal de Riobamba [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11159/1/236T0443.pdf>

**SÁNCHEZ, P.** Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de la parroquia Nono, cantón Quito, provincia de Pichincha, para su posterior uso en cultivos del sector. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 2019.

**SANTOS, S.; & URQUIAGA, R.** *Compostaje y Vermicompostaje Doméstico* [En línea], S.l.: s.n. 2013. pp. 7-10. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2013-04-santos-urquiaga\\_tcm30-163607.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2013-04-santos-urquiaga_tcm30-163607.pdf).

**SCHON, M.** *Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants* [En línea]. S.l.: Universitat Innsbruck. 2009. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.uibk.ac.at/umwelttechnik/teaching/phd/diss\\_schoen\\_2009\\_numerical-modelling-of-biogas-plants.pdf](https://www.uibk.ac.at/umwelttechnik/teaching/phd/diss_schoen_2009_numerical-modelling-of-biogas-plants.pdf).

**SEGOB.** *Norma Oficial Mexicana* [En línea]. 2003. México: s.n. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>

**SEPÚLVEDA, L.; & ALVARADO, J.** *Manual de Compostaje* [En línea]. Medellín: s.n. [Consulta: 17 noviembre 2022]. ISBN 9789588513690. Disponible en: [https://www.metro-pol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/cartillas/Manual de Aprovechamiento de Residuos Organicos.pdf](https://www.metro-pol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/cartillas/Manual%20de%20Aprovechamiento%20de%20Residuos%20Organicos.pdf)

**SISTEMA BIOBOLSA.** *Manual del BIOL* [En línea], S.l.: s.n. 2015. pp. 3-5. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SISTEMA BIOBOLSA s.f. Manual del BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf).

**SKANA VIS, C.; et al.** *Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030*. S.l.: s.n. 2020. ISBN 9783030303051.

**SPENA GROUP.** *Digestión de Lodos y Sistemas de Digestión de Residuos* [En línea]. S.l.: s.n. 2010. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://spenagroup.com/digestion-de-lodos-y-sistemas-de-digestion-de-residuos/>.

**SUBÍA, B.** Valoración de lodos residuales procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS quito para su aprovechamiento en la actividad agrícola [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK. 2017. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2704/2/Valoración de lodos residuales de la planta piloto de la EPMAPS para su aplicacion en la agricultura.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2704/2/Valoración%20de%20lodos%20residuales%20de%20la%20planta%20piloto%20de%20la%20EPMAPS%20para%20su%20aplicacion%20en%20la%20agricultura.pdf)

**TAPIA, L.** *Acuerdo Ministerial 097- A*. [En línea]. 2015. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf).

**TERÁN, C.; et al.** *Boletín técnico: Gestión de Agua Potable y Saneamiento. Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Municipales* [En línea], Ecuador: s.n. 2020. pp. 11. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin\\_tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf).

**TITO, B.** Tipos de Plantas tratadoras de aguas residuales (para tratamiento). *Ingeniería Ambiental* [En línea]. 2020. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://ingenieriaambiental.net/plantas-tratadoras-de-aguas-residuales/>.

**TORRES, A.** *Elaboración y Producción de Abonos Orgánicos Enriquecidos para su Empleo en la Agricultura Ecológica en la Provincia de Calpi*. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2021.

**TORRES, P.; et al.** “Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR”. *Revista Ingeniería e Investigación* [En línea], 2005, 25(1), pp. 58. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/14637/18639>

**TORTOSA, G.** “Descenso de Polifenoles Solubles y Grasas como Indicador de la Calidad de un Compost”. *Compostando Ciencia* [En línea]. 2013, 1(1). p.1. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/09/polifenoles-y-grasas-calidad-compost-html/>

**TULSMA.** *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos*. 2017.

**VASQUEZ, J.; & VARGAS, G.** Aprovechamiento de Lodos Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Funza, como Insumo de Cultivo y Mejoramiento del Suelo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. Colombia. 2018. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo de Grado - Lodos Funza.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo%20de%20Grado%20-%20Lodos%20Funza.pdf).

**VELASCO, H.** Manejo de Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Aplicando un Bioactivador Natural para Elaborar Compost, en el Cantón Cascales, Provincia de Sucumbíos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 2016. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17877/1/Velasco Robles Heinert Iván.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17877/1/Velasco%20Robles%20Heinert%20Iv%C3%A1n.pdf).

**VICENCIO, G.; et al.** “Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro”. *Revista Internacional de Contaminación*

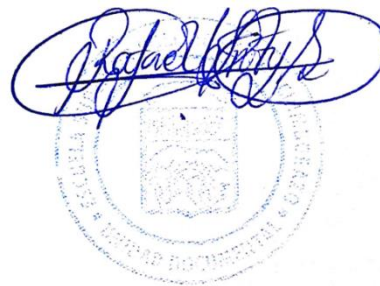
*Ambiental* [En línea], 2011, 27(3), pp. 263-270. [Consulta: 19 julio 2022]. ISSN 01884999. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n3/v27n3a11.pdf>

**VICENTE, J.; et al.** El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas [En línea]. Madrid: s.n. 1996. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/tecno-ciencia/inventario-de-tecnologias-en-girs/valorizacion-girs-tecnociencia/compostaje-valoracion-girs-tecnociencia/1521-tecnologia-del-compostaj>.

**VICO, A.** Reciclaje de Lodos de Depuradora: Estudio del Efecto del Agente Estructurante Usando y de la Proporción de Lodo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Superior de Orihuela. 2015. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2028/1/TFM Vico López%2C Alberto.pdf>

**WESLEY, P.; & ZMUDA, J.** *Manual of Environmental Microbiology*. Tercera Ed. Washington, D.C: s.n. 2007. ISBN 9781683674122.

**YAÑEZ, P.; et al.** “Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados”. *Scielo*[En línea], 2007, 3(1), pp. 731. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n4/v3n4a06.pdf>.



## ANEXOS

### ANEXO A: CARTA AVAL



Nueva Loja, 30 de junio de 2021

OF-PSL-06-2021-0023

Doctor.

Fausto Yaulema

**PRESIDENTE DE LA INTEGRACIÓN CURRICULAR DE TITULACIÓN Y  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

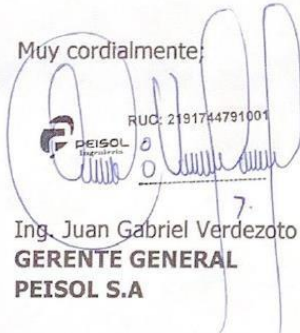

Presente. \_

De mi consideración:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para poner en su conocimiento que el tema de trabajo de titulación (tipo: proyecto técnico) denominado **"OBTENCION DE ABONO ORGANICO MEDIANTE LODOS ACTIVADOS Y DESECHOS ORGANICOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (GRISES-NEGRAS) DE LAS PLANTAS PORTATILES TIPO PAQUE DE LA EMPRESA PEISOL S.A"** presentado por los señores **John Sebastián Acosta** con cédula de identidad **050344522-3** y **Fernanda Mishell Guaita** con cédula de identidad **050350290-8** cuenta con el **AVAL**, y el asesoramiento para la realización del trabajo de titulación de los estudiantes anteriormente mencionados.

Particular que informo para los fines consiguientes.

Muy cordialmente:

  
RUC: 2191744791001  
  
7.  
**Ing. Juan Gabriel Verdezoto B.  
GERENTE GENERAL  
PEISOL S.A**



## ANEXO B: ADECUACIÓN DEL LUGAR



Excavación del terreno para el reservorio



Colocación de la geomembrana



Colocación de palos para el invernadero



Implementación del plástico de invernadero



Descarga del lodo residual



Recepción del lodo

## ANEXO C: PARTE EXPERIMENTAL



Muestra del agua residual



Peso del lodo residual



Fermentos dulce y salado



Prueba del puño para la semilla Takakura



Semilla del compost transcurrido 15 días



Residuos picados para el compost



Control de parámetros en el compost



Muestra de compost maduro para análisis de laboratorio



Ingredientes empleados para el biol



Biodigestores alimentados según los tratamientos





Biodigestores en el calefactor térmico



Muestras de bioles enviadas a laboratorio

**ANEXO D: FASE DE LABORATORIO**



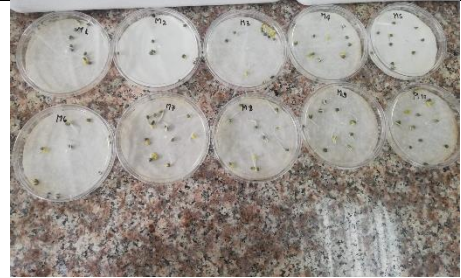
Triturado del material para análisis



Peso del material para su análisis



Conteo de coliformes fecales y totales



Test de germinación



Determinación de hierro



Determinación de la humedad y MO



Determinación de la densidad

## ANEXO F: RESULTADOS DE LABORATORIO



**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

### INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 12 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita

Tipo de muestras: Muestras de lodo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales

Localidad Lago Agrio

### Análisis Químico

| Determinaciones             | Unidades | *Métodos de análisis              | Resultados |
|-----------------------------|----------|-----------------------------------|------------|
| pH                          | -        | Potenciométrico                   | 7.06       |
| Humedad                     | %        | Gravimétrico (24H a 75°C)         | 94.18      |
| Materia orgánica (BS)       | %        | Walkley-Black volumétrico OX-Rd   | 43.55      |
| Carbono orgánico total (BS) |          | Cálculo                           | 25.30      |
| Nitrógeno total (BS)        | %        | Digestión Acido/base colorimetría | 1.55       |
| Fosforo total (BS)          | %        | Gravimétrico (24H a 75°C)         | 1.08       |
| Plomo                       | mg/Kg    | Colorimétrico Hach TNT 850        | 93.6       |
| Cadmio                      | mg/Kg    | Colorimétrico Hach TNT 852        | 15.05      |
| Tensoactivos                | mg/Kg    | Colorimétrico Hach 710            | 16.39      |
| Aceites y grasas            | mg/Kg    | Gravimétrico SM *5520-B           | 494.5      |

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**





**saqmic**

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

## INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 12 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita

Tipo de muestras: Muestras de lodo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales

Localidad Lago Agrio

### Análisis Bacteriológico

| Determinaciones       | Unidades | *Métodos de análisis | Resultados        |
|-----------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Coliformes Totales    | UFC/g    | Siembra en masa      | $1.0 \times 10^5$ |
| Escherichia coli      | UFC/g    | Siembra en masa      | $5.0 \times 10^3$ |
| Pseudomonas           | UFC/g    | Siembra en masa      | $3.0 \times 10^5$ |
| Staphylococcus aureus | UFC/g    | Siembra en masa      | $3.5 \times 10^4$ |

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 📞032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**

### INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

|   |
|---|
| ANÁLISIS SOLICITADO POR: Srta. Fernanda Gaita |
| UBICACION: Cantón Latacunga                   |
| TIPO DE MUESTRA: Agua residual doméstica      |
| FECHA DE ANÁLISIS: 24 de febrero del 2022     |

#### Examen Físico

|   |
|---|
| COLOR: Café oscura  |
| OLOR: Objetable, desagradable                                 |
| ASPECTO: Turbia presencia de materia en suspensión y flotante |

#### Examen Bacteriológico

| Determinaciones    | Unidades   | Resultados          |
|--------------------|------------|---------------------|
| Coliformes Totales | UFC/100 mL | $2.6 \times 10^7$   |
| Coliformes Fecales | UFC/100 mL | $3.0 \times 10^6$   |
| Estafilococos      | UFC/100 mL | $1.0 \times 10^6$   |
| Hongos y Levaduras | UFC/1mL    | $< 1.0 \times 10^3$ |

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 22 de febrero del 2022  
Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita  
Tipo de muestras: Agua Residual  
Localidad: Cantón Latacunga

### Análisis Físico - Químico

| Determinaciones                        | Unidades  | *Métodos de análisis    | Resultados |
|--|-----------|-------------------------|------------|
| pH                                     | -         | 4500-H-B                | 8.17       |
| Conductividad                          | µSiems/cm | 2510-B                  | 2 319      |
| Turbiedad                              | NTU       | 2130-B                  | 89.2       |
| Demanda Química de Oxígeno             | mg/L      | 5220-D                  | 540.0      |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno          | mg/L      | 5210-B                  | 204.0      |
| Fosforo - Fosfatos                     | mg/L      | 4500-P-D                | 43.75      |
| Nitrógeno orgánico total               | mg/L      | 4500-NO <sub>3</sub> -E | 280.0      |
| Plomo                                  | mg/L      | HACH-10216              | 0.44       |
| Zinc                                   | mg/L      | HACH-8009               | 1.8        |
| Detergentes.<br>Surfactantes aniónicos | mg/L      | HACH-710                | 1.66       |
| Aceites y Grasas                       | mg/L      | 5520 -B                 | 112.0      |
| Materia orgánica; volátil              | mg/L      | 2540-E                  | 840.0      |
| Sólidos Disueltos                      | mg/L      | 2540-C                  | 1 409      |
| Sólidos Suspendedos                    | mg/L      | 2540-D                  | 134.0      |
| Sólidos Sedimentables                  | mL/L      | 2540-F                  | 0.7        |
| Sólidos Totales                        | mg/L      | 2540-B                  | 1 072      |

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO



Servicio de Análisis  
Químicos y  
Microbiológicos  
**Dra. Gina Álvarez**  
Telf.: 2 924 322 // Cel.: 0998580374





**saqmic**

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

## INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 05 de septiembre del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita y Sr. Sebastián Acosta

Tipo de muestras: Muestras de Bioles: Muestras L1 y L2

Localidad: Latacunga

### Análisis Químico

| Determinaciones  | Unidades | *Métodos de análisis              | Muestra L1 | Muestra L2 |
|------------------|----------|-----------------------------------|------------|------------|
| Materia Orgánica | g/L      | Walkley Black Oxi.-Red.           | 3.51       | 2.53       |
| Nitrógeno total  | mg/L     | Digestión Acido/base colorimetría | 4.100      | 3.600      |
| Fosforo Total    | m/L      | Digestión/colorimetría            | 230        | 220        |
| DBO5             | m/L      | Digestión/colorimetría            | 34.900     | 30.600     |
| DQO              | m/L      | Gasométrico                       | 61.900     | 53.200     |
| Calcio           | mg/L     | Volumetría                        | 4.096      | 1.760      |
| Magnesio         | mg/L     | Volumetría                        | 5.803      | 3.088      |
| Hierro           | mg/L     | Colorimetría                      | 22.0       | 13.0       |

### Análisis Bacteriológico

| Determinaciones    | Unidades  | *Métodos de análisis | Muestra L1      | Muestra L2        |
|--------------------|-----------|----------------------|-----------------|-------------------|
| Coliformes Totales | UFC/100mL | Siembra en masa      | $1 \times 10^3$ | $< 3 \times 10^3$ |
| Coliformes Fecales | UFC/100mL | Siembra en masa      | Ausencia        | Ausencia          |

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Alvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: 0998580374 032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**





**saqmic**

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

## INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 05 de septiembre del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita y Sr. Sebastián Acosta

Tipo de muestras: Muestras de Bioles: Muestras S1 y S2

Localidad: Latacunga

### Análisis Químico

| Determinaciones  | Unidades | *Métodos de análisis              | Muestra S1 | Muestra S2 |
|------------------|----------|-----------------------------------|------------|------------|
| Materia Orgánica | g/L      | Walkley Black Oxi.-Red.           | 3.12       | 4.29       |
| Nitrógeno total  | mg/L     | Digestión Acido/base colorimetría | 3 900      | 4 300      |
| Fosforo Total    | m/L      | Digestión/colorimetría            | 530        | 520        |
| DBO5             | m/L      | Digestión/colorimetría            | 24 000     | 34 900     |
| DQO              | m/L      | Gasométrico                       | 57 500     | 58 000     |
| Calcio           | mg/L     | Volumetría                        | 4 160      | 2 560      |
| Magnesio         | mg/L     | Volumetría                        | 4 680      | 2 433      |
| Hierro           | mg/L     | Colorimetría                      | 440        | 20.0       |

### Análisis Bacteriológico

| Determinaciones    | Unidades  | *Métodos de análisis | Muestra S1      | Muestra S2        |
|--------------------|-----------|----------------------|-----------------|-------------------|
| Coliformes Totales | UFC/100mL | Siembra en masa      | $1 \times 10^3$ | $< 1 \times 10^3$ |
| Coliformes Fecales | UFC/100mL | Siembra en masa      | Ausencia        | Ausencia          |

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322

Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**





**saqmic**

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

## INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 05 de septiembre del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Fernanda Guaita y Sr. Sebastián Acosta

Tipo de muestras: Muestras de Bioles: Muestras M1 y M2

Localidad: Latacunga

### Análisis Químico

| Determinaciones  | Unidades | *Métodos de análisis              | Muestra M1 | Muestra M2 |
|------------------|----------|-----------------------------------|------------|------------|
| Materia Orgánica | g/L      | Walkley Black Oxi.-Red.           | 2.73       | 2.92       |
| Nitrógeno total  | mg/L     | Digestión Acido/base colorimetría | 3 700      | 3 950      |
| Fosforo Total    | m/L      | Digestión/colorimetría            | 510        | 240        |
| DBO5             | m/L      | Digestión/colorimetría            | 13 400     | 22 400     |
| DQO              | m/L      | Gasométrico                       | 23 400     | 37 300     |
| Calcio           | mg/L     | Volumetría                        | 640        | 1 280      |
| Magnesio         | mg/L     | Volumetría                        | 1 872      | 4 118.4    |
| Hierro           | mg/L     | Colorimetría                      | 12.0       | 10.0       |

### Análisis Bacteriológico

| Determinaciones    | Unidades  | *Métodos de análisis | Muestra M1          | Muestra M2          |
|--------------------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Coliformes Totales | UFC/100mL | Siembra en masa      | 1.5x10 <sup>3</sup> | 1.8x10 <sup>3</sup> |
| Coliformes Fecales | UFC/100mL | Siembra en masa      | Ausencia            | Ausencia            |

Observaciones:

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 📞032 942 322

Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

**saqmic**



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 02 / 03 / 2023

|  |
|--|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>   |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> John Sebastián Acosta Molina<br>Fernanda Mishell Guaita Barahona |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>   |
| <b>Facultad:</b> Ciencias  |
| <b>Carrera:</b> Ciencias Químicas  |
| <b>Título a optar:</b> Ingeniero/a en Biotecnología Ambiental                                |
| <b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto                         |

0346-DBRA-UPT-2023

0346-DBRA-UPT-2023