

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO CON
BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS PARA LA REMOCIÓN DE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES DE LODOS RESIDUALES
DEL CITRAR”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CAMARGO ZAMORA, CLAUDIA EDITH

ASESOR

VELARDE HURTADO, CESAR

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

A todas las personas que con pequeñas o grandes acciones buscan mejorar
diariamente el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Msc. Cesar Velarde Hurtado quien me orientó y guio para lograr la realización del presente trabajo de investigación, asimismo, a las técnicas de laboratorio de la UNTELS, quienes me brindaron su apoyo en toda la etapa experimental.

Agradezco a mis familiares y amistades, quienes siempre con una palabra o una acción nos motivan a seguir dando lo mejor de nosotros.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2. Justificación del Problema.....	2
1.3. Delimitación del Proyecto.....	3
1.3.1. Teórica.....	3
1.3.2. Temporal	3
1.3.3. Espacial.....	3
1.4. Formulación del Problema	4
1.4.1. Problema General.....	4
1.4.2. Problemas Específicos	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. Internacionales	5
2.1.2. Nacionales.....	7
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. Marco Legal.....	9
2.2.2. Fermentación.....	11
2.2.3. Bacterias Ácido Lácticas.....	12
2.2.4. Metabolismo Fermentativo	12
2.2.5. Homofermentativas.....	13
2.2.6. Heterofermentativas	13
2.2.7. Acción Antagónica	14
2.2.8. Ácido Láctico	14
2.2.9. Efecto Bactericida.....	14
2.2.10. Consorcio Microbiano B-Lac.....	15

2.2.11. Probióticos.....	16
2.2.12. Lactobacillus.....	16
2.2.13. Streptococos.....	17
2.2.14. Bidiformes.....	17
2.2.15. Melaza.....	18
2.2.16. Indicador Biológico.....	18
2.2.17. Indicadores de Contaminación Fecal.....	19
2.2.18. Coliformes Termotolerantes.....	19
2.2.19. Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos - CITRAR.....	20
2.2.20. Reactor Anaerobico de Flujo Ascendente con Manto de Lodo.....	21
2.2.21. Lodos Residuales.....	21
2.2.22. Lodos Residuales del Reactor UASB del CITRAR.....	22
2.2.23. Biosólidos.....	23
2.3. Definición de Términos Básicos.....	24
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL.....	25
3.1. Lugar de Ejecución.....	25
3.2. Recursos a Emplear.....	25
3.3. Procedimientos.....	26
3.3.1. Instalación Experimental.....	26
3.3.2. Determinación de la Disminución del pH.....	36
3.3.3. Determinación del Aumento de la Acidez Láctica.....	37
3.3.4. Determinación de la Remoción de Coliformes Termotolerantes.....	39
3.3.5. Determinación del Mejor Tratamiento.....	40
3.4. Resultados.....	42
3.4.1. Instalación Experimental.....	42
3.4.2. Determinación de la Disminución del pH.....	43
3.4.3. Determinación del Aumento de la Acidez Láctica.....	53
3.4.4. Determinación de la Remoción de Coliformes Termotolerantes.....	59
3.4.5. Determinación del Mejor Tratamiento.....	60
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	72

BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.....	25
Figura 2 Flujograma de actividades.....	30
Figura 3 Composición del Tratamiento Blanco (T0)	31
Figura 4 Composición del Primer Tratamiento (T1).....	31
Figura 5 Composición del Segundo Tratamiento (T2)	32
Figura 6 Composición del Tercer Tratamiento (T3).....	33
Figura 7 Composición del Cuarto Tratamiento (T4).....	34
Figura 8 Resumen de Tratamientos	35
Figura 9 Variación de pH - Tratamiento T1	43
Figura 10 Variación de pH - Tratamiento T2	45
Figura 11 Variación de pH - Activación Bacteriana T2	46
Figura 12 Variación de pH - Tratamiento T3	47
Figura 13 Variación de pH - Tratamiento T4	49
Figura 14 Variación de pH - Activación Bacteriana T4	50
Figura 15 Variación de pH.....	51
Figura 16 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T1	53
Figura 17 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T2	54
Figura 18 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T3	55
Figura 19 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T4	56
Figura 20 Variación de Acidez Láctica	57
Figura 21 pH vs Tratamiento - 15 avo Día.....	60
Figura 22 pH vs Tratamiento – 30 avo Día.....	61
Figura 23 Acidez Láctica vs Tratamientos - 15 avo Día	62
Figura 24 Acidez Láctica vs Tratamientos - 30 avo Día	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre el metabolismo de los Homofermentativas y los Heterofermentativas.....	13
Tabla 2 Análisis microbiológico del B-Lac	16
Tabla 3 Criterios para la categorización del Lodo Residual.....	23
Tabla 4 Variaciones del tratamiento de la investigación	29
Tabla 5 Medición del pH.....	36
Tabla 6 Medición de la Acidez Láctica	37
Tabla 7 Análisis de Coliformes Termotolerantes	39
Tabla 8 Valores de ponderación para pH	40
Tabla 9 Valores de ponderación para Ácidez Láctica.....	40
Tabla 10 Valores de ponderación para Coliformes Termotolerantes.....	41
Tabla 11 Condiciones Iniciales	42
Tabla 12 Características del Tratamiento T1	43
Tabla 13 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T1	44
Tabla 14 Características del Tratamiento T2.....	44
Tabla 15 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T2	45
Tabla 16 Características del Tratamiento T3.....	47
Tabla 17 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T3	48
Tabla 18 Características del Tratamiento T4.....	48
Tabla 19 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T4	49
Tabla 20 Resultados de Acidez Láctica – Repeticiones del Tratamiento T1	54
Tabla 21 Resultados de Acidez Láctica – Repetición del Tratamiento T2.....	55
Tabla 22 Resultados de Acidez Láctica - Repeticiones del Tratamiento T3.....	56
Tabla 23 Resultados de Acidez Láctica – Repeticiones del Tratamiento T4	57
Tabla 24 Resultados de Coliformes Termotolerantes.....	59
Tabla 25 Evaluación del Mejor tratamientos según Criterio Técnico	63
Tabla 26 Resumen de datos analizados – pH a los 15 días.....	64
Tabla 27 ANOVA para pH a los 15 días	64
Tabla 28 Resumen de datos analizados – pH a los 30 días.....	65
Tabla 29 ANOVA para pH a los 30 días	65
Tabla 30 Resumen de datos analizados – Acidez Láctica a los 15 días	66

Tabla 31 ANOVA para Acidez Láctica a los 15 días.....	66
Tabla 32 Resumen de datos analizados – Acidez Láctica a los 30 días	67
Tabla 33 ANOVA para Acidez Láctica pH a los 30 días	67
Tabla 34 Precios de materias primas del Tratamiento	68
Tabla 35 Costo para tratar 1 tonelada de Lodo Residual	68
Tabla 36 Selección de Tratamiento	69
Tabla 37 Coliformes según Tratamiento.....	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Medición de pH: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4.....	77
Anexo N° 2: pH de Activación Bacteriana: Tratamiento T2 y T4	78
Anexo N° 3: Medición De la Temperatura: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4.....	78
Anexo N° 4: Medición de Acidez Láctica: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4	79
Anexo N° 5: Análisis de coliformes Termotolerantes.....	80
Anexo N° 6: Panel Fotográfico	89

INTRODUCCIÓN

La minimización de los residuos sólidos es un reto ambiental necesario para el desarrollo sostenible, surgiendo la necesidad de poder hallar una alternativa viable para reducir su impacto en el ambiente. Para dicho fin, el reaprovechamiento o reciclaje de los residuos son la opción más factible.

Las plantas de tratamiento de agua residuales nos permiten reutilizar el agua residual, sin embargo, como todo proceso generan residuos, siendo uno de los más significativos los lodos residuales. Estos lodos están constituidos por materia orgánica y nutrientes, componentes que los hacen ideales para ser reciclados. Entre la gran variedad de sistemas de tratamiento y disposición de lodos, el uso de este desecho como acondicionador de suelos, ofrece muchas ventajas socioeconómicas (López, 2014). Para garantizar un adecuado manejo y reuso del lodo, las sustancias tóxicas y los microorganismos patógenos que posee, deben reducirse al mínimo (López, 2014).

El uso de las Bacterias Ácido Lácticas es un tratamiento sencillo y de bajo costo que se propone para estabilizar los lodos y eliminar los patógenos presentes, esto se logra gracias a la fermentación homoláctica de la glucosa y otros glúcidos producido por dichas bacterias, mediante el cual disminuyen de manera rápida el pH a un rango de 4 – 5 eliminando todo microorganismo que no soporte dichos valores, dentro de ellos los Coliformes Termotolerantes o Fecales.

En el proyecto se evalúa la eficiencia del tratamiento con Bacterias Ácido Lácticas en la remoción de coliformes termotolerantes presentes en los lodos residuales del Reactor UASB del CITRAR, con el fin de obtener una opción más eficiente a través de la evaluación de criterios técnicos, estadísticos y económicos, permitiéndonos obtener lodos de calidad A para un uso futuro sin restricción

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Las plantas de tratamiento de agua residual son una tecnología eficiente para el tratamiento de los efluentes domésticos e industriales, sin embargo, generan residuos denominados lodos residuales, que contienen un alto porcentaje de materia orgánica, nutrientes y compuestos nocivos como microorganismos patógenos. Estos lodos representan un alto costo para las plantas de tratamiento debido a que se debe brindar un tratamiento complementario para estabilizarlos y transportarlos a su disposición final (Cupe y Juscamaita, 2018).

Actualmente el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) trata efluentes domésticos a través de un sistema biológico, con el uso de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB). Los lodos residuales provenientes del UASB se deshidratan en el lecho de secado, sin recibir otro tratamiento adicional. Estos lodos residuales poseen grandes porcentajes de materia orgánica, macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de toda vida vegetal o para restaurar un suelo deteriorado. Si bien los biosólidos (lodos estabilizados) pueden ser usados como acondicionadores del suelo según la normativa D. S. N°015-2017-VIVIENDA, esto no es posible debido a que poseen un alto número de microorganismos patógenos (coliformes), los cuales indican contaminación fecal. Estos microorganismos no dañan a las plantas, pero si a las personas que entran en contacto directo o indirecto, causándoles severos problemas gastrointestinales (enfermedad diarreica aguda), infecciones oportunistas en el tracto respiratorio, infecciones de piel y tejidos blandos y otras enfermedades severas en el ser humano (Kopper, Calderón, Schneider, Domínguez y Gutiérrez, 2009).

Por los motivos mencionados anteriormente, es necesario un tratamiento sencillo y económico para poder eliminar los microorganismos patógenos (coliformes) de los lodos y reaprovecharlos como acondicionadores del suelo, evitando los gastos de su disposición final.

1.2. Justificación del Problema

Los Lodos residuales son residuos sólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Están compuestos por materia orgánica, macro y micronutrientes y algunos elementos traza. Actualmente reciben un acondicionamiento para estabilizarlos y ser llevados al relleno sanitario. La disposición final de estos residuos genera un costo que no es bien visto por las municipalidades y/o empresas, y una solución a esta problemática es su tratamiento y estabilización. Entre la gran variedad de sistemas de tratamiento y disposición de lodos, el uso de este desecho como acondicionador de suelos, ofrece muchas ventajas socioeconómicas (López, 2014).

Actualmente, según la normativa Peruana D.S.N°015-2017-VIVIENDA “Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”, los lodos excedentes del Reactor UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del CITRAR, se encuentran estabilizados mas no cumplen los parámetros de higienización debido a la alta concentración de coliformes presentes en dichos lodos, el cual lo imposibilitan ser clasificado como biosólidos.

Según estudios anteriores se ha demostrado que las especies de Bacterias Ácido Lácticas presentan una acción antagónica frente a otros patógenos, como los coliformes. Estas bacterias han sido utilizadas en distintas fuentes de materia orgánica, mayormente en materia sin degradación, pero en el caso del lodo del CITRAR, este ya se encuentra estabilizado, es por ello que se pretende realizar 4 variaciones al tratamiento clásico de las Bacterias Ácido Lácticas.

Este método no requiere de una gran inversión debido a que la mayor parte de los insumos usados son residuos orgánicos, además evita los gastos de manejo de lodos hasta su disposición final.

Es por ello que el presente trabajo plantea el uso de Bacterias Ácido Lácticas como tratamiento biológico, para evaluar la remoción de los coliformes presentes en dichos lodos.

1.3. Delimitación del Proyecto

1.3.1. Teórica

El objetivo del presente proyecto se basa en la eliminación de los Coliformes Termotolerantes presentes en los lodos residuales del CITRAR a través de 4 variaciones del uso de Bacterias Ácido Lácticas, con el fin de que puedan ser reaprovechados como mejoradores de suelo en estudios posteriores. En este proyecto se utilizó a los Coliformes Termotolerantes como indicador de Contaminación Fecal en los Lodos Residuales, por ser uno de los microorganismos más comunes en este tipo de lodos residuales, sin embargo, no es el único microorganismo presente en dichos lodos.

1.3.2. Temporal

La realización del proyecto comprende un periodo aproximado de 3 meses y medio, de enero a abril del 2019, dividido en las siguientes etapas:

- Fase de Gabinete: comprende la revisión literaria, bases conceptuales, diseño de la investigación y la planeación teórica del proyecto. Esta etapa tiene la duración de 1 mes, del 1 al 31 de enero del 2019.
- Fase de Campo: comprende la recolección de los insumos y materiales para la realización del proyecto, la parte experimental y el monitoreo de los parámetros estudiados. Esta etapa tiene la duración de aproximadamente 2 meses, del 1 de febrero al 25 de marzo.
- Fase de Gabinete II: Comprende la etapa de análisis e interpretación de los resultados obtenidos, asimismo, las conclusiones y recomendaciones del proyecto. Esta etapa tuvo una duración de 10 días, del 26 de marzo al 5 de abril del 2019.

1.3.3. Espacial

La recolección de los insumos y el desarrollo del proyecto se realizaron en los siguientes lugares:

- La materia prima del proyecto (lodos residuales) fue recolectada del Reactor UASB del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI – CITRAR), la melaza del establo de la Universidad

Nacional Agraria La Molina (UNALM) y el consorcio bacteriano B-Lac de la empresa NogaFer Perú.

- El desarrollo de la parte experimental del proyecto se realizó en la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), en un área adyacente al Vivero.
- El análisis de los parámetros de estudio se realizó en el laboratorio de Química General de la UNTELS y en el laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Mariano Tabusso de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

- ¿Es eficiente el uso de Bacterias Ácido Lácticas para la remoción de coliformes termotolerantes de lodos residuales del CITRAR?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿En qué medida disminuye el pH en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR?
- ¿En qué medida aumenta la Acidez Láctica en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR?
- ¿En qué medida disminuye la concentración de coliformes termotolerantes en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del tratamiento con Bacterias Ácido Lácticas para la remoción de coliformes termotolerantes en lodos residuales del CITRAR.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la disminución del pH en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR.
- Determinar el aumento de la Acidez Láctica en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR.
- Determinar la remoción de coliformes termotolerantes en el tratamiento de lodos residuales del CITRAR.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Segura, F. (2018) en su trabajo titulado “*Saneamiento y disposición de biosólidos provenientes de lodos sépticos residuales*” trata los lodos de un tanque séptico con dos tratamientos: Bacterias Ácido Lácticas, asistida por tres tipos de bacterias (*Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus* y Mix) en tres fuentes de carbono (zanahoria, melaza y dextrosa); y el encalado con cal, viva y apagada, siendo los coliformes totales su principal indicador de contaminación fecal. Segura realiza los tratamientos paralelamente para que tengan las mismas condiciones ambientales, en el caso de la fermentación láctica, el tratamiento se divide en dos etapas: la primera etapa es la aislación de las Bacterias Ácido Lácticas y la segunda etapa es la inoculación de esta bacteria en los lodos del tanque séptico; para el caso del encalado se realizaron las muestras en frascos de 50ml. Según sus resultados, las dosis óptimas para Bacterias Ácido Lácticas fue de 0.22 g dextrosa/g lodo y 0.20 g melaza/ g lodo, alcanzando un $pH_a \leq 3.89$ y un 100% de efectividad para la eliminación de coliformes, en caso de la cal, la dosis de 0.12 g CaO/ g lodo, alcanzo un $pH_b > 12$ y un 100% de efectividad para la eliminación del microorganismo indicador. Segura concluye que ambos tratamientos son eficaces en la remoción de bacterias nocivas como los coliformes, además la composición nutricional NPK de los lodos estudiados y fertilizante orgánico, es semejante al contenido nutricional encontrado en abonos orgánicos como el estiércol de vaca, vermicompost y gallinaza. Se evidencia el potencial beneficio para la nutrición de plantas si se considera la inocuidad del material.

Andreev, N., Ronteltap, M., Boincean B. y Lens, P. (2017) realizaron el estudio titulado “*Tratamiento de heces humanas con fuente separada mediante fermentación con Ácido Láctico combinada con compostaje termofílico*”. En el estudio se evaluó la eficacia de la lacto-fermentación combinada con el compostaje termofílico en la eliminación de patógenos de las heces humanas y los efectos posteriores al tratamiento en la germinación y el crecimiento del

rábano (*RapHanus sativus*) y los tomates (*Lycopersicum esculentum*) en comparación con la lacto-fermentación combinada con vermi-compostaje y el control. Ronteltap concluyó que el tratamiento de las Bacterias Ácido Lácticas con compostaje logró una reducción completa en la concentración de todos los indicadores bacterianos investigados, además la fertilización de semillas de rábano por compost obtenido después de la lacto-fermentación combinada con el compostaje termofílico condujo a un índice de germinación más alto que por el vermicast obtenido por lacto-fermentación y vermi-compostaje (90% versus 84%).

Anderson, et al. (2015) en su trabajo titulado “*Fermentación con Ácido Láctico, Adición de Urea y Cal: Métodos prometedores de desinfección de lodos fecales para saneamiento de emergencia*” estudio tres métodos de desinfección de lodos fecales: Fermentación Ácido Láctica, Tratamiento con Urea y Tratamiento con Cal para su aplicación en situaciones de emergencia. Según los resultados de las pruebas de campo de la investigación, indicaron que la Fermentación del Ácido Láctico podría reducir el recuento de *E. Coli* en el lodo fecal por debajo del límite de detección en 168 horas a pH 4.2 y mantener una concentración de Ácido Láctico de 47 g/L, el tratamiento *con 2.5% p/p de Urea* elimino las *E. coli* (CFU / mL) en 96 h con condiciones de pH 9.4 y concentraciones de amoníaco entre 4.5 y 5.8 g NH₃-N/L, el tratamiento con cal hidratada desinfectó el lodo fecal por debajo de los límites detectables dentro de 1 h para *E. coli* dentro de un pH > 11 y dentro de 2 h para coliformes totales en condiciones de pH > 11.5. Anderson concluyó que el tratamiento con cal hidratada era el tratamiento de saneamiento de emergencia preferido debido a sus ventajas operativas, como el corto tiempo de saneamiento y la estabilidad operacional bajo la variación de la temperatura. Sin embargo, para los sistemas de saneamiento a largo plazo el tratamiento con urea o Ácido Láctico puede ser más adecuado cuando el lodo fecal desinfectado se va a utilizar como fertilizante.

2.1.2. Nacionales

Cupe, B. y Juscamaita, J. (2018) en su proyecto titulado "*Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico*" realizaron un tratamiento biológico con el uso de Bacterias Ácido Lácticas con el objetivo de elaborar abono líquido acelerado a partir de lodos de PTAR de una industria cervecera. Para el estudio realizaron 24 tratamientos de diferentes proporciones de B-Lac (cultivo líquido que contiene bacterias probióticas del Ácido Láctico), melaza y lodo residual y un tratamiento control con tres repeticiones cada uno por un periodo de 30 días. Cada tratamiento contenía 500 g de la mezcla en envases de plásticos de 1 L de capacidad herméticamente cerrados e incubados a 40°C los 5 primeros días. Para la elección del mejor tratamiento, se tomó en cuenta que el pH debe ser menor a 4.5, no debe presentar malos olores ni olores fuertes, que no tengan formación de capas de microorganismos y por el grado de significación de la prueba estadística en cuanto al efecto de interacción de los factores Melaza y B-Lac sobre el parámetro pH y Ácido Láctico. Según sus resultados, concluyeron que el mejor tratamiento fue el T9 (20% de melaza, 5% B-Lac y 75% de lodo de PTAR), el cual presentó el menor valor de pH al quinto día, mayor porcentaje de Ácido Láctico, mantuvo su estabilidad por 30 días, no presentó presencia de coliformes totales, coliformes fecales ni parásitos, permitiendo el uso de los lodos como abono líquido.

Vargas, P. (2017) en su proyecto titulado "*Tratamiento del residuo de baños portátiles y elaboración de abono líquido mediante Bacterias Ácido Lácticas*" utiliza estas bacterias para reducir la carga microbiana de los lodos fecales de los baños portátiles de Disal S.A.C, con la finalidad de lograr su inocuidad para la salud y el ambiente, así como para permitir su uso como abono líquido. Para ello realiza un control y 15 tratamientos con diferentes proporciones de lodos fecales, B-Lac y melaza con el objetivo de encontrar la más favorable en reducción de patógenos (correlacionada con la reducción del pH), tiempo de tratamiento y economía (gasto de B-Lac). Cada unidad experimental consistió de 500g de combinación en recipientes de plásticos, incubados en la estufa a 40°C por 5 días. El mejor tratamiento según Vargas fue repetido dos veces, la

primera repetición a temperatura ambiente y la segunda repetición a mayor volumen y temperatura ambiente. Concluyendo según sus resultados, que el tratamiento B10M15 (75% de residuo de baños químicos, 10% de B-Lac y 15% de melaza), fue el más eficiente, teniendo una diferencia poco significativa cuando se realizó a 40°C y cuando estuvo a temperatura ambiente, logrando un 99.99% de reducción de coliformes totales y termotolerantes (fecales), así como ausencia de *Salmonella sp.* y *Vibrio cholerae* generando un abono líquido cuya carga microbiológica es inocua para la salud y el ambiente. Asimismo, el abono resultante presentó concentraciones de macronutrientes vegetales primarios (NPK) que cumplen con los valores nutricionales sugeridos para bioles.

Mindreau, E. et al. (2016) en su proyecto titulado “*Estabilización de heces humanas provenientes de baños secos por un proceso de fermentación Ácido Láctica*” realizaron un tratamiento para los residuos fecales (heces humanas provenientes de baños secos) mediante una estabilización acelerada de las heces por medio de la fermentación Ácido Láctico. Estudiaron veinticinco tratamientos por triplicado, cada tratamiento tuvo un porcentaje distinto de B-Lac, lodo fecal y melaza. El proyecto se realizó en dos etapas: la primera etapa fue un pretratamiento, en el que se diluían las heces con agua destilada en una relación de 5:1 y la segunda etapa fue el tratamiento con fermentación ácido láctica. Se utilizaron jarras de 4 litros de capacidad, teniendo cada una un volumen de trabajo de 3 litros, dejando 1 litro libre por seguridad para dar espacio a los gases generados en la degradación celular para la formación de biomasa durante el inicio del bio-proceso. Los tratamientos se realizaron a temperatura ambiente por 5 días. Para la selección del mejor tratamiento se analizó el menor pH, el aumento del porcentaje de Ácido Láctico, disminución de olores desagradables y/o generación de aroma aceptable, mejor consistencia, menor consumo de insumos (Inóculo: “Biolac”; Sustrato: melaza); y mejor rendimiento (un mayor porcentaje de heces estabilizadas por dosis y con menor consumo de insumos). Como conclusión se determinó el tratamiento de 2.5% de B-Lac y 10% de melaza el más eficiente, viable y seguro biológicamente, con estabilidad físico-química, de mejor rendimiento y ahorro en insumos, consiguiendo una reducción de patógenos del 99.9% y un tiempo muy corto de estabilización, 3 días.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Marco Legal

La normativa peruana contempla varios reglamentos para el manejo correcto de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.2.1.1. D.L.N° 1278 “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”

Según la presente ley, en su quinta disposición complementaria final, los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, son manejados como residuos sólidos no peligrosos, salvo en los casos que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento determine lo contrario.

2.2.1.2. D.S.N°015-2017-VIVIENDA “Reglamento para el Reaprovechamiento de los Biosólidos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”

El presente reglamento tiene por objeto establecer las disposiciones para determinar las características de los lodos; así como la clasificación, los parámetros para la producción y el control de la aplicación de los biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas o municipales. Tiene por finalidad promover el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR, que luego de ser transformados en biosólidos, pueden ser utilizados en actividades agrícolas, forestales, industria cerámica, entre otras, considerando los riesgos a la salud y el ambiente.

Artículo 11.- Ítem 11.2. Para el reaprovechamiento de los biosólidos de Clase A y/o de Clase B, los productores deben cumplir de forma conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización, de acuerdo a las condiciones establecidas en el presente Reglamento para cada tipo de biosólidos.

Los biosólidos del CITRAR actualmente cumplen con los parámetros de estabilización al provenir del Reactor UASB (M.O. < 60% de materia seca) y al ser lodos de una PTAR doméstica no sobrepasan los valores de los parámetros de Toxicidad Química, pero no cumplen con los parámetros de la higienización por lo que no pueden ser considerados como biosólidos.

Art. 14.- Ítem 14.4 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Ministerio de Agricultura y Riego, de considerarlo necesario, pueden solicitar el monitoreo de otros parámetros de higienización. Como alternativa para el Indicador de Contaminación Fecal Escherichia Coli se puede autorizar la utilización del parámetro de Bacterias Termotolerantes < 1000 NMP/ 1g ST, en caso de ser necesario.

La normativa de Perú exige que para la calidad A del lodo deben poseer coliformes termotolerantes < 1000 NMP/g para poder usarse sin ninguna restricción en campos agrícolas o suelos con contacto directo de la población.

2.2.1.3. R.M.N°128-2017-VIVIENDA “Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final”

La presente norma tiene como finalidad minimizar posibles impactos al ambiente, prevenir riesgos ambientales, proteger la salud y el bienestar de la persona y contribuir al desarrollo sostenible de los servicios de saneamiento.

Art. 16.- Reaprovechamiento de Lodo

Los generadores de lodos se encuentran facultados para realizar el reaprovechamiento y comercialización de conformidad con la normativa vigente vinculada a la gestión y manejo de residuos sólidos, así como a la prestación de los servicios de saneamiento.

La norma brinda las mínimas condiciones para el manejo adecuado de los lodos residuales desde su generación hasta su reaprovechamiento o disposición general.

2.2.1.4. R.M.N°093-2018-VIVIENDA “Protocolo de Monitoreo de Biosólidos”

El presente protocolo es la herramienta que brinda la orientación técnica necesaria para sustentar la producción de biosólidos y su reaprovechamiento adecuado de conformidad con lo establecido con el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

2.2.2. Fermentación

“La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico realizado por microorganismos, siendo el producto final un compuesto orgánico” (Bailón, 2012, p.17). Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones como:

- Fermentación Alcohólica
- Fermentación Acética
- Fermentación Láctica
- Fermentación cítrica
- Fermentación butírica

En el proceso de la Fermentación los microorganismos atacan primero a los carbohidratos (azúcares, alcoholes y ácidos, en ese orden), seguido de las proteínas y por último a las grasas. Los principales microorganismos fermentadores son las bacterias, hongos y las levaduras (Puerta, 2010).

Los procesos de fermentación han sido usados con el fin de preservar los alimentos y bebidas con sabores, texturas y aromas, en especial en productos lácteos como el yogurt y los quesos, sin embargo, actualmente se han desarrollado diversos antibióticos, medicamentos, ácidos y combustibles, con este proceso metabólico (Puerta, 2010).

2.2.3. Bacterias Ácido Lácticas

Las Bacterias Ácido Lácticas son un grupo de microorganismos cuya característica definitoria es la producción de Ácido Láctico a partir de la fermentación de azúcares. Son inocuas al ser humano. Estos organismos son inmóviles de forma esférica o bacilar, la gran mayoría son de tipo gram positivos y anaerobios facultativos (Stainer et al., 1992, citado por Buchelli, 2014).

Las Bacterias Ácido Lácticas son bacterias ácidas tolerantes pudiendo crecer a valores de pH tan bajos como 3.2, aunque la mayoría de ellas crece a un pH entre 4 a 4.5, permitiéndoles sobrevivir naturalmente en medios donde otras bacterias no soportarían el aumento de la actividad producida por los ácidos orgánicos (Carr, Chill y Maida, 2002).

Las Bacterias Ácido Lácticas son muy utilizadas en tecnologías de productos alimenticios, siendo sus “principales funciones: formación de sabor ácido, inhibición de organismos patógenos, gelificación de la leche, reducción del contenido de lactosa, formación de aroma, entre otros” (Parra, 2010, p.6).

Las Bacterias Ácido Lácticas pertenecen al *pHylum Firmicutes* que comprende alrededor de 20 géneros, siendo sus principales miembros los siguientes: *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterotococcus*, *Oenococcus*, *tetragenococcus* y *Weisella*. De estas bacterias el *Lactobacillus* es el género más grande que posee, mientras que el *Bifidobacterium* no está relacionado filogenéticamente, pero se considera dentro de las Bacterias Ácido Lácticas (Parra, 2010).

2.2.4. Metabolismo Fermentativo

El principal metabolismo de las Bacterias Ácido Lácticas para generar energía en una célula es la fermentación (fosforilación a nivel de sustrato). Esto se debe a que estas bacterias no poseen las moléculas porfirinas ni citocromos, por lo que les imposibilita la realización de la respiración oxidativa (fosforilación oxidativa), mecanismo a través del cual generarían mayor formación de moléculas ATP (Vargas, 2017).

La principal clasificación de las Bacterias Ácido Lácticas se debe a su modo de fermentación: homofermentativas o heterofermentativas (también llamadas homolácticas o heterolácticas, respectivamente), causada por la ausencia o presencia de la enzima Aldolasa.

2.2.5. Homofermentativas

Las bacterias homofermentativas poseen la enzima aldolasa y producen únicamente Ácido Láctico de la fermentación de la glucosa utilizando la vía de glucólisis (Embden-Meyerhof), no producen o es mínima la producción de dióxido de carbono. Los productos de esta fermentación son dos moles de ATP por mol de hexosa fermentada (Ramírez *et al.*, 2011). En la fermentación homolácticas los *Lactobacillus* están formados por: *acidophilus*, *helveticus*, *delbrueckii subsp delbrueckii*, *thermophilus* (Ramírez *et al.*, 2011).

2.2.6. Heterofermentativas

Las bacterias heterofermentativo, al carecer de la enzima aldolasa producen una mezcla de compuestos, fundamentalmente lactato, etanol y dióxido de carbono al fermentar la glucosa, siguiendo la ruta de las pentosas fosfato o vía de la fosfocetolasa, a través de la cual libera un mol de ATP por mol de glucosa consumida (Madigan *et al.*, 2004; citado por Vargas, 2017). “En la fermentación Heteroláctica los *Lactobacillus* están formado por: *plantarum*, *ramnosus*, *coryneformis*, *curvatus*, *casei*, *paracasei*, *brevis*, *buchneri*, *fermentun*, *kéfir*, *reuteri*, *leuconostoc*” (Ramírez *et al.*, 2011, p2).

Tabla 1 Diferencias entre el metabolismo de los Homofermentativas y los Heterofermentativas.

Homofermentativas	Heterofermentativas
No poseen la enzima aldolasa	Poseen la enzima aldolasa
Siguen la vía de Glucólisis	Siguen la vía de Fosfocetolasa
Mayormente no producen CO ₂	Producen CO ₂
Produce Ácido Láctico	Produce Lactato y etanol
Produce 2 moles de ATP	Produce un mol de ATP

Fuente: Elaboración propia

2.2.7. Acción Antagónica

Las Bacterias Ácido Lácticas son conocidas por producir durante su crecimiento sustancias que inhiben el crecimiento de otros microorganismos, destruyendo bacterias indeseables o patógenas. Los principales mecanismos de antagonismo microbiano de las Bacterias Ácido Lácticas son la competencia de nutriente en la formación de Ácido Láctico y acético con el consiguiente descenso de pH, así como también por la producción de peróxido de hidrógeno en condiciones aerobias y/o por la producción de bacteriocinas (García, 2008).

La acción antagónica de las BAL previene la adherencia, establecimiento, replicación y/o acción patogénica de enteropatógenos en específicos, tales como: *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, entre otros (Vargas, 2017).

2.2.8. Ácido Láctico

El Ácido Láctico es el principal producto del metabolismo de las Bacterias Ácido Lácticas, en especial de las homofermentativas, las cuales transfieren el hidrogeno formado por acción de la fosfotriosa-deshidrogenasa al ácido pirúvico con ayuda de la nicotinamida-adenina-dinucleotido (NAD) y lo transforma en Ácido Láctico. Las homofermetativas producen más de 85% de Ácido Láctico a partir de la glucosa, mientras que los heterofermantivos producen solo el 50% (Parra, 2011).

El Ácido Láctico producido por las BAL acidifica el medio en el que se encuentran inhibiendo el crecimiento de las bacterias patógenas que crecen a pH neutro o alcalino, debido a que provoca “un gradiente electroquímico que genera el bombeo de protones hacia el interior de la célula y una consecuente desestabilización de la membrana celular” (Meza, 2014; Pereyra y Perla 2011, citado por Vargas, 2017, p.9).

2.2.9. Efecto Bactericida

“Las bacteriocinas son moléculas que tienen estructura tipo péptido o proteína biológicamente activas, las cuales presentan acción bactericida sobre

receptores específicos de las células” (Vásquez et al., 2009, p.4). Este efecto bactericida está producido por sustancias que son secretadas por los organismos como medios defensivos contra las bacterias. “El efecto físico o lítico (Lisis) en las bacterias, provocan una reducción en la población bacteriana en el huésped o en el uso de sensibilidad microbiana” (Vargas, P., 2017, p.10).

Se ha demostrado que la producción de bacteriocinas es un fenotipo ampliamente predominante en este grupo de bacterias (Ramírez *et al.*, 2011), produciendo la bacteriosina Nisina A, que inhibe el crecimiento de una amplia gama de bacterias grampositivas. Estas son sintetizadas en el ribosoma de las Bacterias Ácido Lácticas que se producen durante o al final de la fase logarítmica del desarrollo, son estables a pH ácido o neutro lo cual indica la adaptación al entorno natural de las bacterias que las producen (Vásquez *et al.*, 2009).

2.2.10. Consorcio Microbiano B-Lac

El Consorcio Microbiano Ácido-Láctico o “B-Lac”, es un cultivo líquido que contiene bacterias probióticas del tipo de las Bacterias Ácido Lácticas, en especial los géneros *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Bifidobacterium*. Este compuesto fue desarrollado en Perú por el laboratorio de Biotecnología Ambiental y Biorremediación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (García, 2008).

En este consorcio hay total ausencia de mohos, coliformes fecales y coliformes totales, debido al pH ácido (pH de 3.5,) por la formación de Ácido Láctico que producen las bacterias probióticas, además producen bacteriocinas y peróxido de hidrógeno previniendo el crecimiento de microorganismos patógenos (García, 2008).

Estas bacterias sólo crecen en medios ricos en vitaminas, bases nitrogenadas y fuentes de carbono, por ello, se suele utilizar melaza, dextrosa u otros insumos similares como alimento para las BAL (Ramírez et al, 2005).

Tabla 2 Análisis microbiológico del B-Lac

Análisis Microbiológico	Resultado
Recuento de Lactobacillus sp. (UFC/ml)	7×10^7
Recuento de levaduras (UFC/ml)	2.5×10^5
Recuento de mohos (UFC/ml)	<10
Recuento de bacterias mesófilas viables (UFC/ml)	3.3×10^4
Recuento de coliformes totales (NMP/ml)	< 3
Recuento de coliformes fecales (NMP/ml)	< 3

Fuente: García (2008), citado por Buchelli (2014)

Nota: los valores < 3 y < 10 significan ausencia.

2.2.11. Probióticos

Un probiótico es considerado como un microorganismo vivo que beneficia al hospedador brindándole mejoras en su salud. Generalmente se utilizan para la elaboración de alimentos, siendo los más utilizados todos aquellos que producen Ácido Láctico, entre los que destacan los Lactobacillus y las bifidobacterias. “Los probióticos son utilizados también para combatir bacterias patógenas, hasta incluso aquellas que son resistentes a antibióticos” (Collins 1999, citado por Cabezas, 2009, p.2).

Según Cabezas (2009), las principales características de un probiótico son:

- No ser patógeno
- Ser resistente a los ácidos del intestino y la bilis
- Tener la capacidad de influir en las actividades metabólicas
- Poseer un número alto de células viables
- Permanecer viable durante su almacenamiento y uso.

2.2.12. Lactobacillus

Los lactobacillus son bacterias con forma de varillas rectas o curvas, que se presentan aisladas, por parejas o en cadenas cortas. Son inmóviles y Gram positivas. Estas bacterias son anaerobios o anaerobios facultativas. Metabolizan los carbohidratos dando como producto final Ácido Láctico. Crecen en superficie sobre medio sólido, favoreciéndose su crecimiento en anaerobiosis al 5 % al 10 % de CO₂. El intervalo de temperatura y de pH

óptimo de crecimiento se sitúa entre 35 - 38 °C y 5 - 5.8 respectivamente, pero pueden soportar condiciones diferentes a las mencionadas. Los Lactobacillus tienen unas necesidades nutritivas complejas para su crecimiento: carbohidratos, nucleótidos, aminoácidos y vitaminas (Álava, Gómez de Illera, y Maya, 2014)

Los Lactobacillus son más resistentes a condiciones ácidas que otras Bacterias Ácido Lácticas, ya que son capaces de crecer eficientemente a valores de pH hasta 4; es esta resistencia a la acidez lo que les permite continuar creciendo durante la fermentación láctica, incluso cuando otras Bacterias Ácido Lácticas ya no pueden hacerlo; por tanto, los Lactobacillus son responsables de los últimos estadios de los procesos de la mayoría de fermentaciones lácticas (Madigan, Martinko, Dunlap y Clark, 2009).

2.2.13. Streptococos

Son células esféricas de unas 0,8 micras (μm) de diámetro que se presentan en cadenas; pueden encontrarse con frecuencia en los productos lácteos y algunos son patógenos muy potentes. (Madigan M., Martinko J., Dunlap P., Clark D., 2009). Estas bacterias pueden encontrarse como parte de la microbiota normal de los seres humanos, en la piel, boca, tracto respiratorio y tracto gastrointestinal (Madigan, Martinko, Dunlap y Clark, 2009).

2.2.14. Bidiformes

Según Mandigan, Martinko, Dunlap y Clark (2009), “los bidiformes son bacterias de forma celular corineforme común; no filamentosa y forman microcolonias lisas. Se encuentran en el tracto intestinal de lactantes alimentados con leche materna” (p.12). Estas bacterias son uno de los mayores géneros de bacterias saprófitas de la flora intestinal que residen en el colon. Ayudan en la digestión, y están asociadas con una menor incidencia epidemiológica de alergias; siendo algunas usadas como probióticos (Torres, 2013).

2.2.15. Melaza

Las melazas, mieles finales o melazas “blackstrap” son los residuos de la cristalización final del azúcar, del cual ya no se puede extraer más azúcar por medios físicos. “El proceso de evaporación y cristalización es usualmente repetido tres veces hasta el punto en el cual el azúcar es invertido y la alta viscosidad de las melazas ya no permiten una cristalización adicional de la sacarosa” (Fajardo y Sarmiento, 2007, p.4).

La melaza es una mezcla de componentes fermentables como sacarosa, azúcar invertido, sales y otros compuestos solubles en álcali, y componentes no fermentables (sustancias reductoras) como caramelos libres de nitrógeno producidos por el calentamiento requerido por el proceso y las melanoides que contienen nitrógeno derivados de los productos de condensación del azúcar y aminocompuestos (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.2.16. Indicador Biológico

Los microorganismos indicadores son aquellos que poseen un comportamiento similar a los patógenos como en su concentración y la forma en cómo reaccionan frente a factores ambientales y/o barreras artificiales, pero estos microorganismos son más rápidos, económicos y fáciles de identificar (Larrea, Rojas, Romeu, Rojas y Heydrich, 2013).

Una vez que se ha evidenciado la presencia de tratamientos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador (Jofré, 2011). “Los indicadores son usados para reflejar el estado del ambiente, revelar evidencias de impactos ambientales o para indicar la diversidad de otras especies, tratamientos o comunidades de un área” (Jofré, 2011, p.12)

Los principales criterios para considerar un organismo como indicador son:

- Sea específico en la fuente o medio

- Responda a condiciones ambientales o procesos de tratamiento de manera similar a los patógenos de interés
- El indicador debe ser fácil de aislar, identificar y cuantificar.

2.2.17. Indicadores de Contaminación Fecal

Son microorganismos utilizados para identificar el control o estado de la calidad sanitaria de los recursos del medio ambiente. Estas bacterias pueden ser utilizadas para evaluar la calidad de los alimentos, sedimentos y a las aguas destinadas para consumo humano, la industria, la agricultura y la recreación (Larrea, Rojas, Romeu, Rojas y Heydrich, 2013). No existe un indicador universal, por lo que se debe seleccionar el más apropiado para la situación específica en estudio. Los indicadores de contaminación fecal más utilizados son los coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y Enterococos.

Según la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración de Agua (2005) un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Resistir las mismas condiciones de los microorganismos patógenos intestinales.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.

2.2.18. Coliformes Termotolerantes

Los coliformes totales son un grupo de bacterias gramnegativas, saprófitas independientes y parásitos intestinales de forma bacilar, las cuales fermentan la lactosa a temperaturas de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas anhídrido carbónico. Dentro del grupo de las bacterias coliformes, se encuentran las coliformes fecales o termotolerantes (llamadas así puesto que soportan

temperaturas hasta de 45°C), las cuales se encuentran en el intestino de los animales de sangre caliente y son eliminadas en gran número con las heces (Carrillo y Lozano, 2008). Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*.

El grupo de bacterias coliformes fecales es adecuado como indicador de contaminación bacteriana de origen fecal debido a que está presente en grandes cantidades en el tracto gastrointestinal de los animales de sangre caliente (que incluyen al ser humano), permanece por más tiempo en una muestra de agua que las bacterias patógenas y se comporta de igual manera que las mismas en un sistema de tratamiento (Arcos, Ávila, Estupiñán y Gómez, 2005). Por lo tanto, “la presencia de este grupo de microorganismos es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición” (Hachich, 2012, p.3).

2.2.19. Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos - CITRAR

CITRAR es un Centro de Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería cuyo objetivo principal es el estudio y desarrollo de tecnologías en el campo de aguas residuales.

Posee una PTAR que trata los efluentes domésticos de dos Asentamientos Humanos de su alrededor: “El Ángel” y “El Milagro”. Su PTAR está constituido por un pretratamiento (rejas y desarenador), tratamiento primario (Reactor UASB), tratamiento secundario (laguna facultativa) y tratamiento terciario (lagunas de oxidación).

Asimismo, posee un lecho de secado en el cual se depositan los lodos del Reactor UASB y de las lagunas, para luego cuando alcancen la menor humedad posible sean trasladado a un relleno sanitario.

2.2.20. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodo

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodo (Reactor UASB) es una tecnología que consiste básicamente de un Tanque Imhoff, "al revés", presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas.

El Reactor posee 3 zonas bien definidas:

- Zona de lecho de lodos, en la cual se concentran los microorganismos que van a biodegradar el material orgánico presente en el agua residual a tratar.
- Zona donde se encuentran dispersos los microorganismos a lo largo del UASB.
- Zona de separación gas - líquido - sólido.

El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo microbiológico. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas (principalmente metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos (Yaniris, y Obaya, 2006).

Debido a la degradación microbiológica que ocurre dentro del Reactor, los lodos residuales provenientes de dicha tecnología están estabilizados, es decir la relación de sólidos volátiles (SV) a sólidos totales (ST) es menor o igual que sesenta por ciento (60%).

2.2.21. Lodos Residuales

Según la normativa peruana, los lodos residuales son aquellos residuos provenientes de procesos de tratamiento de agua, que cuentan con alta concentración de materia orgánica, característica que se aplica principalmente a los lodos primarios y secundarios, así como en las excretas de instalaciones sanitarias in situ.

Los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de las tecnologías que posea la planta para tratar las aguas residuales. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se

generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario.

- Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal (Limon, 2013).
- Los lodos secundarios se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o substratos solubles en biomasa. También incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa (Limon, 2013).

Según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, los lodos residuales de las PTAR son considerados como “No Peligrosos”, por lo que, la mayor parte de los operadores de estos residuos optan por disponerlos en rellenos sanitarios después de haber reducido al mínimo su contenido de humedad, y en el mejor de los casos, los tratan con alguna tecnología de estabilización que permita reducir su masa, volumen, patógenos y los olores que presentan, para usarlos como acondicionadores del suelo, resultando muchas veces menos costosos que el transporte al relleno sanitario. Las tecnologías más comunes para la estabilización de lodo son:

- Compostaje
- Digestión aerobia
- Digestión Anaerobia
- Tratamiento químico: adición de cal

2.2.22. Lodos Residuales del Reactor UASB del CITRAR

Los lodos del Reactor UASB del CITRAR son lodos secundarios debido a que son resultados de un tratamiento biológico. Estos lodos son purgados cada 6 meses. La purga consiste en la eliminación de una parte de los lodos del Reactor al lecho de secado. El Reactor posee una tubería que conecta el fondo del Reactor con el lecho, por el cual se purgan los lodos más antiguos del Reactor. Actualmente en CITRAR se realizan proyectos para el reaprovechamiento de estos lodos residuales, entre los que destacan:

- Compostaje a través de pilas aireadas por volteo.
- Adición de cal
- Adición de cemento

2.2.23. Biosólidos

Según normativa peruana, los biosólidos son el subproducto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su reaprovechamiento como acondicionador del suelo. No son biosólidos las cenizas producto de la incineración de lodos.

Según el D.S.N° 015-2017-VIVIENDA, un lodo residual será clasificado como biosólidos cuando cumplan los parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización. De acuerdo al grado de cumplimiento serán clasificados como biosólidos de clase A o B.

- Biosólidos de clase A: Son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias.
- Biosólidos de clase B: Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

La clasificación del tipo de Biosólidos depende del cumplimiento de los criterios mostrados en la tabla 3, según el D.S.N°015-2017-VIVIENDA:

Tabla 3 Criterios para la categorización del Lodo Residual

Criterios	Biosólido Clase A	Biosólido Clase B
Estabilización	Materia orgánica (SV) ≤ 60% de Materia seca (ST)	
Toxicidad Química	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arsénico < 40 mg/Kg ▪ Cadmio < 40 mg/Kg ▪ Cromo < 1200 mg/Kg ▪ Cobre < 1500 mg/Kg 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plomo <400 mg/Kg ▪ Mercurio <17 mg/Kg ▪ Níquel < 400 mg/Kg ▪ Zinc < 24000 mg/Kg
Higienización	<p><i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST o <i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP / 10g ST o Coliformes fecales <1000 NMP/g (Solo en caso de ser necesario)</p>	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II.

Fuente: D.S.N°015-2017-VIVIENDA

2.3. Definición de Términos Básicos

- Acondicionador de suelo: Toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento de las características físicas, químicas y/o biológicas.
- Agentes patógenos: Son las bacterias, protozoarios, hongos, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades y epidemias en el ser humano.
- Concentración de contaminante: Es la característica relacionada necesariamente al peso seco (Sólidos Totales - ST) del lodo residual o biosólido. La concentración de los indicadores para la contaminación fecal está medida en No o NMP (número más probable) por kg ST y las concentraciones de los metales pesados están medidas en mg por kg ST.
- Estabilización de lodo: Es el proceso de reducción de fracción orgánica (Sólidos Volátiles) con relación a la materia seca (Sólidos Totales) para controlar la degradación biológica en el producto, los potenciales de generación de olores, de atracción de vectores y de patogenicidad, aplicados a lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Humedad: Es la concentración de agua contenida en los lodos y biosólidos.
- Higienización: Es el proceso de reducción de concentraciones de patógenos e indicadores de contaminación de origen fecal de acuerdo con los niveles establecidos en el D.S.N°015-2017-VIVIENDA.
- Reaprovechamiento: Es el proceso a través del cual se vuelve a obtener un beneficio del biosólido, permitiendo su reutilización para otros fines.
- Sólidos Totales (ST): Es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar un peso constante. El valor que se ha evaporado en este proceso corresponde a la humedad.
- Sólidos Volátiles (SV): Son los sólidos orgánicos presentes en los Sólidos Totales (ST) que se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Lugar de Ejecución

El proyecto se realizó en los laboratorios de Biología y Química General de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicada en Sector 3 Grupo 1A 03, Av. Central, Villa EL Salvador 042.

Figura 1 Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur



Fuente: Google Earth

3.2. Recursos a Emplear

Para la realización del presente proyecto de investigación se utilizaron los siguientes recursos:

a) Materia Prima

- Lodos residuales
- Bacterias Ácido Lácticas (Consortio bacteriano B-Lac)
- Melaza

b) Para los recipientes

- Recipientes de plástico de 1L de capacidad
- Bolsas plásticas
- Ligas de hule

c) Para el monitoreo y análisis

Materiales:

- Soporte universal
- Baguetas
- Matraz de Erlenmeyer
- Bureta
- Pinzas
- Embudo
- Balanza
- Guantes
- Papel Tissue
- Mascarilla

Equipos

- pHmetro
- Termómetro Ambiental

Reactivos

- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio
- Agua destilada

3.3. Procedimientos

3.3.1. Instalación Experimental

Adquisición de materia prima

- Se recolectó el lodo residual del Reactor UASB del CITRAR a través de botellas plásticas de 3L de capacidad previamente lavadas y desinfectadas. El lodo fue purgado del Reactor en el momento de su recolección, por lo que se considera lodo fresco y sin tratamiento previo. Para la preparación de los tratamientos se trasladó en total 6L de lodo.
- Las Bacterias Ácido Lácticas se adquirieron a través del consorcio bacteriano B-Lac de la empresa Nogafer Perú.
- La melaza fue adquirida del establo de la Universidad Nacional Agraria de La Molina.

Preparación de los tratamientos

- Inicialmente se midió el pH y la Acidez Láctica del B-Lac, la melaza y el lodo residual, a este último también se le midió la concentración de coliformes termotolerantes que posee. A los insumos mencionados también se les midió la densidad, dato usado para el cálculo del costo de los tratamientos.
- Se realizaron 4 tratamientos utilizando como referencia el mejor tratamiento de Cupe, B. & Juscamaita, J. (2018), el cual estuvo compuesto por 5% B-Lac, 20% de melaza y 75% de lodo de PTAR.
- Cada tratamiento se realizó por triplicado, para minimizar el margen de error.
- Los tratamientos variaron en la activación de las bacterias, a través del uso de agua y en la agregación extra de melaza como fuente de carbono.
 - i) *Activación bacteriana*: Es la mezcla de bacterias, melaza y agua, en la cual la proliferación de bacterias solo tuvo como fuente de carbono a la melaza, y el agua fue el medio en el que se desarrollaron. Esta mezcla será agregada al lodo residual en el inicio del tratamiento.
 - ii) *2da Inserción de melaza*: A los 15 días del tratamiento se agregó nuevamente un porcentaje de melaza según lo establecido en el proyecto.
- Los 4 tratamientos trataron la misma cantidad de lodo residual variando en los otros insumos.
- Los tratamientos se realizaron de la siguiente manera:

Según la activación bacteriana:

 - i) Primer tratamiento: la inoculación bacteriana se hace directamente con el lodo a tratar (*Sin activación bacteriana*).

Se realizó la mezcla en base a 500g:

25g de B-Lac (5%) + 100g de melaza (20%) + 375g de lodos (75%).
--

Primero se agregó el lodo a los recipientes seguido de la melaza y por último el consorcio microbiano, homogenizándose con una bagueta.

- ii) Segundo tratamiento: no se inocula las bacterias directamente sino se las activa con agua antes de tener contacto con el lodo a tratar. Este tratamiento se realizó en base a un peso de 625g, en el que se mantuvo los mismos pesos que el primer tratamiento y solo vario la adición del agua destilada. Este tratamiento se dividió en las siguientes etapas: Primero se preparó el inoculo bacteriano a través de la activación de las bacterias. El inoculo bacteriano represento el 40% del total del segundo tratamiento y estuvo compuesto por:

25g de B-Lac (10%)* + 100g melaza (40%)*+ 125g de agua destilada (50%)*.

*Los porcentajes representan parte del total del inoculo bacteriano, no del total del tratamiento.

Después de 10 días, cuando la mezcla tuvo un valor de pH entre 3.5 a 4, se agregó la misma cantidad de lodo que el primer tratamiento (375g), representando en este tratamiento 60% del total.

Según la inserción de fuente de carbono:

- i) El tercer y cuarto tratamiento fueron una repetición del 1er y 2do tratamiento respectivamente, pero a los 15 días del inicio de los tratamientos se les adicionó 50g de melaza, representando 10% para el tercer tratamiento y 8% para el segundo.
- ii) Se preparó un Tratamiento blanco T0 con la misma cantidad de lodo a tratar en todos los tratamientos, 375 g, representando el 100% del tratamiento.

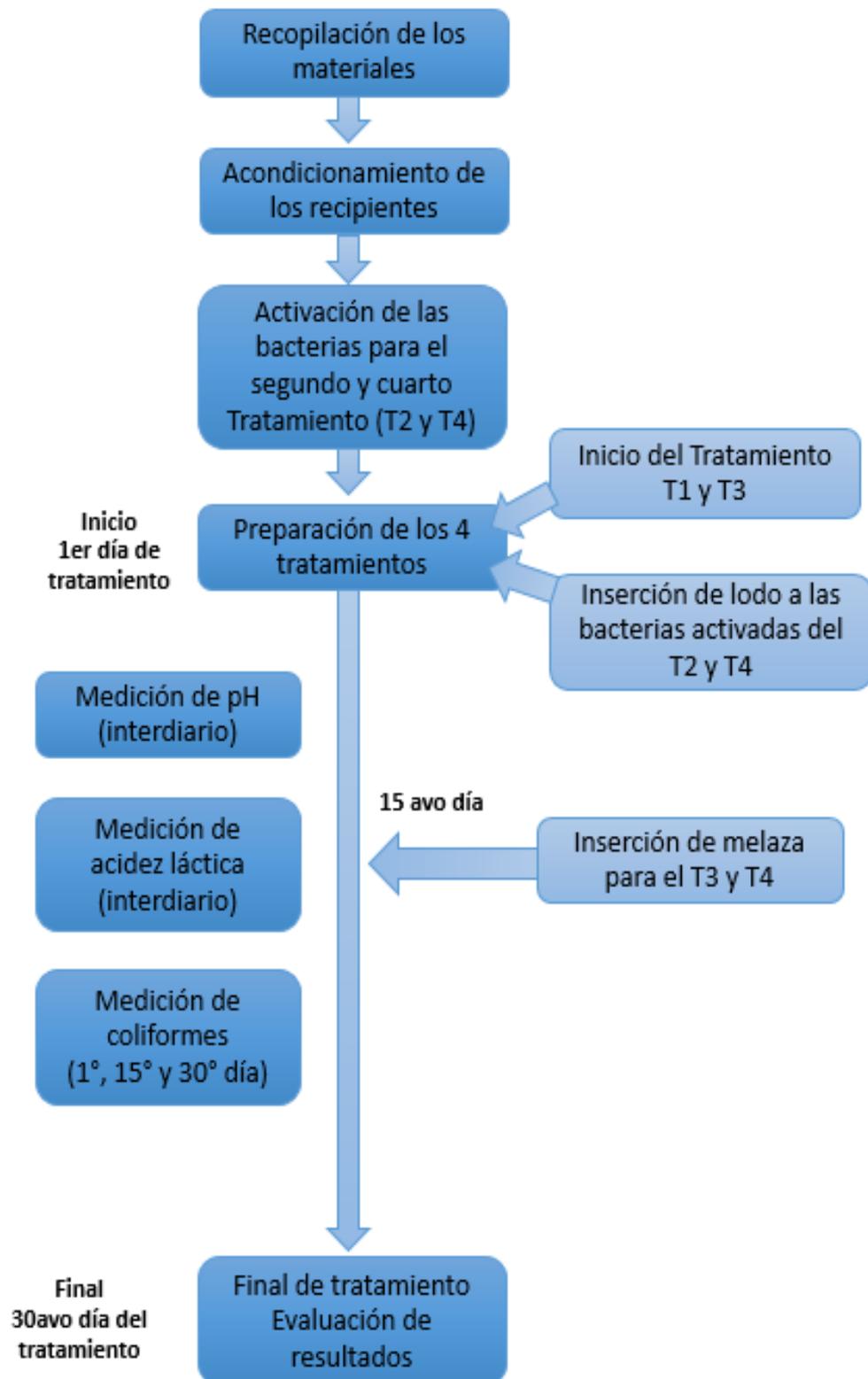
Tabla 4 Variaciones del tratamiento de la investigación

Tratamiento	T0	T1	T2	T3	T4
Según la activación bacteriana	Lodo residual 375g (100%)	Sin Activación Bacteriana. Se mezcló 25g B-Lac (5%)+ 100g melaza (20%)+ 375 de lodo (75%)	Activación Bacteriana: Se mezcló 25g B-Lac (10%)+ 100g melaza (40%) + 125g agua (50%)	Si Activación Bacteriana: Se mezcló 25g B-Lac (5%)+ 100g melaza (20%)+ 375 de lodo (75%)	Activación Bacteriana: Se mezcló 25g B-Lac (10%)+ 100g melaza (40%) + 125g agua (50%)
			Cuando la mezcla llego a un pH entre 3.5 a 4 se agregó 375 g de lodo (75%)		Cuando la mezcla llego a un pH entre 3.5 a 4 se agregó 375 g de lodo (75%)
Según 2da Inserción de melaza		No hay inserción	No hay inserción	Se agregó 50g (10%) más de melaza	Se agregó 50g (8%) más de melaza

Fuente: Elaboración propia

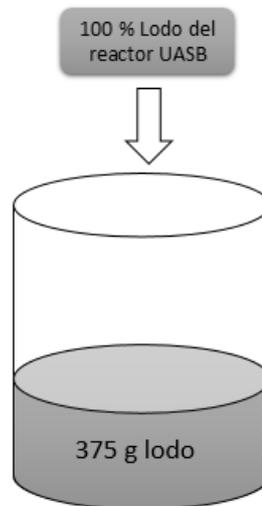
- Los tratamientos se realizaron en recipientes de plástico de 1L de capacidad, pintados de negro y cubiertos en la superficie con una bolsa plástico antes de colocarles la tapa, para simular un ambiente anaeróbico.
- Se pesó cada insumo según lo establecido en cada tratamiento y se agregó a los recipientes previamente lavados. Dentro de cada recipiente se homogenizo los insumos con el uso de una bagueta.
- Los tratamientos se iniciaron con la activación de las bacterias, es decir, se comenzó con el segundo y cuarto tratamiento. Después de 10 días y que estos tratamientos alcanzaron un pH entre 4 - 3.5, se inició el primer y tercer tratamiento, asimismo, se agregó el lodo residual al segundo y cuarto tratamiento.
- Los tratamientos tuvieron la duración de 30 días, iniciados desde la preparación del primer y tercer tratamiento y la inserción de lodo en el segundo y cuarto tratamiento.

Figura 2 Flujoograma de actividades



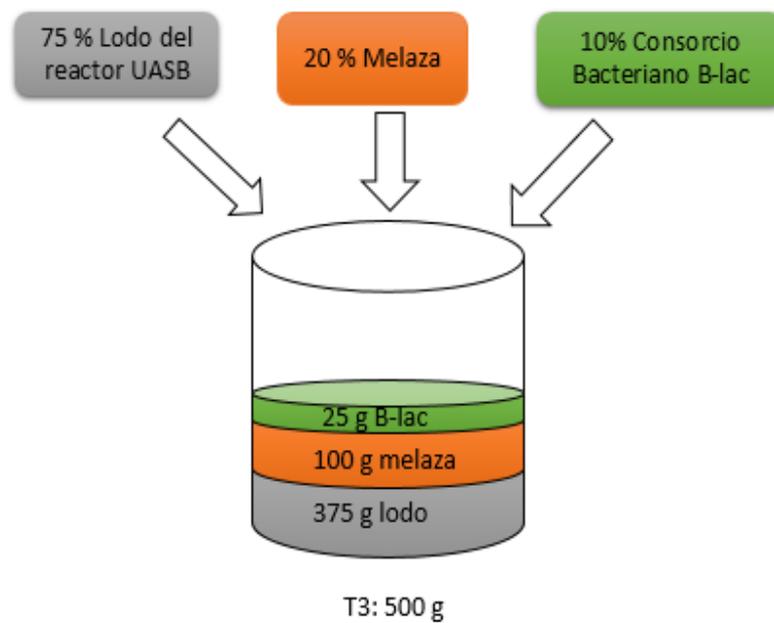
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3 Composición del Tratamiento Blanco (T0)



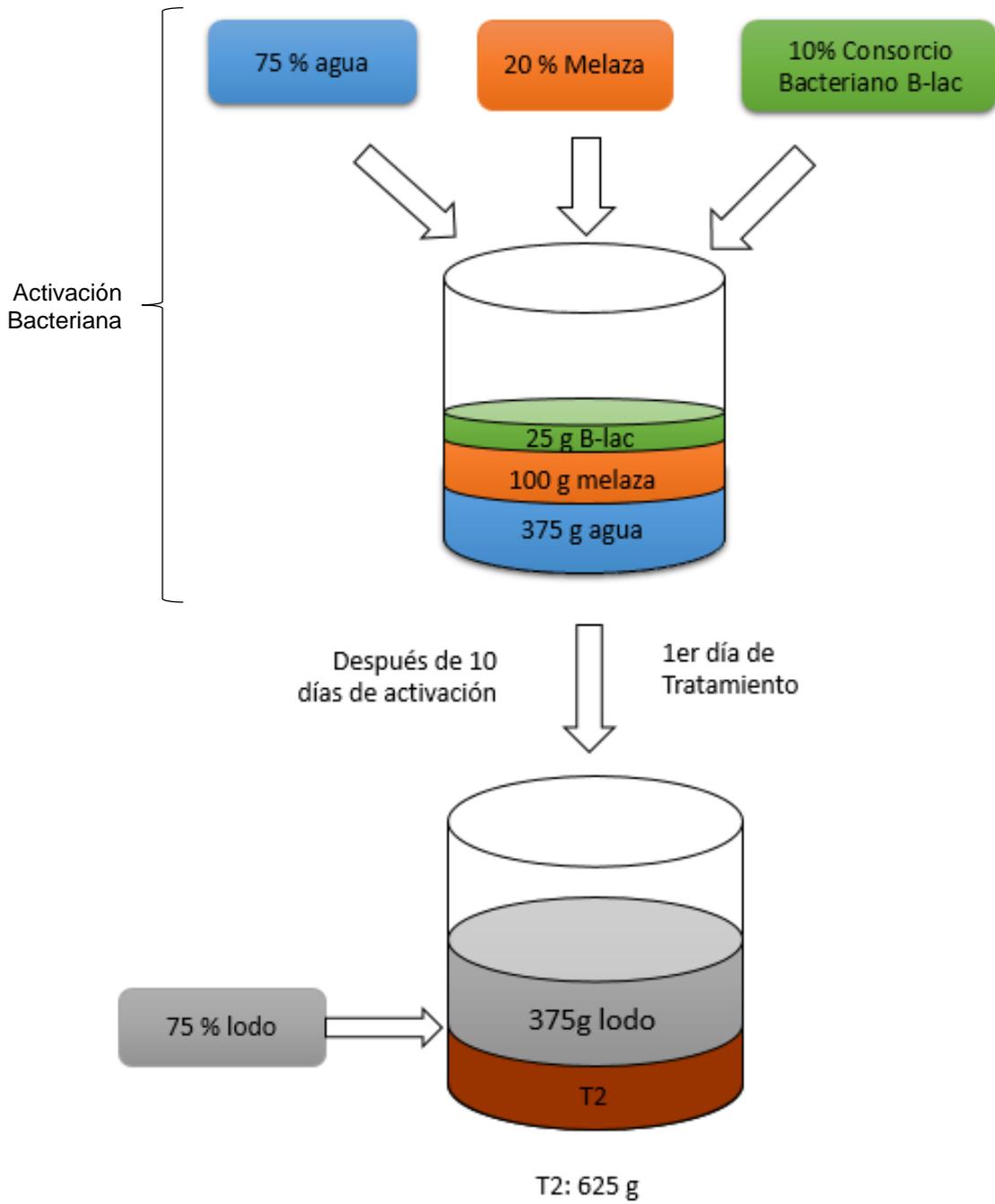
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4 Composición del Primer Tratamiento (T1)



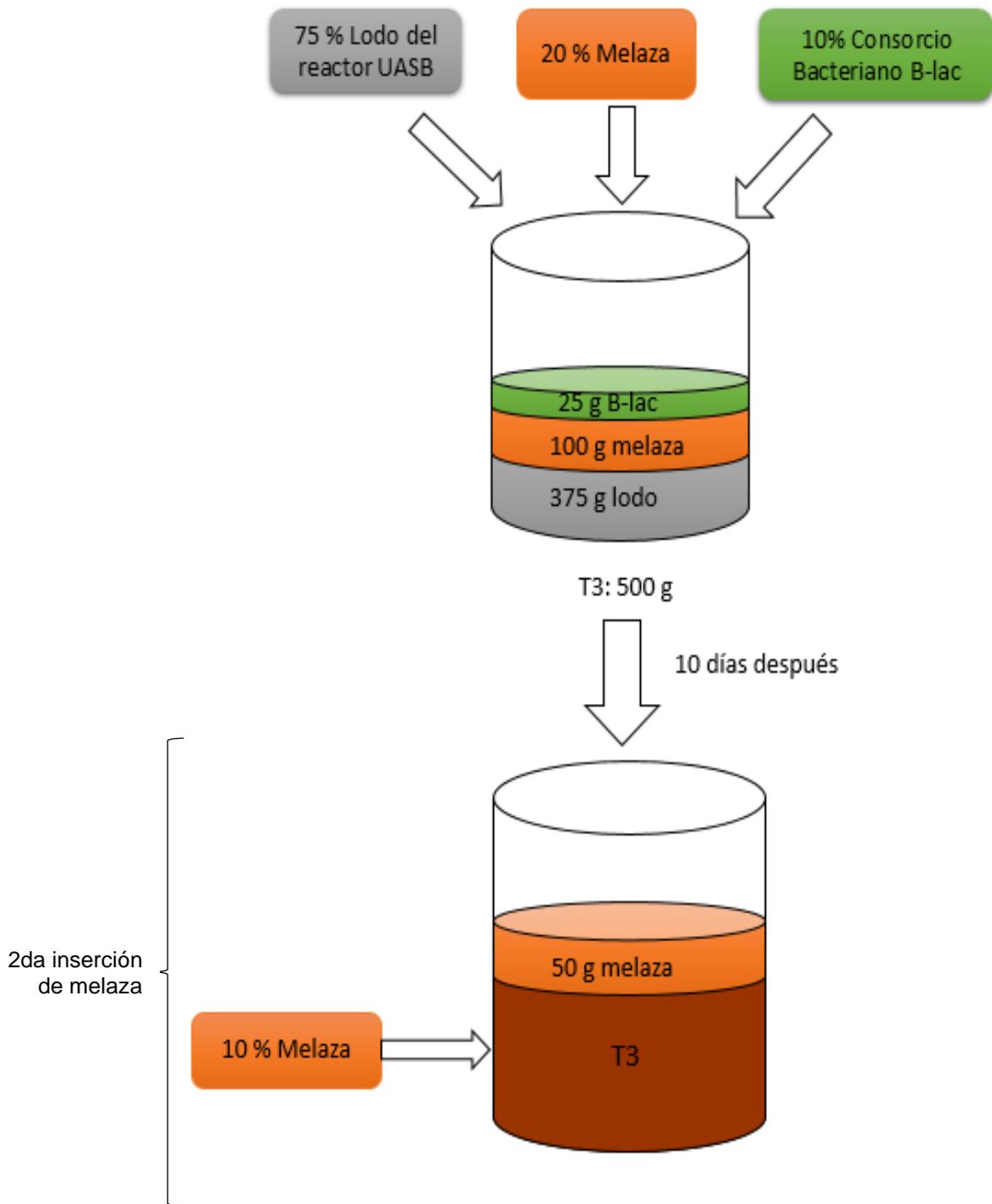
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5 Composición del Segundo Tratamiento (T2)



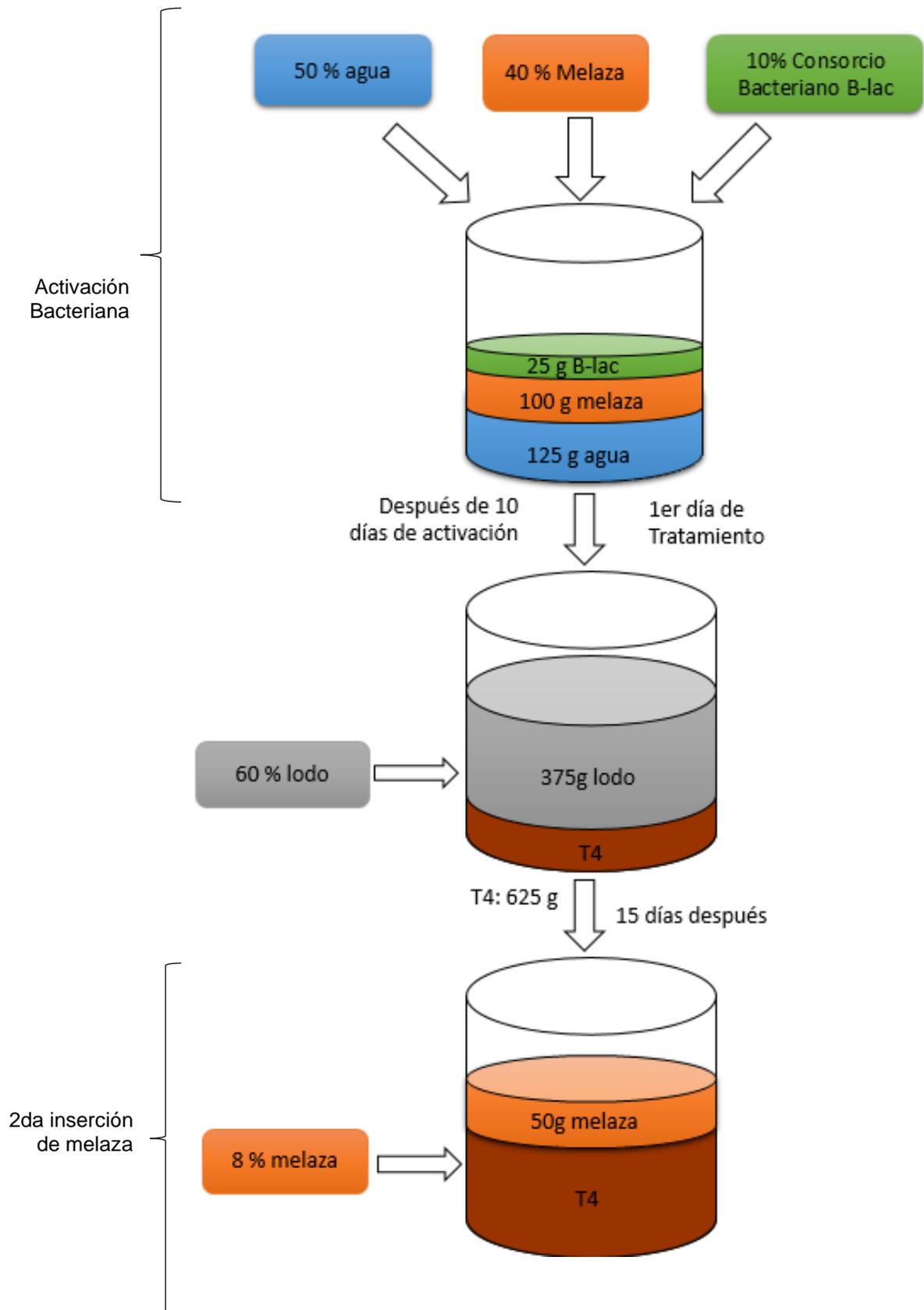
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6 Composición del Tercer Tratamiento (T3)



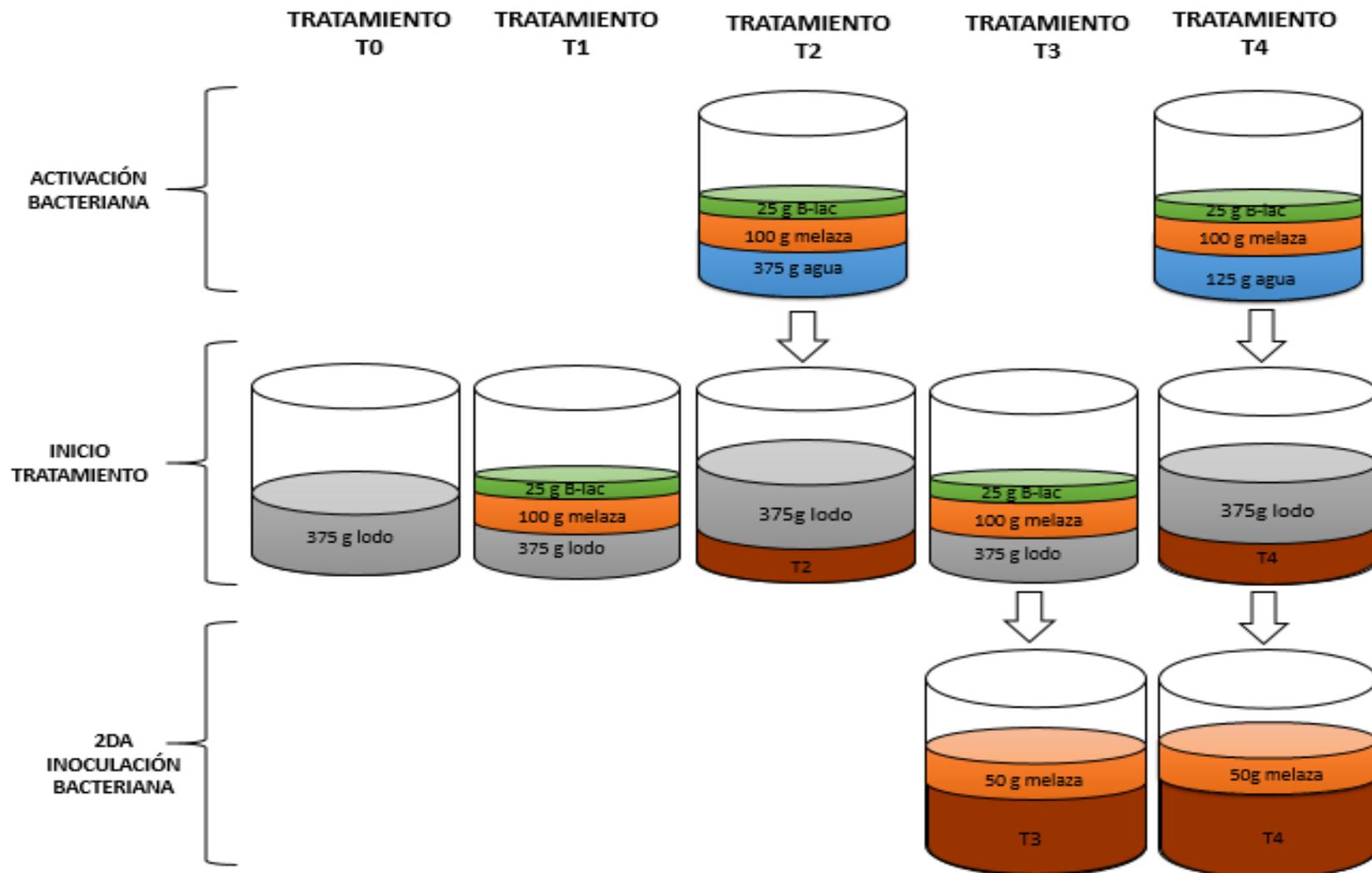
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7 Composición del Cuarto Tratamiento (T4)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8 Resumen de Tratamientos



Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Determinación de la Disminución del pH

El pH se midió diariamente durante los 15 primeros días del tratamiento e interdiario los siguientes 15 días, con el uso de un pHmetro de marca Hach. La medición del pH fue de manera directa introduciendo el pHmetro en cada tratamiento y sus repeticiones. Las mediciones se realizaron en el laboratorio de Química General de la UNTELS

Tabla 5 Medición del pH

Parámetro	Método	Referencia	Frecuencia
pH	Potenciómetro	-	- Diariamente los 15 primeros días. - Intediario del día 15 al 30.

Fuente: Elaboración propia

- **Calibración**

Antes de Iniciar la medición del pH, se calibro con el uso de buffers según los requerimientos del pHmetro. La calibración se realizó una vez por semana para evitar datos erróneos.

La calibración consistió en los siguientes pasos:

1. Prender el equipo y ponerlo en modo calibración. El equipo nos indicó el buffer a utilizar.
2. Se vertió unos 30 mL de la solución buffer indicada por el equipo en un vaso precipitado.
3. Se introdujo el equipo en la solución buffers del vaso precipitado y se esperó hasta que el pHmetro se estabilizara en el valor del buffer que estaba midiendo y nos indicara el otro buffer, con el cual se realizó el mismo procedimiento. En este caso el equipo solo solicito el uso de los buffers 4 y 7.

- **Método de medición del pH**

Se usó un PHmetro de la marca Hach, previamente calibrado y se realizaron los siguientes pasos:

1. Después de calibrado el pHmetro se introdujo el electrodo en cada tratamiento.
2. Se esperó a que se establezca el valor que marca el pHmetro.

3. Después de medir cada tratamiento se enjuago el electrodo con agua destilada. Se midió cada repetición de tratamiento por individual.

- **Medición Inicial**

Antes de iniciar los tratamientos, se midió el pH de las materias primas a utilizarse en cada tratamiento: B-Lac, melaza y lodo residual, para evaluar las condiciones iniciales con respecto a este parámetro con el que inician los componentes del tratamiento.

- **Análisis de datos**

Se realizaron gráficas temporales (gráfica de líneas) con los resultados del pH de cada tratamiento, en donde, el pH está representado en el eje de las ordenadas (“Y”) y los días son representados en el eje de las abscisas (“X”) para una mejor visualización del descenso del pH respecto a los días.

Las gráficas se realizaron para cada tratamiento, en el que se evaluó la variación presentada en cada repetición de un mismo tratamiento, además, se realizó una gráfica general en el que se evaluó el pH entre tratamientos.

3.3.3. Determinación del Aumento de la Acidez Láctica.

La Acidez Láctica es usada como forma de medir el Ácido Láctico que producen las Bacterias Ácido Lácticas, con lo que se evidencia su desarrollo. La medición se realizó por el método de titulación según la norma SM 942.15 AOAC5 con una frecuencia interdiaria desde el inicio hasta el final del tratamiento. Para la medición de la Acidez Láctica se utilizó Hidróxido de Sodio (NaOH) de 1% y fenolftaleína, dichos reactivos fueron brindados ya preparados por el laboratorio de Química General, en el cual se realizaron las mediciones.

Tabla 6 Medición de la Acidez Láctica

Parámetro	Método	Referencia	Frecuencia
Acidez Total	Titulación	SM 942.15 AOAC5	Interdiario

Fuente: Elaboración Propia

- Método de Medición

Se midió la acidez titulable a través de la titulación ácido-base, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

1. Se armó el sistema de titulación, el cual estuvo compuesto por un soporte universal y una bureta.
2. Se pesó 1 gramo de la muestra a analizar.
3. Se diluyó la muestra con 50 ml con agua destilada en un matraz o vaso precipitado.
4. Se añadió 3 gotas de fenolftaleína a la mezcla a analizar.
5. Se enrasó la bureta con el hidróxido de Sodio 0.1 N.
6. Se realizó la titulación del ácido contenido en la mezcla a través de la caída de gotas del hidróxido de sodio 0,1 N hasta que cambie de color a magenta (Viraje de pH a $8,1 \pm 0,2$)
7. Con el valor del volumen del reactivo gastado (Hidróxido de Sodio), se halló el porcentaje de Ácido Láctico titulable mediante la fórmula:

$$\% \text{ Acidez Láctico Titulable} = \frac{G \times N \times f (\text{ácido láctico})}{m}$$

Donde:

G= gasto del NaOH (ml)

N= normalidad del NaOH

m= masa de la muestra (gramos)

f= 0.09 g/meq factor de conversión para Ácido Láctico

- Medición Inicial

Antes de iniciar los tratamientos, se midió el % de Acidez Láctica de las materias primas a utilizarse en cada tratamiento: B-Lac, melaza y lodo residual, para evaluar las condiciones iniciales con respecto a este parámetro con el que inician los componentes del tratamiento.

- Análisis de datos

Se realizaron gráficas temporales (gráfico de líneas) con los resultados promedios de la acidez titulable (Acidez Láctica) de cada tratamiento, en el cual la acidez titulable se representó en el eje de las ordenadas ("Y") y los días del tratamiento se representaron en el eje de abscisas ("X") para una

mejor visualización del aumento de la Acidez Láctica en cada tratamiento con respecto a los días.

3.3.4. Determinación de la Remoción de Coliformes Termotolerantes

Se determinó la remoción de coliformes termotolerantes para evaluar la efectividad del tratamiento. La concentración de coliformes presentes en las muestras se analizó en el laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por el método de Colimetría (Número más probable). Los coliformes termotolerantes se analizaron al inicio, a los 15 días antes de agregar la segunda dosis de melaza y al final del tratamiento.

Tabla 7 Análisis de Coliformes Termotolerantes

Parámetro	Método	Referencia	Frecuencia
Coliformes termotolerantes	Número Más Probable	SM 9221 CE EPA Método 1680	1°, 15° y 30° día

Fuente: Elaboración Propia

- Método de medición

Las muestras analizadas fueron del tipo compuesto, es decir, se combinó una submuestra de cada repetición de un tratamiento para formar la muestra.

Se tomó una submuestra de 70g de cada repetición de un tratamiento. Cada submuestra de un mismo tratamiento se agregó a un frasco de vidrio en la cual se homogenizo las submuestras.

Se trasladó en el frasco de vidrio una muestra total de 210g de cada tratamiento para su análisis en el laboratorio Marino Tabusso.

- Medición Inicial

Antes de iniciar los tratamientos, se midió la concentración de coliformes termotolerantes del lodo residual del CITRAR. Para el análisis inicial se colecto 200g de los 6 litros de lodo que se habían trasladado desde CITRAR para los tratamientos.

- Análisis de datos

Se comparó los resultados obtenidos a los 15 y 30 días para cuantificar y evaluar la remoción de los coliformes termotolerantes.

3.3.5. Determinación del Mejor Tratamiento

El tratamiento más eficiente se seleccionó de acuerdo a los siguientes criterios:

A. Técnico

Según el criterio Técnico se determinó cual es el tratamiento con mejores resultados de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Menor valor de pH
- Mayor valor de Acidez Láctica
- Mayor remoción de coliformes

Se analizó los resultados de estos aspectos a los 15 días (antes de agregar la 2da dosis de la melaza) y a los 30 días.

Para la evaluación del mejor tratamiento se evaluó los resultados del último día del tratamiento (30avo día debido a que los tratamientos son más estables) a través de una tabla de ponderación. El tratamiento que tuvo el mayor valor según la ponderación propuesta fue considerado el mejor tratamiento respecto a este criterio. En la tabla 8, 9 y 10 se observan los valores de ponderación para la evaluación de los aspectos anteriores.

Tabla 8 Valores de ponderación para pH

Rango de resultado (unidad de pH)	Ponderado
< 4	5
4 – 5	3
5 <	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9 Valores de ponderación para Ácidez Láctica

Rango de resultado (%)	Ponderado
>3	5
2 – 3	3
3 <	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10 Valores de ponderación para Coliformes Termotolerantes

Rango de resultado (NMP/g)	Ponderado
>1000	5
< 1000	1

Fuente: Elaboración Propia

B. Estadístico

Se analizó el grado de variación a través de la prueba estadística Análisis de Varianza (ANOVA) de un solo factor entre los resultados de los 4 tratamientos. El análisis estadístico se realizó para el pH y la Acidez Láctica, en pruebas independientes. El factor de análisis fue la mezcla del B-Lac, lodo residual y melaza, representados en los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) del proyecto. La prueba se realizó a los 15 y 30 días del proyecto, a través del software Microsoft Excel y MiniTab Statistical.

El mejor tratamiento, con respecto a este criterio, se seleccionó según el análisis de los resultados obtenidos a los 30 días del proyecto, siendo el tratamiento más eficiente el que poseía mayor variación de pH y Acidez Láctica.

C. Económico:

Se analizó el costo que supondría realizar cada tratamiento a una escala mayor, en este caso considerando tratar 1 tonelada de lodo para una mayor visualización del costo real. El mejor tratamiento con respecto a este criterio fue aquel que represento ser el más factible de realizar en términos económicos, es decir, el de menor costo.

D. Análisis del mejor tratamiento

Luego de determinar cuál fue el mejor tratamiento de cada criterio, se consideró como el tratamiento más eficiente al que cumplió más criterios.

3.4. Resultados

3.4.1. Instalación Experimental

Antes del inicio del proyecto se analizaron los parámetros de estudio de las materias primas del proyecto. Los resultados se muestran en la tabla 11:

Tabla 11 Condiciones Iniciales

Insumo	Densidad (kg/L)	pH	Ácidoz láctica (%)	Coliformes termotolerantes (NMP/g ST)
Lodo residual	1.13	6.80	0.09	15x10 ⁵
B-Lac	1.01	3.45	1.8	--
Melaza	1.36	5.45	0.63	--

Fuente: Elaboración Propia

El lodo residual del CITRAR posee un pH de 6.80 dentro del rango de la neutralidad y 0.09% de acidez titulable debido al contacto que existe entre el CO₂ formado en el Reactor anaerobio con el efluente. El lodo presenta una elevada concentración de coliformes termotolerantes debido a que proviene de un tratamiento de aguas residuales domésticas. La característica que más resalto del lodo fue su olor desagradable debido a que proviene de un Reactor anaerobio en el que predominan los gases de sulfuro de hidrógeno y amoníaco como consecuencia de la degradación de la materia orgánica.

El B-Lac presenta un pH de 3.45, lo cual indica que es una sustancia ácida debido a elevada concentración de Ácido Láctico que producen las Bacterias Ácido Lácticas, la misma que permite un porcentaje de acidez titulable de 1,8%.

La melaza presenta un pH de 5.45, lo cual indica que es una sustancia moderadamente ácida. Según García (2008) citado por Meza (2014), el pH bajo se debe a los ácidos no volátiles sobre la sacarosa en la etapa de clarificación del azúcar. Debido a estos ácidos posee 0.63% de acidez titulable.

3.4.2. Determinación de la Disminución del pH

3.4.2.1. Variación del pH según tratamiento

a) Primer Tratamiento - T1

El primer tratamiento consistió en la mezcla directa del consorcio bacteriano con el lodo residual y una sola adición de la fuente de carbono, melaza, al inicio del tratamiento. En la tabla 12 se muestra las características del Tratamiento T1.

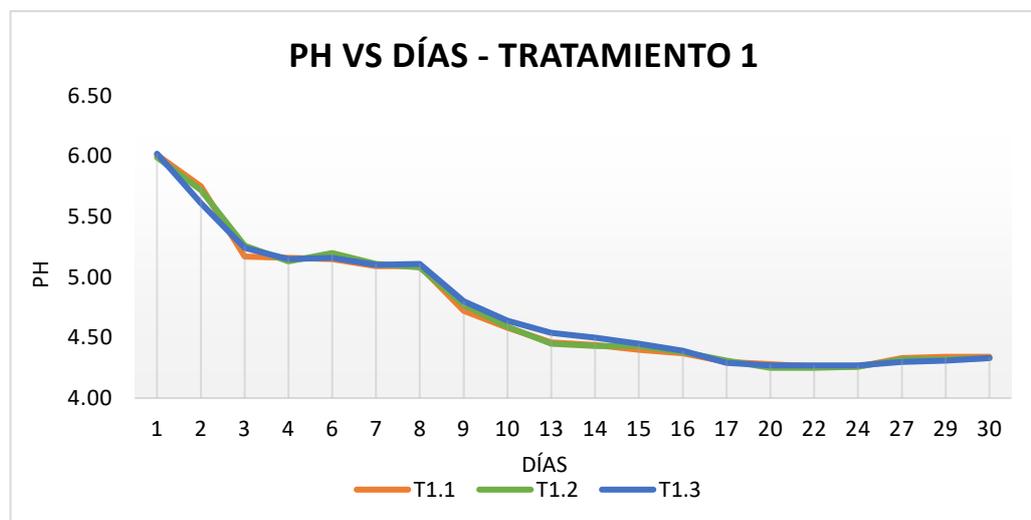
Tabla 12 Características del Tratamiento T1

Tratamiento	Activación Bacteriana	2da Inoculación de Melaza
T1	No	No

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 9 se muestra la variación del pH de las repeticiones del Tratamiento T1.

Figura 9 Variación de pH - Tratamiento T1



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 9, no hay una variación significativa entre las repeticiones del Tratamiento 1, más bien poseen prácticamente el mismo valor de pH.

El tratamiento T1 inicia con un descenso notorio durante los 3 primeros días, siendo ligeramente el T1.3 el de menor pH mientras el T1.1 y T1.2 poseen el mismo valor. Del 3ero al 8avo día se visualiza que el pH se

mantiene estable, volviendo a descender hasta el día 17, a partir de ahí se mantuvo estable.

El tratamiento T1 inicio con un pH de 6.00 y finalizo con un pH de 4.33, logrando una variación de 1.67 unidades de pH. En la tabla 13 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T1.

Tabla 13 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T1

Repetición de Tratamiento	pH Inicio	pH Final
T1.1	6.01	4.34
T1.2	5.99	4.33
T1.3	6.02	4.33

Fuente: Elaboración Propia

b) Segundo Tratamiento - T2

El segundo tratamiento consistió en la activación bacteriana, es decir, primero se realizó la mezcla del consorcio bacteriano con melaza y agua, para un mejor desarrollo y número de las bacterias, y después de 10 días se le agrego al lodo residual. En la tabla 14 se muestra las características del Tratamiento T2.

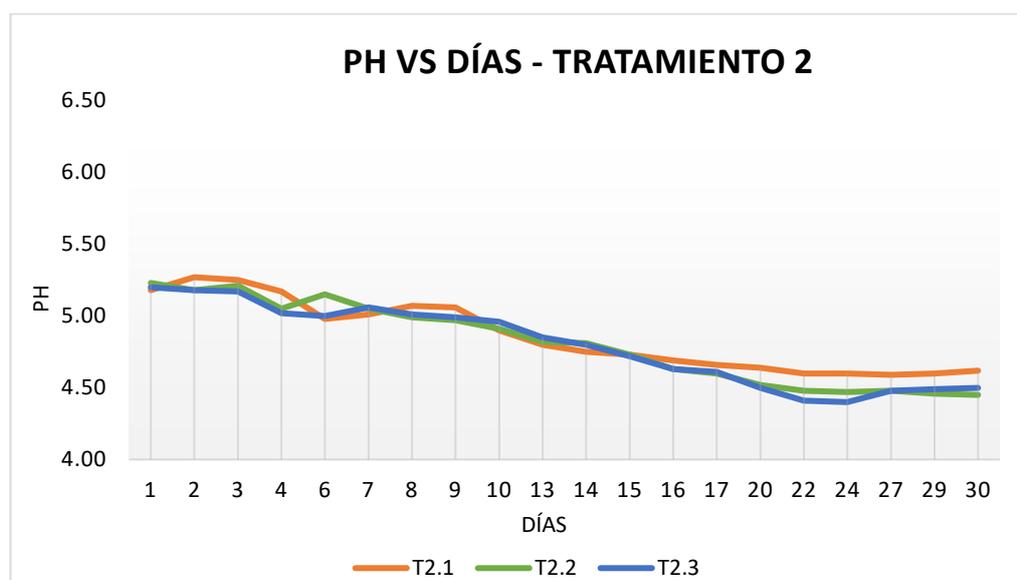
Tabla 14 Características del Tratamiento T2

Tratamiento	Activación Bacteriana	2da Inoculación de Melaza
T2	SI	NO

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 10 se muestra la variación del pH de las repeticiones del Tratamiento T2.

Figura 10 Variación de pH - Tratamiento T2



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 10, se muestra la variación temporal del pH del tratamiento T2, pudiendo visualizarse que no hay una variación significativa entre las repeticiones del tratamiento, más bien poseen prácticamente el mismo valor de pH.

El tratamiento T2 posee un descenso de pH leve y progresivo sin períodos de estabilización ni de un descenso notable. El T2.1 es el que posee mayor valor de pH en comparación con el T2.2 y T2.3, siendo este último el que obtiene el menor pH del tratamiento T2 en el día 22, 4.41.

El tratamiento T2 inicio con un pH de 5.18 y finalizó con un pH de 4.50, logrando una variación de 0.68 unidades de pH. En la tabla 15 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T2.

Tabla 15 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T2

Repetición de Tratamiento	pH Inicio	pH Final
T2.1	5.18	4.62
T2.2	5.23	4.45
T2.3	5.20	4.50

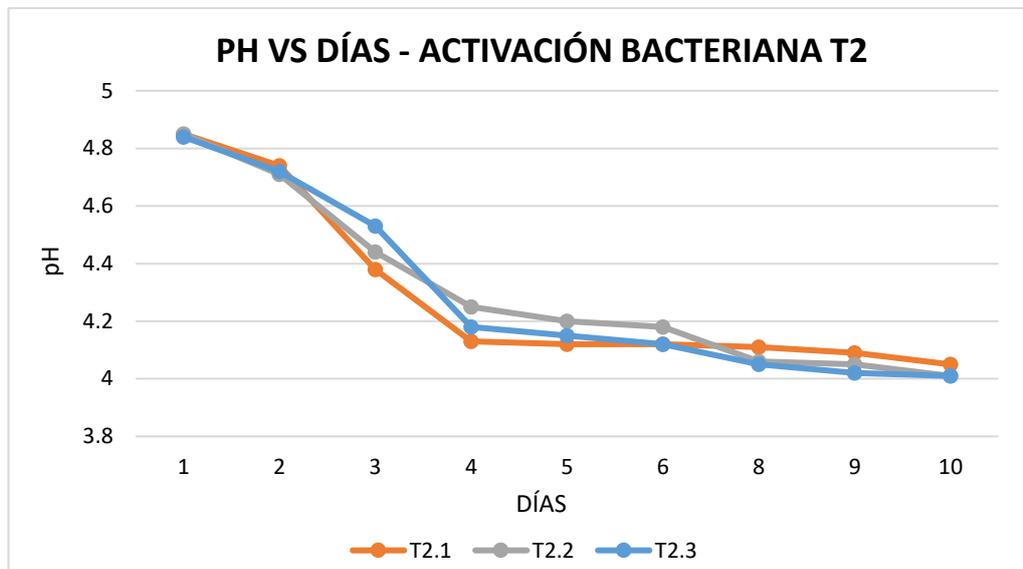
Fuente: Elaboración Propia

- Activación bacteriana del T2

La activación bacteriana se realizó por 10 días, en la cual la única fuente de carbono era la melaza, y el agua era un medio de solvente para que las bacterias tengan mayor desarrollo.

La variación temporal del pH de la activación bacteriana para el Tratamiento T2 se muestra en la figura 11, en donde se visualiza el descenso del pH de 4.85 a 4.03.

Figura 11 Variación de pH - Activación Bacteriana T2



Fuente: Elaboración Propia

La activación bacteriana de T2 posee un descenso notable de pH durante los 4 primeros días, siendo el T2.1 la repetición con menor pH en esos primeros días. Durante los próximos 6 días el pH se mantuvo estable, siendo la repetición T2.2 y T2.3 los tratamientos que tuvieron un ligero descenso.

c) Tercer Tratamiento - T3

El tercer tratamiento consiste en la mezcla directa del consorcio bacteriano con el lodo residual y dos adiciones de melaza, al inicio del tratamiento y a los 15 días del tratamiento.

Se agregó una segunda dosis de melaza (10% del total del tratamiento T3) para que las bacterias del consorcio microbiano (B-Lac) tengan

mayor fuente de carbono, debido a que el carbono presente en el lodo no es de fácil acceso para ellos al encontrarse ya degradado (lodo estabilizado). En la tabla 16 se muestra las características del Tratamiento T3.

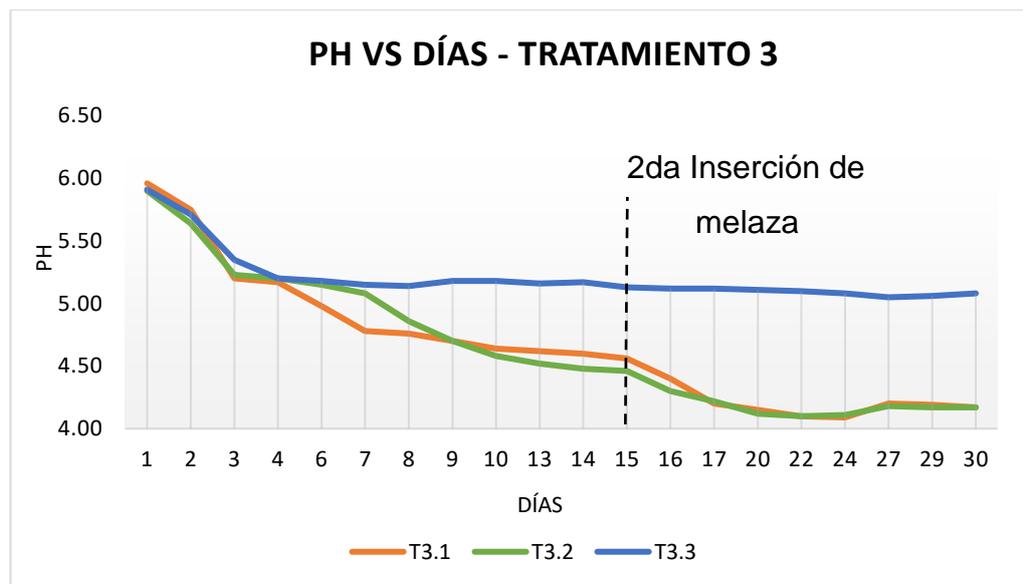
Tabla 16 Características del Tratamiento T3

Tratamiento	Activación Bacteriana	2da Inoculación de Melaza
T3	NO	SI

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 12 se muestra la variación del pH de las repeticiones del Tratamiento T3.

Figura 12 Variación de pH - Tratamiento T3



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 12, se muestra la variación temporal del pH del tratamiento T3, pudiendo visualizarse que hay una variación significativa entre las repeticiones del tratamiento.

El tratamiento T3.3 posee un pH mayor al de las otras dos repeticiones, esto es debido a que en la etapa del tratamiento sufrió la pérdida de más del 50% de su contenido por factores ajenos al proyecto, variando sus características, es por ello, que este tratamiento no se consideró para

las evaluaciones posteriores y solo se consideraron las repeticiones T3.1 y T3.2 para el tratamiento T3.

El tratamiento T3 inicia con un descenso notorio de pH durante los 3 primeros días, a partir del cual se observó una variación levemente significativa entre los tratamientos T3.1 y T3.2, el cual se minimizó a partir del 15avo día cuando se le adicionó melaza. A partir del día 17 el pH del tratamiento se mantuvo estable.

El tratamiento T3 inició con un pH de 5.18 y finalizó con un pH de 4.17, logrando una variación de 1.01 unidades de pH. En la tabla 17 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T3.

Tabla 17 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T3

Repetición de Tratamiento	pH Inicio	pH Final
T3.1	5.96	4.17
T3.2	5.90	4.17
T3.3	5.91	5.08

Fuente: Elaboración Propia

d) Cuarto Tratamiento - T4

El cuarto tratamiento consiste en la activación bacteriana e inserción de melaza. En la tabla 18 se muestra las características del Tratamiento T4.

Tabla 18 Características del Tratamiento T4

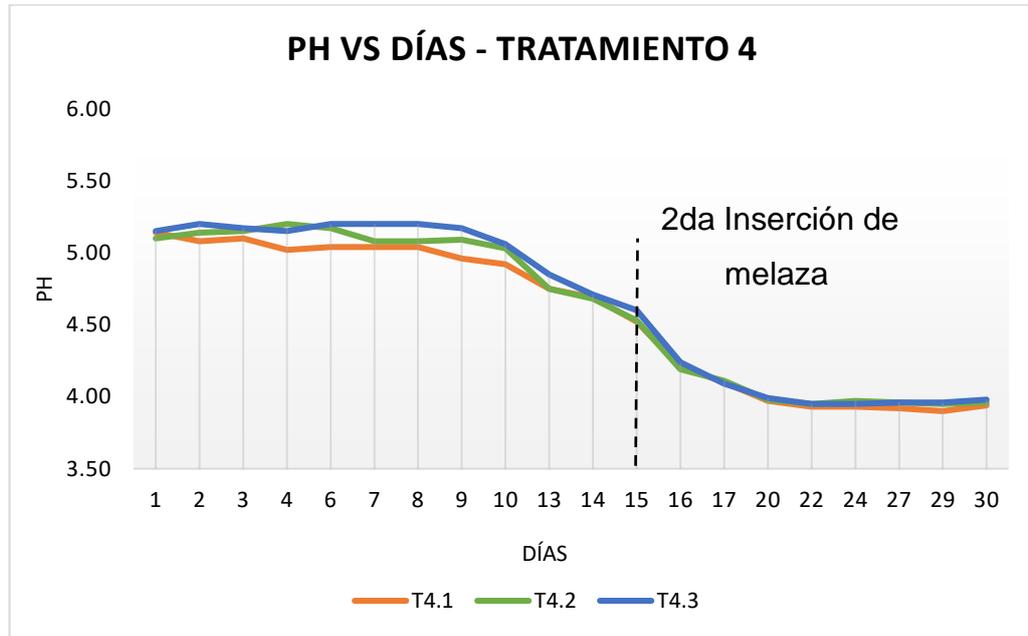
Tratamiento	Activación Bacteriana	2da Inoculación de Melaza
T4	SI	SI

Fuente: Elaboración Propia

La activación bacteriana se realizó por 10 días, siendo el décimo día el inicio de los 30 días del tratamiento. La inserción de melaza consistió en la agregación de 50 g de melaza (8% del T4) y se realizó a los 15 días de iniciado el tratamiento.

Según la figura 13 se muestra la variación temporal del pH del tratamiento T4, pudiendo visualizarse que no hay una variación significativa entre las repeticiones del tratamiento.

Figura 13 Variación de pH - Tratamiento T4



Fuente: Elaboración Propia

Durante los 15 primeros días del tratamiento hay variaciones poco significativas entre las repeticiones, siendo el T4.1 el de menor pH y el T4.3 el de mayor pH, este último tuvo un ligero aumento en comparación con el que inicio el tratamiento. Después de la inserción de melaza, ya no se visualiza variación en las repeticiones y se observa un descenso marcado del pH hasta el día 22, a partir del cual el pH se mantiene estable.

El tratamiento T4 inicio con un pH de 5.14 y finalizo con un pH de 3.96, logrando una variación de 1.18 unidades de pH. En la tabla 19 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T4.

Tabla 19 Resultados de pH – Repeticiones del Tratamiento T4

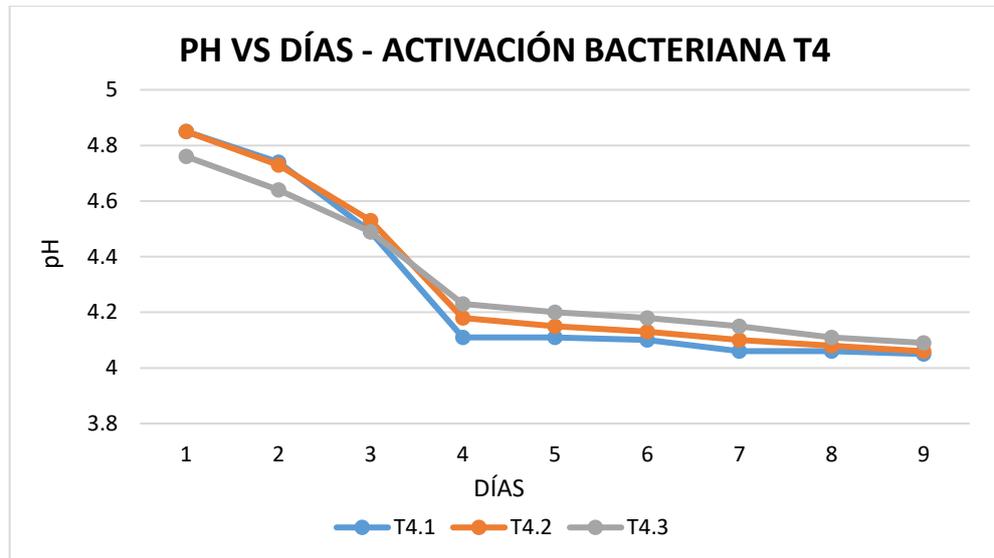
Repetición de Tratamiento	pH Inicio	pH Final
T4.1	5.14	3.97
T4.2	5.10	3.96
T4.3	5.15	3.98

Fuente: Elaboración Propia

- Activación bacteriana

La variación temporal del pH de la activación bacteriana para el Tratamiento T4 se muestra en la figura 11, en donde se visualiza el descenso del pH de 4.20 a 4.03.

Figura 14 Variación de pH - Activación Bacteriana T4



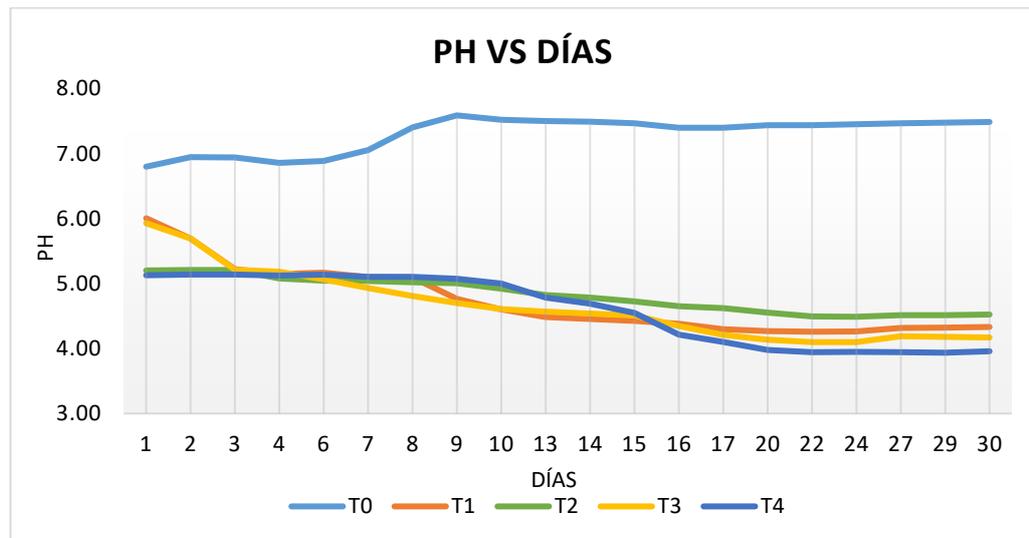
Fuente: Elaboración Propia

La activación bacteriana de T4 posee un descenso notable de pH durante los 4 primeros días, siendo el T4.1 la repetición con menor pH. Durante los próximos 6 días el pH se mantuvo estable. La activación bacteriana logra un valor mínimo de 4.05 durante estos 10 días.

3.4.2.2. Variación del pH entre Tratamientos

La variación de pH en relación con el tiempo en días se muestra en la Figura 15.

Figura 15 Variación de pH



Fuente: Elaboración Propia

La disponibilidad de la fuente de carbono (melaza y lodo) es la principal limitante para un desarrollo óptimo de las bacterias. Durante los primeros quince días (antes de la 2da inserción de melaza) los tratamientos cuentan con dos fuentes de carbono para el crecimiento de las Bacterias Ácido Lácticas, siendo este el principal factor para el desarrollo de dichas bacterias.

- Melaza -> material fácil de degradar, por esta característica es la principal fuente de carbono.
- Lodo residual -> material difícil de degradar al encontrarse en forma de moléculas simples, debido a que el lodo ya se encuentra estabilizado, por ende, las bacterias no se desarrollan rápidamente con esta fuente de carbono.

Es por ello que en los tratamientos con activación bacteriana, T2 y T4, inician con un pH menor que los tratamientos sin activación bacteriana, T1 y T3, pero se mantienen estable con un descenso muy ligero, debido a que en la etapa de activación ya han degradado en gran porcentaje la melaza y la única fuente de carbono que les queda es la del lodo pero al estar ya estabilizado es complicado su degradación por lo que su desarrollo resulta lento; mientras que las bacterias sin activación entran en contacto con la melaza y el lodo al mismo tiempo, por lo que se difiere

que hasta el tercer día las bacterias degradaron toda la materia de fácil alcance (melaza), y a partir del 3er día (según el gráfico) iniciaron la competencia por la materia sobrante, entendiéndose que se trata de la materia del lodo, el cual provee materia ya degradada al ser un lodo estabilizado.

Asimismo, en los tratamientos con activación bacteriana, al haber sido activadas con agua tuvieron un mayor medio de contacto con el lodo, por lo que hubo un mayor desarrollo y reproducción, originando una mayor competencia con los otros microorganismos presentes en la muestra y entre ellas mismas, mientras que, en el caso de los tratamientos sin activación, las bacterias tienen mayor fuente de carbono para degradar como se muestra durante los 3 primeros días de los tratamientos sin activación,

A partir del 15avo día del tratamiento, después de la 2da Inserción de melaza, los tratamientos T3 y T4 lograron obtener un menor pH que el tratamiento T1 y T2, debido a que se le volvió adicionar una fuente de carbono de fácil degradación para las bacterias. Según Alava (2015) los *Lactobacillus* (principales especies de bacterias del B-Lac) tienen unas necesidades nutritivas complejas para su crecimiento, es por ello que la inoculación de melaza favorece a su desarrollo por ser una fuente de carbohidratos fácil de degradar a diferencia de del lodo residual, el cual posee la materia orgánica ya degradada y es difícil acceder a ella a las bacterias. El T4 tuvo una disminución mayor de pH que el T3 debido, como se mencionó anteriormente, que en la activación bacteriana hay un mayor número de bacterias ácidos lácticas en competencia, y al agregar más melazas estas pueden desarrollarse óptimamente.

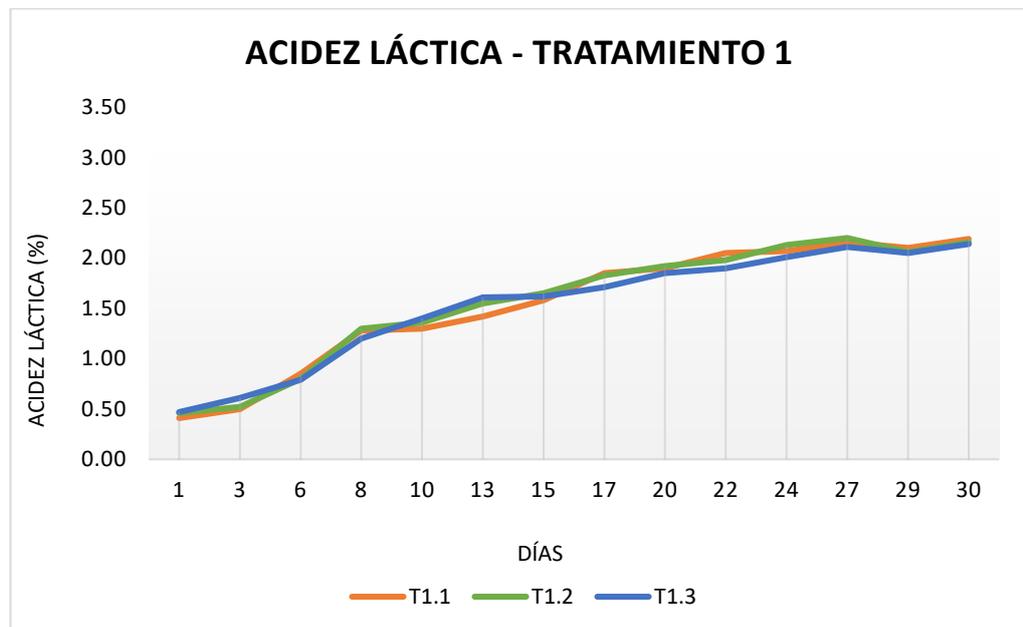
3.4.3. Determinación del Aumento de la Acidez Láctica

3.4.3.1. Variación de la Acidez Láctica según tratamiento

a) Primer Tratamiento - T1

El primer tratamiento no tuvo activación bacteriana ni 2da inserción de melaza. En la figura 16 se muestra la variación de la Acidez Láctica de las repeticiones del tratamiento 1.

Figura 16 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T1



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 15 no hay una variación significativa entre las repeticiones del Tratamiento 1, más bien poseen prácticamente el mismo valor de Acidez Láctica.

El tratamiento T1 posee un aumento progresivo de su Acidez Láctica desde el inicio al día 27. Del día 27 al 29 sufre un ligero descenso, pero luego vuelve a aumentar.

El tratamiento T1 inicio con una Acidez Láctica de 0.45% y finalizo con 2.16%, logrando un aumento de 1.71%. En la tabla 20 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T1.

Tabla 20 Resultados de Acidez Láctica – Repeticiones del Tratamiento T1

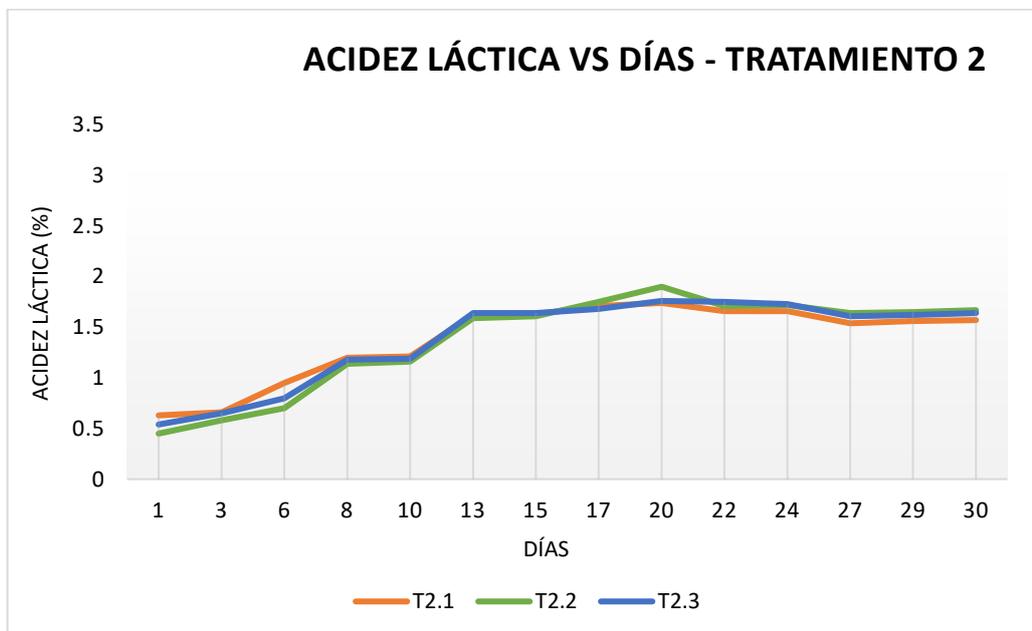
Repetición de Tratamiento	Acidez Láctica Inicial (%)	Acidez Láctica Final (%)
T1.1	0.41	2.19
T1.2	0.46	2.16
T1.3	0.47	2.14

Fuente: Elaboración Propia

b) Segundo Tratamiento - T2

El segundo tratamiento tuvo una activación bacteriana por 10 días. En la figura 16 se muestra la variación de la Acidez Láctica de las repeticiones del Tratamiento T2.

Figura 17 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T2



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 17 no hay una variación significativa entre las repeticiones del Tratamiento T2.

El Tratamiento T2 mantiene un aumento constante de Acidez Láctica hasta el día 20. A partir del día 20 mantiene un valor estable. El T2.1 es la repetición del tratamiento T2 que obtiene el menor valor de Acidez Láctica con 1.54% en el día 27, mientras que el T2.2 obtiene el mayor valor en el día 20 con 1.90%.

El tratamiento T2 inicio con una Acidez Láctica de 0.54% y finalizo con 1.62%, logrando un aumento de 1.08%. En la tabla 21 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T2.

Tabla 21 Resultados de Acidez Láctica – Repetición del Tratamiento T2

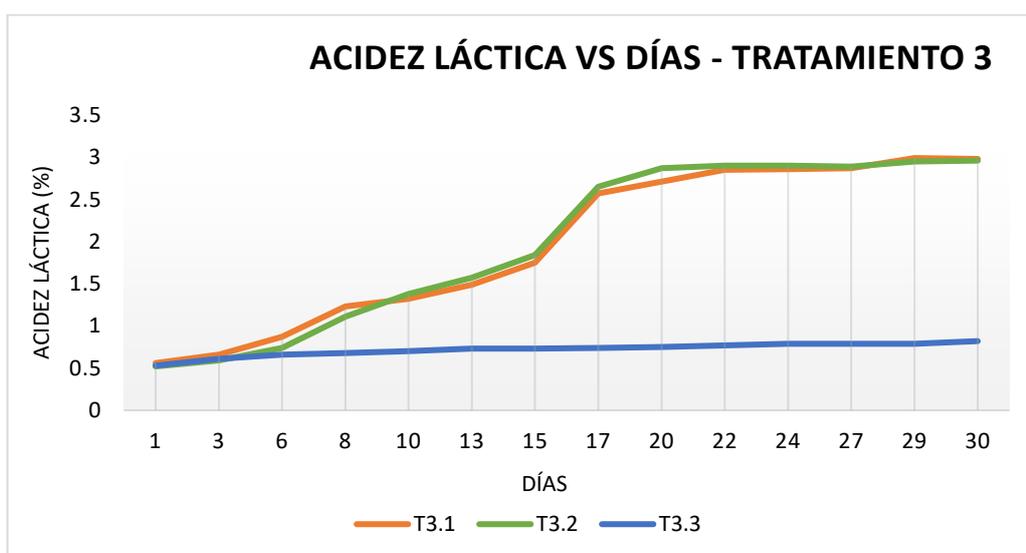
Repetición de Tratamiento	Acidez Láctica Inicial (%)	Acidez Láctica Final (%)
T2.1	0.63	1.57
T2.2	0.45	1.67
T2.3	0.54	1.64

Fuente: Elaboración Propia

c) Tercer Tratamiento – T3

El tercer tratamiento consiste en la mezcla directa del consorcio bacteriano con el lodo residual y dos adiciones de melaza. En la figura 18 se muestra la variación del pH de las repeticiones del tratamiento T3.

Figura 18 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T3



Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó en la medición del pH, el tratamiento T3.3 sufrió la pérdida de más del 50% de su contenido por factores ajenos al proyecto, variando sus características, es por ello, que este tratamiento no se consideró para las evaluaciones posteriores y solo se consideraron las repeticiones T3.1 y T3.2 para el tratamiento T3. El tratamiento T3 tiene un aumento contante de la Acidez Láctica, salvo el periodo del 15 al 17 en el cual posee un aumento significativo después de agregarle la melaza.

El tratamiento T3 inicio con una Acidez Láctica de 0.54% y finalizo con 2.97%, logrando un aumento de aproximadamente 2.43%. En la tabla 22 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T3.

Tabla 22 Resultados de Acidez Láctica - Repeticiones del Tratamiento T3

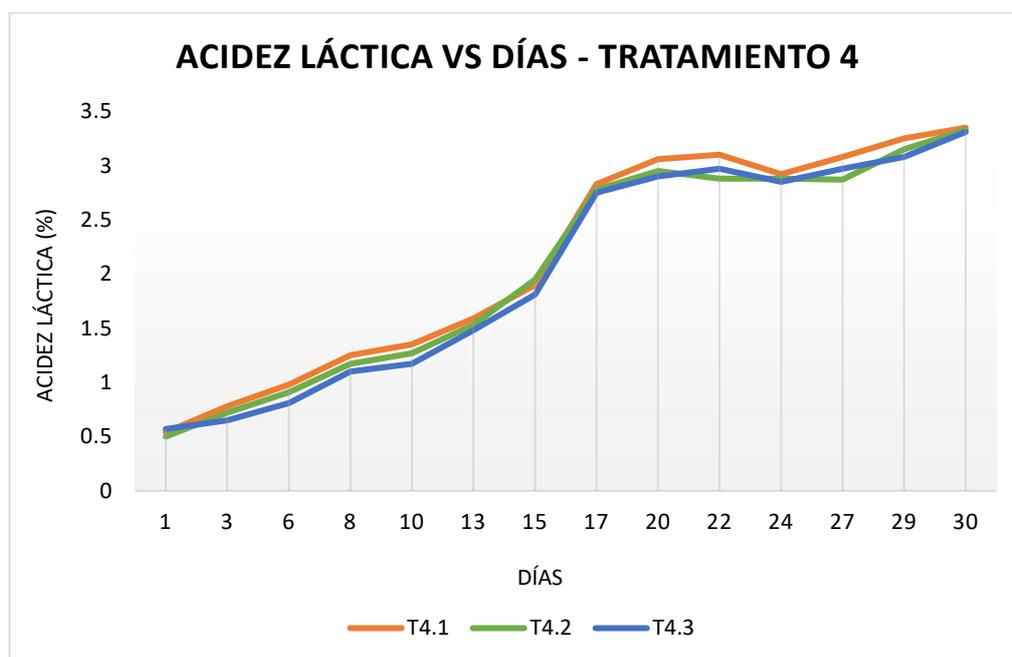
Repetición de Tratamiento	Acidez Láctica Inicial (%)	Acidez Láctica Final (%)
T3.1	0.56	2.98
T3.2	0.52	2.96
T3.3	0.53	0.82

Fuente: Elaboración Propia

d) Cuarto Tratamiento - T4

El cuarto tratamiento consiste en la activación bacteriana y la inserción de melaza. En la figura 19 se observa la variación de la Acidez Láctica del Tratamiento T4.

Figura 19 Variación de Acidez Láctica - Tratamiento T4



Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 19 las repeticiones del tratamiento T4 poseen una mínima variación entre ellas.

El tratamiento T4 posee un aumento constante de Acidez Láctica, teniendo al igual que el T3 un aumento significativo en el periodo del día 15 al 17 después de haberle agregado la 2da inserción de melaza. La

repetición T4.1 obtuvo el mayor valor de acidez láctica con respecto al tratamiento 4 con un valor de 3.35%.

El tratamiento T4 inicio con una Acidez Láctica de 0.54% y finalizo con 3.33%, logrando un aumento de aproximadamente 2.79%. En la tabla 23 se observa los resultados de las repeticiones del Tratamiento T4.

Tabla 23 Resultados de Acidez Láctica – Repeticiones del Tratamiento T4

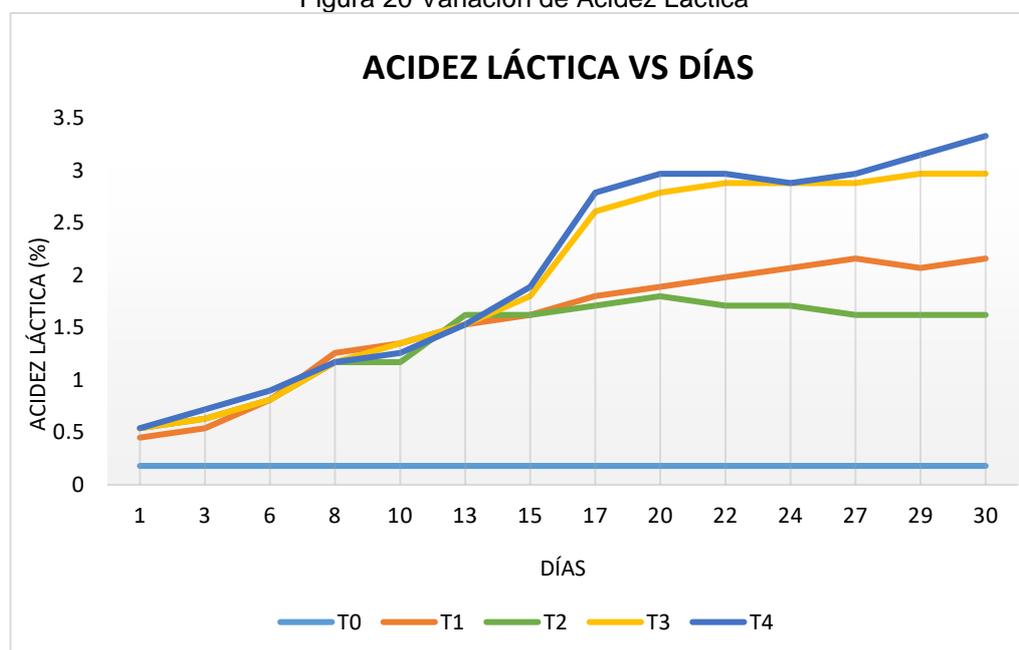
Repetición de Tratamiento	Acidez Láctica Inicial (%)	Acidez Láctica Final (%)
T4.1	0.54	3.35
T4.2	0.50	3.33
T4.3	0.57	3.31

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.2. Variación de Acidez Láctica entre Tratamientos

En la siguiente figura se muestra la variación de la cantidad de Ácido Láctico:

Figura 20 Variación de Acidez Láctica



Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de Acidez Láctica de los tratamientos fue aumentando de 0.50% hasta un máximo de 3.33%. El tratamiento T4 fue el que presento mayor valor de Acidez Láctica (3.33%), seguido del T3 con un valor de

2.97% y el T1 que presento un valor de 2.16%. El tratamiento T2 fue el que obtuvo el menor valor de Acidez Láctica con un valor de 1.62%. El T0 (blanco) mantuvo un valor constante durante todo el tratamiento de 0.18%. Durante los primeros 15 días los 4 tratamientos mantuvieron un aumento constante sin variación significativa entre ellos, no habiendo diferencia entre los tratamientos con o sin activación bacteriana.

Después de la nueva inserción de melaza, hubo un aumento pronunciado de la Acidez Láctica de los tratamientos T3 y T4, obteniendo incrementos significativos de acidez, esto es debido a que las bacterias poseen una mayor fuente de melaza lo que les permitió tener una mejor acción metabólica y reproducción, por ende, mayor generación de Ácido Láctico.

Los tratamientos sin inserción de melaza como el tratamiento T1 mantuvieron un leve aumento de Acidez Láctica, mientras que el T2 mantuvo un valor estable a partir del día 20 del tratamiento, esto debido a que la mayor fuente de carbono que poseían en el momento era la del lodo estabilizado, por lo que el desarrollo de las bacterias y con ello la producción de Ácido Láctico fue lento. Según Peralta (2010) la causa principal para un desarrollo lento de las bacterias se debe a que la cantidad de fuente de carbono no fue suficiente para que proliferen, por lo que se deduce que el T1 en comparación del T2 mantiene un leve aumento debido a que al no haber sido activadas su contacto con la melaza es reciente y al no ser la única fuente de carbono que poseía, aún puede haber rastros de melaza que permite a cierto porcentaje de esas bacterias seguir desarrollándose, mientras que las bacterias con activación bacteriana habrían degradado casi por completo la melaza al haber sido su única fuente de carbono durante la etapa de la activación.

El tratamiento T0 (Blanco) mantuvo su Acidez Láctica estable deduciéndose que en el lodo no existe Bacterias Ácido Lácticas nativas.

3.4.4. Determinación de la Remoción de Coliformes Termotolerantes

En la tabla 24 se visualiza la concentración de coliformes al inicio y al final del tratamiento.

Tabla 24 Resultados de Coliformes Termotolerantes

Tratamiento	Coliformes Termotolerantes			
	Inicio 1er día	Antes de agregar melaza - 15avo día	Final 30avo día	Remoción
T0	24x10 ⁵	----	10x10 ⁵	0 unid. Logarítmicas (41.7%)
T1		< 3	< 3	5 unid. logarítmicas (99.9%)
T2		< 3	< 3	5 unid. logarítmicas (99.9%)
T3		< 3	< 3	5 unid. logarítmicas (99.9%)
T4		< 3	< 3	5 unid. logarítmicas (99.9%)

Fuente: Elaboración Propia

El lodo residual poseía al inicio del tratamiento 24x10⁵ NMP/g de coliformes termotolerantes. A los 15 días del tratamiento poseía < 3 NMP/g, lo cual significa ausencia de coliformes termotolerantes, es decir, a los 15 días los 4 tratamientos propuestos habían removido estos patógenos. Con esta remoción de los coliformes termotolerantes se asegura también la eliminación de las *Escherichia Coli* logrando la higienización exigida por el D.S.N° 015-2017-VIVIENDA. A los 30 días se analizó nuevamente los coliformes termotolerantes verificando que el resultado se mantiene y descartando la posibilidad de una repoblación de estas bacterias.

La remoción de coliformes termotolerantes se debe según Boucourt et al (2006), a un proceso llamado "Ajuste Ecológico". Este proceso explica que las Bacterias Ácido Lácticas surgen como dominantes numéricas debido que al competir contra los otros microorganismos por los nutrientes del medio en el que se encuentran, las Bacterias Ácido Lácticas generan sustancias antimicrobianas como el Ácido Láctico, con el cual disminuye o desaparece la población de los otros microorganismos.

La generación de Ácido Láctico genera condiciones antagónicas, debido a que según Alahomi et al (2000) citado por Mindreau (2016), produce cambios de

pH llevando a obtener valores muy bajos, es decir, el medio en el que habitan se convierta de neutro a ácido imposibilitando el desarrollo de las otras bacterias, debido a que la permeabilidad de la membrana externa de las bacterias gran negativas es incrementando por sustancias acidas, generándoles grandes daños. Debido a ello se visualiza una disminución significativa de los coliformes termotolerantes en los Tratamientos.

3.4.5. Determinación del Mejor Tratamiento

El tratamiento más eficiente se determinó de acuerdo a los siguientes criterios:

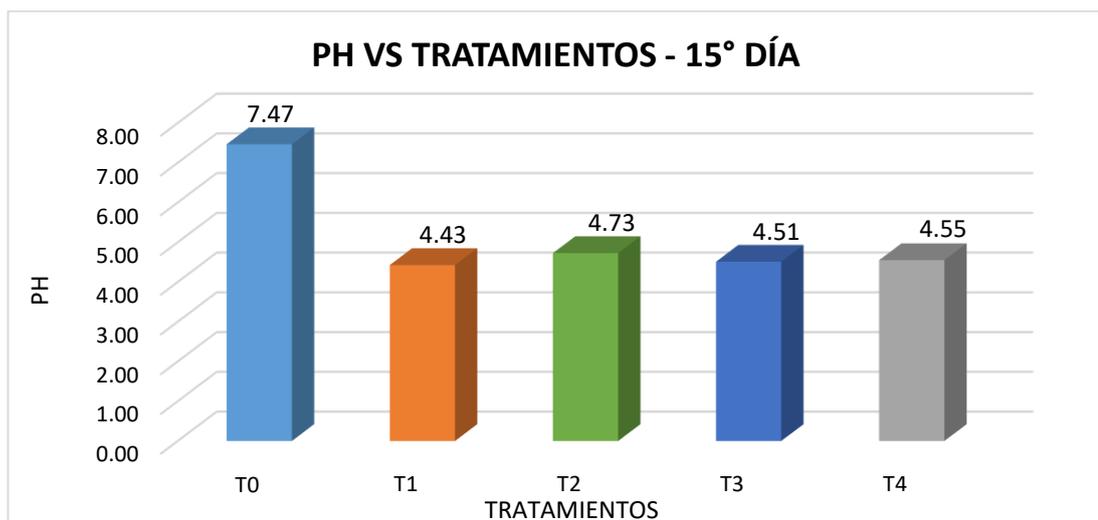
A. Técnico

Se analizó el grado de variación entre los 4 tratamientos realizados en los días 15avo y 30avo para analizar las diferencias significativas que poseen entre ellos, según los aspectos técnicos:

- pH a los 15 días

Como se observa en la figura 21 al 15avo día los tratamientos tuvieron una disminución de más de 2 unidades de pH con respecto al blanco, sin embargo, entre ellos se muestra una diferencia leve siendo el tratamiento T1 el que posee el pH más bajo mientras que el T2 es el tratamiento con pH más alto.

Figura 21 pH vs Tratamiento - 15avo Día



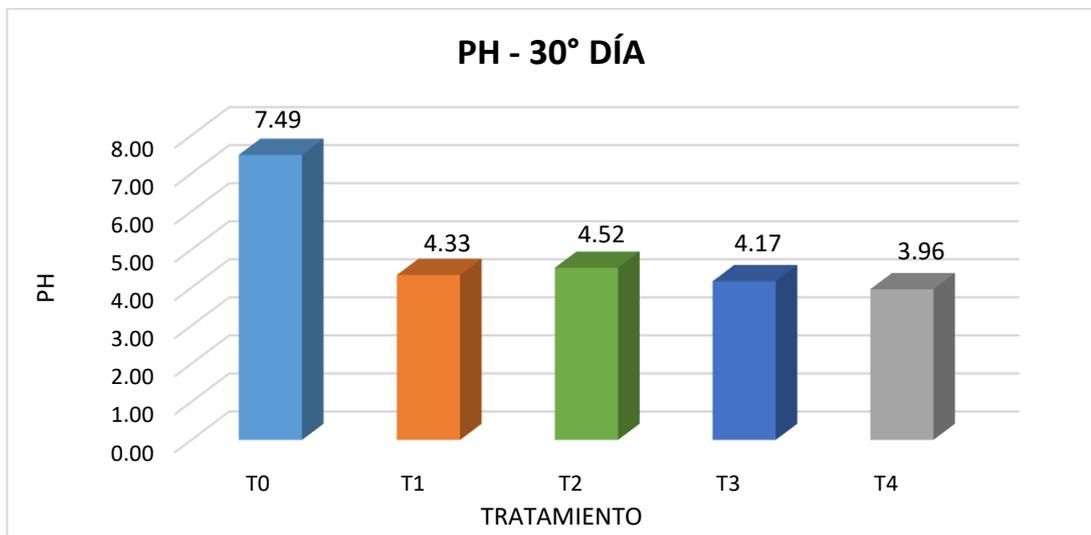
Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista técnico, el Tratamiento T1, al poseer un pH ligeramente más bajo es el que tiene mayor probabilidad de garantizarnos el tratamiento más eficiente en la remoción de coliformes termotolerantes.

- pH a los 30 días

Como se observa en la figura 14 al 30avo día, los tratamientos tuvieron una disminución de más de 3 unidades de pH con respecto al blanco y entre ellos se muestra una diferencia moderada siendo el tratamiento T4 es el que posee el pH más bajo mientras que el T2 sigue teniendo el pH más alto.

Figura 22 pH vs Tratamiento – 30avo Día



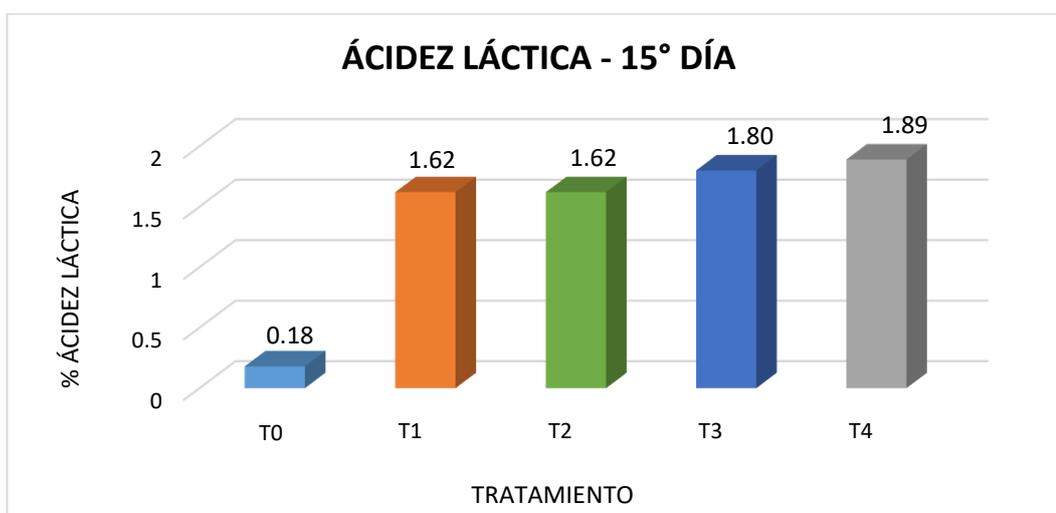
Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista técnico, al término de la parte experimental, el tratamiento T4, al poseer un pH más bajo, es el que tiene mayor probabilidad de garantizarnos el tratamiento más eficiente en la remoción de coliformes Termotolerantes.

- Acidez Láctica a los 15 días

Como se observa en la figura 23 al 15avo día, tuvieron un aumento de más de 1 % de Acidez Láctica con respecto al blanco, sin embargo, entre ellos solo se muestra una leve diferencia, siendo el T4 el de mayor valor de acidez.

Figura 23 Acidez Láctica vs Tratamientos - 15 avo Día



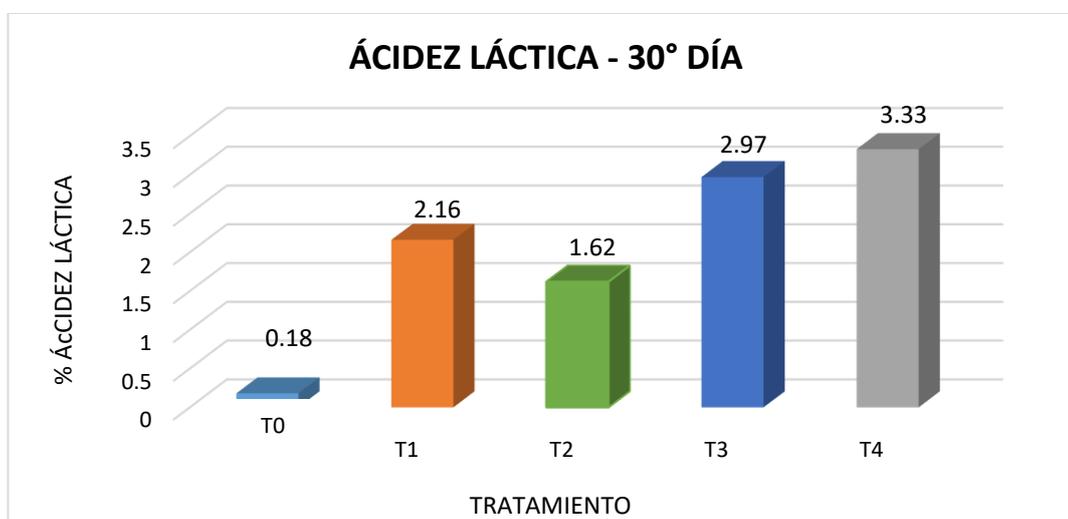
Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista técnico, el Tratamiento T4, al poseer ligeramente más Acidez Láctica que los otros tratamientos, es el que tiene mayor probabilidad de garantizarnos la mayor población de Bacterias Ácido Lácticas a los 15 días del tratamiento.

- Acidez Láctica a los 30 días

Como se observa en la figura 24 al 30 avo día, tuvieron un aumento de más de 2% de Acidez Láctica con respecto al blanco y entre ellos se muestra una moderada diferencia, siendo el T4 el de mayor valor de Acidez Láctica y el T2 el de menor valor, teniendo la mayor variación entre tratamientos.

Figura 24 Acidez Láctica vs Tratamientos - 30 avo Día



Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista técnico, el tratamiento T4, al poseer ligeramente más Acidez Láctica que los otros tratamientos, es el que tiene mayor probabilidad de garantizarnos la mayor población de Bacterias Ácido Lácticas a los 15 días del tratamiento.

- Coliformes termotolerantes a los 15 y 30 días

Según los resultados obtenidos del laboratorio Marino Tabusso, a los 15 días todos los tratamientos lograron a remover el 99.99% de los coliformes termotolerantes presentes en los lodos residuales, y según el análisis a los 30 días se evidencio la misma remoción.

Análisis del Criterio Técnico

Se seleccionó el mejor tratamiento de acuerdo a los resultados finales (a los 30 días) de los análisis, tiempo en el cual los tratamientos se encuentran más estables. En la tabla 25 se visualiza los mejores tratamientos de cada aspecto analizado.

Tabla 25 Evaluación del Mejor tratamientos según Criterio Técnico

Parámetros de diseño	Ponderación	Unidad	Valor Numérico	Tratamientos			
				1	2	3	4
Aspectos Técnicos							
Menor valor de pH	> 5	Unidad de pH	1				
	5 - 4		3	3	3		
	4 >		5				5
Mayor valor de Acidez Láctica	> 3	%	5				5
	3 - 2		3		3	3	
	< 2		1	1			
Mayor remoción de coliformes termotolerantes	1000 <	NMP/g	1				
	1000 >		5	5	5	5	5
Valorización Total				9	11	11	15

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados de la tabla 23, el T4 es el tratamiento que posee el mayor valor de la ponderación, por lo que es el mejor tratamiento con respecto a este criterio.

B. Estadístico

Se analizó el grado de variación entre los 4 tratamientos realizados en los días 15avo y 30avo para analizar las diferencias significativas que poseen entre ellos. El análisis estadístico se realizó con la prueba de ANOVA de un solo factor y un nivel de significancia de 5%. El ANOVA contrastó la veracidad de la siguiente hipótesis:

H_0 : Las medias de todos los tratamientos son iguales.

- pH a los 15 días

Cada Tratamiento tuvo 12 datos para el análisis estadístico, según los días que se recolectó la data del pH de los 4 tratamientos, entre el 1er y 15avo día del proyecto (Ver Anexo I: Medición de pH - Resumen), siendo el total de 48 datos. En la tabla 26 se observa el resumen de los datos analizados.

Tabla 26 Resumen de datos analizados – pH a los 15 días

Tratamientos	Datos	Suma	Promedio	Varianza
T1	12	60.167	5.014	0.247
T2	12	60.077	5.006	0.027
T3	12	59.760	4.980	0.213
T4	12	59.987	4.999	0.042

Fuente: Microsoft Excel

En la tabla 27 se observa los resultados de la prueba estadística ANOVA de un factor (pH) para los datos obtenidos hasta el día 15.

Tabla 27 ANOVA para pH a los 15 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0.008	3	0.003	0.019	0.996	2.816
Dentro de los tratamientos	5.821	44	0.132			
Total	5.829	47				

Fuente: Minitab Statistical

Según el análisis estadístico de los resultados del pH a los 15 días del tratamiento: la probabilidad obtenida (99,6%) es mayor al nivel de significancia (5%), por tanto, no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

- pH a los 30 Días

Al final de tratamiento se volvió a analizar si existía alguna diferencia significativa entre los tratamientos.

Cada Tratamiento tuvo 20 datos para el análisis estadístico, según los días que se recolecto la data del pH de los 4 tratamientos, entre el 1er y 30avo día del proyecto (Ver Anexo I: Medición de pH - Resumen), siendo el total de 80 datos. En la tabla 28 se observa el resumen de los datos analizados.

Tabla 28 Resumen de datos analizados – pH a los 30 días

Tratamientos	Datos	Suma	Promedio	Varianza
T1	20	94.610	4.731	0.270
T2	20	96.447	4.822	0.070
T3	20	93.195	4.660	0.288
T4	20	92.017	4.601	0.278

Fuente: Microsoft Excel

En la tabla 29 se observa los resultados de la prueba estadística ANOVA de un factor para los datos de pH hasta al día 30.

Tabla 29 ANOVA para pH a los 30 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0.546	3	0.182	0.803	0.496	2.725
Dentro de los tratamientos	17.228	76	0.227			
Total	17.774	79				

Fuente: Minitab Statistical

De acuerdo con el análisis estadístico de los resultados del pH a los 30 días de tratamiento, la probabilidad obtenida (49,6%) es mayor al nivel de significancia, por tanto, no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

- Acidez Láctica a los 15 días

Cada Tratamiento tuvo 7 datos para el análisis estadístico, según los días que se recolecto la data de la Acidez Láctica de los 4 tratamientos, entre el 1er y 15avo día del proyecto (Ver Anexo IV: Medición de Acidez Láctica -

Resumen), siendo el total de 28 datos. En la tabla 30 se observa el resumen de los datos analizados.

Tabla 30 Resumen de datos analizados – Acidez Láctica a los 15 días

Tratamiento	N	Suma	Promedio	Varianza
T1	7	7.56	1.080	0.227
T2	7	7.56	1.080	0.194
T3	7	7.83	1.119	0.226
T4	7	8.01	1.144	0.221

Fuente: Microsoft Excel

En la tabla 31 se observa los resultados de la ANOVA de un factor (Acidez Láctica) para los datos obtenidos hasta el día 15 del tratamiento.

Tabla 31 ANOVA para Acidez Láctica a los 15 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0.021	3	0.007	0.032	0.992	3.009
Dentro de los tratamientos	5.209	24	0.217			
Total	5.230	27				

Fuente: Minitab Statistical

Según el análisis estadístico de los resultados de la Acidez Láctica en los 15 primeros días del tratamiento la Probabilidad obtenida (99.2%) es mayor al nivel de significancia (5%), por tanto, no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

- Acidez Láctica a los 30 días

Cada Tratamiento tuvo 14 datos para el análisis estadístico, según los días que se recolecto la data del pH de los 4 tratamientos, entre el 1 er y 30avo día del proyecto (Ver Anexo I: Medición de Acidez Láctica - Resumen), siendo el total de 56 datos. En la tabla 32 se observa el resumen de los datos analizados.

Tabla 32 Resumen de datos analizados – Acidez Láctica a los 30 días

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
T1	14	21.69	1.549	0.350
T2	14	19.35	1.382	0.190
T3	14	27.81	1.986	0.923
T4	14	29.07	2.076	1.052

Fuente: Microsoft Excel

En la tabla 33 se observa los resultados de la ANOVA de un factor para los datos de Acidez Láctica hasta al día 30 del tratamiento.

Tabla 33 ANOVA para Acidez Láctica pH a los 30 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre tratamientos	4.733	3	1.578	2.508	0.069	2.783
Dentro de los tratamientos	32.703	52	0.629			
Total	37.436	55				

Fuente: Minitab Statistical

Según el análisis estadístico de los resultados de la Acidez Láctica a los 30 días del tratamiento, la probabilidad obtenida (6.9%) es mayor al nivel de significancia (5%), por tanto, no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Análisis del Criterio Estadístico

Según los análisis estadísticos, no existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula en lo que respecta al pH y Acidez Láctica, por lo que, no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

C. Economía

Para complementar y definir el mejor tratamiento se analizó el costo que se requiere para realizar los tratamientos. En la tabla 34 se visualiza el costo de cada materia prima utilizada considerando los siguientes aspectos:

- A pesar de que el valor de B-Lac es constante en los todos los tratamientos se incluyó en el cálculo por ser determinante en el precio al ser el de mayor valor.
- No se cuantifico los materiales y equipos, debido a que estos fueron los mismos para todos los tratamientos.

- No se consideró al lodo residual debido que al ser un residuo posee un costo cero, además, no se consideró los costos de transporte y otro servicio que se realizó para su traslado debido a que sería el mismo para todos los tratamientos.
- En el caso del agua utilizada en la activación bacteriana, se calculó en base al costo del agua destilada utilizada en la parte experimental.

Tabla 34 Precios de materias primas del Tratamiento

Insumo	Cantidad (en unidad Original del costo)	Precio (soles)	Equivalente en peso (kg)
B-Lac*	1 L	18.00	1.13
Melaza**	1 Kg	2.00	1
Agua destilada	1 L	2.00	1

Fuente: Elaboración propia.

*Precio de B-Lac es el brindado por empresa NogaFer Perú

**Precio de melaza es el brindado por la UNAML

Para un mejor análisis del costo de cada tratamiento se consideró un valor referencial de 1 tonelada de lodo a tratar. Los costos de cada materia prima utilizado se observan en la tabla 35.

Tabla 35 Costo para tratar 1 tonelada de Lodo Residual

Tratamiento	Cantidad de B-Lac (Kg)	Costo de B-Lac (soles)	Cantidad de Melaza (Kg)	Costo de melaza (soles)	Cantidad de agua (kg)	Costo de agua (soles)	Costo Total (soles)
T1	67	1067	267	534	-	-	1601
T2	67	1067	267	534	333	666	2267
T3	67	1067	400	800	-	-	1867
T4	67	1067	400	800	333	666	2533

Fuente: Elaboración Propia

Según los costos obtenidos para tratar 1 tonelada de lodos, el T1 es el que posee el costo más bajo, mientras que el T4, que técnicamente es el mejor tratamiento, es el que posee el costo más alto, teniendo una diferencia de 932 soles, lo que indica que por cada kilo de lodo a tratar se pagaría 0.92 soles más si se usara el T4 en lugar del T1.

Estos costos están definidos por la cantidad de melaza y agua utilizada en cada tratamiento, debido a ello, el T1 es el tratamiento más económico ya que posee la menor cantidad de melaza y no utilizo agua.

Según el criterio económico se selecciona al T1 como mejor tratamiento en términos monetarios.

D. Selección del mejor tratamiento

Después de analizar los criterios estadísticos, técnicos y económicos se selecciona:

Tabla 36 Selección de Tratamiento

Criterio	Mejor Tratamiento
Técnico	T4
Estadístico	---
Económico	T1

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de los resultados, los tratamientos T4 y T1 son los mejores tratamientos de los criterios técnico y económico, respectivamente, mientras que estadísticamente los tratamientos son iguales.

Para definir el mejor tratamiento se consideró el cumplimiento del objetivo principal en el menor tiempo de análisis de este parámetro, es decir, se seleccionó como el tratamiento más eficaz al que obtuvo la mayor remoción de coliformes a los 15 días. En la tabla 37 se muestra los resultados de Coliformes Termotolerantes a los 15 días.

Tabla 37 Coliformes según Tratamiento

Tratamiento	Concentración de coliformes termotolerantes (NMP/g)
T1	< 3
T4	< 3

Fuente: Elaboración Propia

En tabla 37 se visualiza que los dos tratamientos han removido completamente los coliformes termotolerantes a los 15 días, por lo que se deduce que por más que el T4 sea el mejor tratamiento técnicamente, el T1 logra cumplir el objetivo con el mismo tiempo y con menor costo, además

estadísticamente la diferencia técnica entre los dos es mínima, por lo que se selecciona al T1 como el tratamiento más eficiente para la eliminación de coliformes termotolerantes en los lodos residuales del CITRAR usando menor cantidad de recursos.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento del lodo residual del CITRAR con el uso de Bacterias Ácido Lácticas logro la remoción de los coliformes termotolerantes (< 3 NMP/g), siendo el tratamiento T1 el más eficiente en función a la evaluación de criterios Técnicos, Estadísticos y Económicos (Capítulo III, ítem 3.4.5.4. Selección del Mejor Tratamiento), logrando la remoción de estos patógenos con solo el uso de la melaza como fuente de fácil degradación de carbono para su óptimo desarrollo y reproducción.
2. Se logró determinar que los tratamientos con Bacterias Ácido Lácticas alcanzaron una disminución de pH de más 3 unidades, obteniendo un pH mínimo de 3.96 (Capítulo III, ítem 3.4.2. Determinación de la disminución del pH) debido a la producción de Ácido Láctico resultante de su fermentación homoláctica.
3. Se logró determinar un aumento constante de Acidez Láctica en todos los tratamientos, logrando un máximo de 3.33% (Capítulo III, ítem 3.4.3. Determinación del aumento de la Acidez Láctica), evidenciándose que hay proliferación de Bacterias Ácido Lácticas, debido a que son los únicos microorganismos del medio capaces de generar Ácido Láctico.
4. Los tratamientos lograron reducir el 99% de coliformes termotolerantes (< 3 NMP/g, Capítulo III, ítem 3.4.3. Determinación de la remoción de Coliformes Termotolerantes) presentes en los lodos residuales del CITRAR, debido al bajo pH del medio ocasionado por la producción de Ácido Láctico.

RECOMENDACIONES

- En las próximas investigaciones, evitar abrir los recipientes donde se desarrollan los tratamientos, para ello adecuar estos recipientes con una especie de conducto o tubería para la recolección de la muestra a analizar.
- Evaluar el efecto de la Temperatura sobre la disminución o aumento del pH y Acidez Láctica, respectivamente.
- Evaluar la concentración de coliformes termotolerantes a los 5 días del tratamiento, para evaluar su efectividad en un menor tiempo.
- Realizar análisis microbiológicos para evaluar si hay presencia de otros patógenos.
- Analizar los nutrientes para evaluar su uso como acondicionador del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álava, C., Gómez de Illera, M. y Maya, J. (2014). Caracterización fisicoquímica del suero obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto. *Revista colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. Centro Agropecuario de Buga 1(2) ISSN 24220582 Doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.110>.
- Alva, L. (2015). *Biol enriquecido con diferentes dosis de Bacterias Acido Lácticas y su influencia en la productividad de pimiento (capsicum annuum l) espam 2012* (Tesis de pregrado). Escuela superior Politécnica Agropecuaria de Manabi Manuel Feliz López. Manabí, Ecuador.
- Anderson, C., Malambo, D. H., Pérez, M. E. G., Nobela, H. N., de Pooter, L., Spit, J. y Brdjanovic, D. (2015). Lactic acid fermentation, urea and lime addition: Promising faecal sludge sanitizing methods for emergency sanitation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(11), 13871–13885. <https://doi.org/10.3390/ijerph121113871>.
- Andreev, N., Ronteltap, M., Boincean, B., y Lens, P. (2017). Treatment of SourceSeparated Human Feces via Lactic Acid Fermentation Combined with Thermophilic Composting. *Compost Science and Utilization*, 25(4), 220–230. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1277809>.
- Arcos, M, Ávila, S., Estupiñán, S. y Gómez A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Revista Nova* 3, 69-79
- Bailón, R. (2012). *Fermentaciones Industriales* (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. Universidad Nacional del Callao.
- Buchelly, H. (2014). *Producción de biofertilizante de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería mediante fermentación Homoláctica* (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cabezas, M. (2009). *Evaluación de la Capacidad de Colonización Intestinal de un Lactobacillus sp proveniente de un Fermento Comercial* (Tesis de Pregrado). Facultad de Biotecnología, Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- Carr, F., Chill, D. y Maida, N. (2002). The Acid Bacteria: A literatura survey. *Critical Reviews in Microbiology* 28(4), 281-370.

- Carrillo, E. y Lozano, A. (2008). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult* (Tesis de Pregrado). Facultad de Microbiología Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Cupe, B. y Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de Lodos residuales de una Industria Cervecera a través de Fermentación Homoláctica para la producción acelerada de Abono Orgánico. *Ecología Aplicada* 17(1), 20-26. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina. DOI: <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>.
- D.L.N° 1278 (2017). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- D.S.N°015-2017-VIVIENDA (2015). Reglamento para el Reaprovechamiento de los Biosólidos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Fajardo, E. y Sarmiento, S. (2007). *Evaluación de Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de Saccharomyces Cerevisiae* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- García, L. (2008). Uso de Bacterias Probióticas en el Ensilado de Residuos de Pescado (Tesis de Pregrado). Facultad de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Hachich, E., Di Bari, M., Christ, A., Lamparelli, C., Ramos, S. y Sato M. (2012). Comparison of thermotolerant coliforms and Escherichia coli densities in freshwater bodies. *Brazilian Journal of Microbiology*, 675-68.
- Jofré, M. (2011). *Indicadores Biológicos de la Calidad Ambiental* (Tesis de pregrado) Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina.
- Kopper, G., Calderón, G., Schneider, S., Domínguez, W. y Gutiérrez, G. (2009) Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico. *Informe Técnico sobre Ingeniería Agrícola y Alimentaria*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas N. y Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*.
- Limón, M. (2013). Los Lodos de Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ¿Problema o Recurso?. Jalisco - México

- López, P. (2014). Rio bravo recibe descargas de aguas negras. *Noticiero Televisa*. Recuperado de <http://noticieros.televisa.com/mexico-estados/1405/rio-bravo-recibe-descargasaguas-negras/>
- Madigan M., Martinko J., Dunlap P. y Clark D. (2009). Biología de los Microorganismos. *Editorial Pearson Educación* 1(1) 678-683.
- Método Estándar 942.15 de la Asociación de Química Analítica Oficial (2000) Método Walkley – Black.
- Meza, L. (2014). *Elaboración de Abono Líquido mediante Fermentación Homoláctica de papas de descarte utilizando el Consorcio Microbiano Ácido Láctico B-lac* (Tesis de Pregrado). Facultad de Biología, Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Mindreu, E., Juscamaita, J. y León de Castro, W. (2016). Estabilización de heces humanas provenientes de baños secos por un proceso de fermentación Ácido Láctico. *Revista Ecología Aplicada* 15(2); Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria de La Molina. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.754>
- Parra, R. (2010). *Bacterias Ácido Lácticas: Papel funcional en los alimentos* (Tesis de Pregrado). Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Medellín, Colombia.
- Pereyra, A.S. y Perla, J. (2011). *Producción y Evaluación de Abono Orgánico con B-lac en un biodigestor artesanal de uso doméstico*. Trabajo de Investigación de Biólogo e Ingeniero Forestal. Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de Fermentación en el beneficio del Café. *Avances Técnico* N°402. Programa de Investigación Científica. Fondo Nacional del Café.
- Ramírez, C. (2005). Actividad Inhibitoria de cepas de bacterias Ácido Lácticas frente a bacterias patógenas y deterioradas de alimentos (Tesis de Pregrado). Facultad Química de Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México.
- Ramírez, J., Rosas, P., Velásquez, M., Ulloa, J. y Romero, F. (2011). Bacterias Lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente* 2(7). Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México.
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (2005). Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas.

- R.M.N°128-2017-VIVIENDA (2017) Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final.
- R.M.N°093-2018-VIVIENDA (2018) Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.
- Torres, C. (2013). *Regeneradores de la Flora intestinal* (Tesis de Pregrado). Facultad de Químico, Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Segura, F. (2018) *Saneamiento y disposición de biosólidos provenientes de lodos sépticos residuales* (Tesis de Pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Vásquez S., Suárez H. y Zapata S. (2009) Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por Bacterias Ácido Lácticas en la conservación de la carne. *Revista chilena de Nutrición*. 36(1), 64-71.
- Vargas, P. (2017). *Tratamiento del Residuo de Baños Portátiles y Elaboración de Abono Líquido mediante Bacterias Ácido-Lácticas* (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Yaniris, L. y Obaya, C. (2006). *La digestión Anaerobia y los reactores UASB* (Tesis de Pregrado). Instituto Cubano de Investigación sobre los derivados de la caña de azúcar. La Habana, Cuba.

ANEXOS

Anexo 1 Medición de pH: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4

Día	Fecha	pH															Resumen pH				
		B			T1			T2			T3			T4			T0	T1	T2	T3	T4
1	miércoles 20 de febrero de 2019	6.81	6.79	6.80	6.01	5.99	6.02	5.18	5.23	5.20	5.96	5.90	5.91	5.14	5.10	5.15	6.80	6.01	5.20	5.92	5.13
2	jueves 21 de febrero de 2019	6.95	6.90	7.00	5.75	5.72	5.61	5.27	5.18	5.18	5.75	5.64	5.71	5.08	5.14	5.20	6.95	5.69	5.21	5.70	5.14
3	viernes 22 de febrero de 2019	6.92	6.94	6.97	5.17	5.26	5.24	5.25	5.21	5.17	5.20	5.23	5.35	5.10	5.15	5.17	6.94	5.22	5.21	5.26	5.14
4	sábado 23 de febrero de 2019	6.85	6.87	6.85	5.16	5.13	5.15	5.17	5.05	5.02	5.17	5.20	5.20	5.02	5.20	5.15	6.86	5.15	5.08	5.19	5.12
6	lunes 25 de febrero de 2019	7.05	6.81	6.80	5.15	5.20	5.16	4.98	5.15	5.00	4.98	5.15	5.20	5.04	5.17	5.20	6.89	5.17	5.04	5.11	5.14
7	martes 26 de febrero de 2019	7.10	7.01	7.06	5.09	5.11	5.10	5.01	5.05	5.06	4.78	5.08	5.20	5.04	5.08	5.20	7.06	5.10	5.04	5.02	5.11
8	miércoles 27 de febrero de 2019	7.40	7.42	7.40	5.09	5.08	5.11	5.07	4.99	5.01	4.76	4.86	5.19	5.04	5.08	5.20	7.41	5.09	5.02	4.94	5.11
9	jueves 28 de febrero de 2019	7.54	7.56	7.67	4.72	4.77	4.80	5.06	4.97	4.99	4.70	4.70	5.18	4.96	5.09	5.17	7.59	4.76	5.01	4.86	5.07
10	viernes 1 de marzo de 2019	7.51	7.51	7.55	4.58	4.59	4.64	4.90	4.91	4.96	4.64	4.58	5.18	4.92	5.03	5.06	7.52	4.60	4.92	4.80	5.00
13	lunes 4 de marzo de 2019	7.49	7.50	7.52	4.46	4.45	4.54	4.80	4.82	4.85	4.62	4.52	5.16	4.75	4.75	4.85	7.50	4.48	4.82	4.77	4.78
14	martes 5 de marzo de 2019	7.48	7.50	7.50	4.44	4.43	4.50	4.75	4.81	4.80	4.60	4.48	5.17	4.69	4.68	4.71	7.49	4.46	4.79	4.75	4.69
15	miércoles 6 de marzo de 2019	7.46	7.45	7.49	4.40	4.43	4.45	4.73	4.73	4.72	4.56	4.46	5.13	4.52	4.53	4.60	7.47	4.43	4.73	4.72	4.55
16	jueves 7 de marzo de 2019	7.44	7.35	7.41	4.37	4.38	4.39	4.69	4.63	4.63	4.40	4.30	5.12	4.21	4.19	4.24	7.40	4.38	4.65	4.61	4.21
17	viernes 8 de marzo de 2019	7.45	7.37	7.38	4.30	4.31	4.29	4.66	4.60	4.61	4.20	4.22	5.12	4.10	4.11	4.09	7.40	4.30	4.62	4.51	4.10
20	lunes 11 de marzo de 2019	7.44	7.40	7.47	4.28	4.25	4.27	4.64	4.52	4.50	4.15	4.12	5.11	3.97	3.98	3.99	7.44	4.27	4.55	4.46	3.98
22	miércoles 13 de marzo de 2019	7.46	7.40	7.45	4.26	4.25	4.27	4.60	4.48	4.41	4.10	4.10	5.10	3.93	3.95	3.95	7.44	4.26	4.50	4.43	3.94
24	viernes 15 de marzo de 2019	7.45	7.45	7.46	4.26	4.26	4.27	4.60	4.47	4.40	4.09	4.11	5.08	3.93	3.97	3.95	7.45	4.26	4.49	4.43	3.95
27	lunes 18 de marzo de 2019	7.48	7.45	7.48	4.33	4.32	4.30	4.59	4.48	4.48	4.20	4.18	5.05	3.92	3.96	3.96	7.47	4.32	4.52	4.48	3.95
29	miércoles 20 de marzo de 2019	7.49	7.46	7.49	4.34	4.32	4.31	4.60	4.46	4.49	4.19	4.17	5.06	3.90	3.95	3.96	7.48	4.32	4.52	4.47	3.94
30	jueves 21 de marzo de 2019	7.50	7.47	7.50	4.34	4.33	4.33	4.62	4.45	4.50	4.17	4.17	5.08	3.94	3.96	3.98	7.49	4.33	4.52	4.47	3.96

Anexo 2 pH de Activación Bacteriana: Tratamiento T2 y T4

Día	Fecha	pH Activación					
		T2.1	T2.2	T2.3	T4.1	T4.2	T4.3
1	lunes 11 de febrero	4.85	4.85	4.84	4.85	4.85	4.76
2	martes 12 de febrero	4.74	4.71	4.72	4.74	4.73	4.64
3	miércoles 13 de febrero	4.38	4.44	4.53	4.49	4.53	4.49
4	jueves 14 de de febrero	4.13	4.25	4.18	4.11	4.18	4.23
5	viernes 15 de febrero	4.12	4.2	4.15	4.11	4.15	4.2
6	sábado 16 de febrero	4.12	4.18	4.12	4.1	4.13	4.18
8	lunes 18 de febrero	4.11	4.06	4.05	4.06	4.1	4.15
9	martes 19 de febrero	4.09	4.05	4.02	4.06	4.08	4.11
10	miércoles 20 de febrero	4.05	4.01	4.01	4.05	4.06	4.09

Anexo 3 Medición De la Temperatura: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4

Día	Fecha	Temperatura				
		B	T1	T2	T3	T4
1	miércoles 20 de febrero de 2019	28.1	27.8	27.9	28.1	27.9
2	jueves 21 de febrero de 2019	27.5	28.1	27.3	27.8	27.7
3	viernes 22 de febrero de 2019	27.1	26.7	26.4	26.3	25.7
6	lunes 25 de febrero de 2019	27.5	27.9	27.5	26.8	26.5
8	miércoles 27 de febrero de 2019	25.8	27.1	27.1	26.3	25.9
13	lunes 4 de marzo de 2019	25.6	26.6	27.3	26.1	26.2
15	miércoles 6 de marzo de 2019	24.3	24.1	24.3	23.8	24.1
17	viernes 8 de marzo de 2019	25.5	25.6	25.6	25.5	25.3
20	lunes 11 de marzo de 2019	24.4	26.7	25.6	24.9	25.1
22	miércoles 13 de marzo de 2019	23.2	23.1	23.3	22.9	22.6
24	viernes 15 de marzo de 2019	23.3	23.5	23.7	23.2	23.1
27	lunes 18 de marzo de 2019	22.9	23.5	23.1	23.4	23.2
29	miércoles 20 de marzo de 2019	22.8	23.1	23.4	22.9	23.3
30	jueves 21 de marzo de 2019	22.1	22.5	22.4	22.2	22.9

Anexo 4 Medición de Acidez Láctica: Tratamiento T0, T1, T2, T3 y T4

Día	Fecha	Acidez Láctica															Resumen Acidez Láctica				
		B	T1	T2	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3	T3.1	T3.2	T3.3	T4.1	T4.2	T4.3	B	T1	T2	T3	T4
1	miércoles 20 de febrero de 2019	0.18	0.18	0.18	0.41	0.46	0.47	0.63	0.45	0.54	0.56	0.52	0.53	0.54	0.5	0.57	0.47	0.48	0.49	0.45	0.51
3	viernes 22 de febrero de 2019	0.18	0.18	0.18	0.50	0.52	0.61	0.66	0.58	0.65	0.66	0.59	0.61	0.78	0.72	0.65	0.53	0.55	0.70	0.65	0.59
6	lunes 25 de febrero de 2019	0.18	0.18	0.18	0.85	0.80	0.79	0.95	0.7	0.8	0.87	0.74	0.66	0.98	0.91	0.81	0.67	0.59	0.88	0.82	0.73
8	miércoles 27 de febrero de 2019	0.18	0.18	0.18	1.28	1.30	1.20	1.2	1.14	1.18	1.23	1.11	0.68	1.25	1.17	1.1	1.00	0.61	1.13	1.05	0.99
10	viernes 1 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	1.30	1.36	1.40	1.21	1.16	1.19	1.32	1.38	0.7	1.35	1.27	1.17	1.24	0.63	1.22	1.14	1.05
13	lunes 4 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	1.42	1.55	1.61	1.62	1.59	1.64	1.49	1.57	0.73	1.59	1.53	1.48	1.41	0.66	1.43	1.38	1.33
15	miércoles 6 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	1.58	1.65	1.62	1.63	1.61	1.64	1.75	1.84	0.73	1.9	1.95	1.81	1.66	0.66	1.71	1.76	1.63
17	viernes 8 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	1.85	1.83	1.71	1.71	1.75	1.68	2.57	2.65	0.74	2.83	2.78	2.75	2.39	0.67	2.55	2.50	2.48
20	lunes 11 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	1.90	1.92	1.85	1.74	1.9	1.76	2.71	2.87	0.75	3.06	2.95	2.9	2.58	0.68	2.75	2.66	2.61
22	miércoles 13 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	2.05	1.98	1.90	1.66	1.71	1.75	2.85	2.9	0.77	3.1	2.88	2.97	2.61	0.69	2.79	2.59	2.67
24	viernes 15 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	2.07	2.13	2.01	1.66	1.72	1.73	2.86	2.9	0.79	2.92	2.88	2.85	2.61	0.71	2.63	2.59	2.57
27	lunes 18 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	2.16	2.20	2.11	1.54	1.64	1.61	2.87	2.89	0.79	3.08	2.87	2.97	2.60	0.71	2.77	2.58	2.67
29	miércoles 20 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	2.10	2.06	2.05	1.56	1.65	1.62	2.99	2.95	0.79	3.25	3.15	3.08	2.66	0.71	2.93	2.84	2.77
30	jueves 21 de marzo de 2019	0.18	0.18	0.18	2.19	2.16	2.14	1.57	1.67	1.64	2.98	2.96	0.82	3.35	3.33	3.31	2.66	0.74	3.02	3.00	2.98

Anexo 5 Análisis de coliformes Termotolerantes

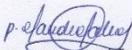
Anexo 5.1: Inicial

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
INFORME DE ENSAYO N° 1902076 - LMT		
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO		
MUESTRA : LODO DE PTAR 1902076)		
PROCEDENCIA	: PTAR - CITRAR	
TIPO DE ENVASE	: Botella de Vidrio	
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 100 g aprox.	
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado	
FECHA DE MUESTREO	: 2019 - 02 - 18	
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019 - 02 - 21	
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2019 - 02 - 21	
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2019 - 02 - 27	
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico		Muestra 1902076
*Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)		24 x 10 ⁵
Método: 1 International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.		
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
		La Molina, 28 de febrero de 2019
 DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: imt@lamolina.edu.pe		
LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"		
☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

Anexo 5.2: A los 15 días - Tratamiento T1

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274					
INFORME DE ENSAYO N° 1903094 - LMT						
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA						
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO						
MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO						
1903094) T1						
PROCEDENCIA :	: PTAR - CITRAR					
TIPO DE ENVASE :	: Botella de Vidrio					
CANTIDAD DE MUESTRA :	: 01 muestra x 01 und. x 100 g aprox.					
ESTADO Y CONDICIÓN :	: En buen estado y cerrado					
FECHA DE MUESTREO :	: 2019 - 03 - 06					
FECHA DE RECEPCIÓN :	: 2019 - 03 - 07					
FECHA DE INICIO DE ENSAYO :	: 2019 - 03 - 07					
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO :	: 2019 - 03 - 27					
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
<table border="1"><thead><tr><th>Análisis Microbiológico</th><th>Muestra 1903094</th></tr></thead><tbody><tr><td>Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)</td><td style="text-align: center;">< 3</td></tr></tbody></table>			Análisis Microbiológico	Muestra 1903094	Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)	< 3
Análisis Microbiológico	Muestra 1903094					
Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)	< 3					
Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo						
Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.						
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.						
		La Molina, 20 de marzo de 2019				
						
 DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lm@lamolina.edu.pe						
LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO" □ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lm@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU						

Anexo 5.3: A los 15 días - Tratamiento T2

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
INFORME DE ENSAYO N° 1903095 - LMT		
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO		
MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO		
1903095) T2		
PROCEDENCIA	:	PTAR - CITRAR
TIPO DE ENVASE	:	Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01 muestra x 01 und. x 100 g aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	:	En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	:	2019 - 03 - 06
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2019 - 03 - 07
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 07
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 27
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico		Muestra 1903095
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)		< 3
<p>Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p>		
Método: ¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.		
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
		La Molina, 20 de marzo de 2019
<p> DRA. DORIS ZUNIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe</p>		
LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"		
☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

Anexo 5.4: A los 15 días -Tratamiento T3

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274					
INFORME DE ENSAYO N° 1903096 - LMT						
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA						
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO						
MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO						
1903096) T3						
PROCEDENCIA	:	PTAR - CITRAR				
TIPO DE ENVASE	:	Botella de Vidrio				
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01 muestra x 01 und. x 100 g aprox.				
ESTADO Y CONDICIÓN	:	En buen estado y cerrado				
FECHA DE MUESTREO	:	2019 - 03 - 06				
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2019 - 03 - 07				
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 07				
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 27				
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
<table border="1"><thead><tr><th>Análisis Microbiológico</th><th>Muestra 1903096</th></tr></thead><tbody><tr><td>¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)</td><td style="text-align: center;">< 3</td></tr></tbody></table>			Análisis Microbiológico	Muestra 1903096	¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)	< 3
Análisis Microbiológico	Muestra 1903096					
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)	< 3					
Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo						
Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba.						
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.						
		La Molina, 20 de marzo de 2019				
 DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe						
LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"						
☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU						

Anexo 5.5: A los 15 días -Tratamiento T4

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
INFORME DE ENSAYO N° 1903097 - LMT		
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO		
MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO		
1903097) T4		
PROCEDENCIA	:	PTAR - CITRAR
TIPO DE ENVASE	:	Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01 muestra x 01 und. x 100 g aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	:	En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	:	2019 - 03 - 06
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2019 - 03 - 07
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 07
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	2019 - 03 - 27
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico		Muestra 1903097
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)		< 3
<p>Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p>		
Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba.		
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
		La Molina, 20 de marzo de 2019
<p> DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe</p>		
<hr/> LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO" □ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

Anexo 5.6: A los 30 días -Tratamiento T1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1903115 - LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO
1903115) T-1

PROCEDENCIA : PTAR - CITRAR
TIPO DE ENVASE : Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 150 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrada
FECHA DE MUESTREO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019 - 03 - 22
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 27

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1903115
Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	< 3

Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo

Método:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 27 de marzo de 2019

DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

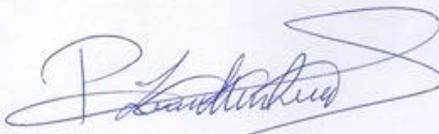
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

Anexo 5.7: A los 30 días - Tratamiento T2

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274					
INFORME DE ENSAYO N° 1903113 - LMT						
SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA						
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO						
MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO						
1903113) T-2						
PROCEDENCIA	: PTAR - CITRAR					
TIPO DE ENVASE	: Botella de Vidrio					
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 150 ml aprox.					
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado					
FECHA DE MUESTREO	: 2019 - 03 - 22					
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2019 - 03 - 22					
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2019 - 03 - 22					
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2019 - 03 - 27					
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
<table border="1"><thead><tr><th>Análisis Microbiológico</th><th>Muestra 1903113</th></tr></thead><tbody><tr><td>¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)</td><td style="text-align: center;">< 3</td></tr></tbody></table>			Análisis Microbiológico	Muestra 1903113	¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	< 3
Análisis Microbiológico	Muestra 1903113					
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	< 3					
<p>Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p>						
Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.						
Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.						
La Molina, 27 de marzo de 2019						
						
DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: imt@lamolina.edu.pe						
						
LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"						
☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU						

Anexo 5.8: A los 30 días - Tratamiento T3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1903112 - LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO

1903112) T-3

PROCEDENCIA : PTAR - CITRAR
TIPO DE ENVASE : Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 150 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019 - 03 - 22
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 27

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1903112
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	< 3

Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo

Método:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 27 de marzo de 2019

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: imt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

Anexo 5.9: A los 30 días - Tratamiento T4



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1903114 - LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA EDITH CAMARGO ZAMORA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : LODO DE PTAR TRATADO
1903114) T-4

PROCEDENCIA : PTAR - CITRAR
TIPO DE ENVASE : Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 150 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019 - 03 - 22
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 22
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 27

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1903114
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	< 3

Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo

Método:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 27 de marzo de 2019

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

Anexo 6 Panel Fotográfico

Fotografía 1 Preparación de la Activación Bacteriana de T2 y T4



Fotografía 2 Pesado de la melaza



Fotografía 3 Preparación de Tratamientos



Fotografía 4 Preparación de los Tratamientos



Fotografía 5 Preparación para Titulación



Fotografía 6 Medición de pH del B-Lac

