

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ABONO LÍQUIDO ESTABILIZADO  
MEDIANTE FERMENTACIÓN ACIDOLÁCTICA DE LOS RESIDUOS  
PROVENIENTES DE UN SISTEMA DE SANEAMIENTO ECOLÓGICO SECO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

HUINGO VARGAS, JORGE LUIS

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por sus grandes enseñanzas en principios y valores; quienes son el principal motivo de mi superación diaria. A Catalina, por su gran rol de segunda madre con sus hermanos menores.

A la memoria de Roberto Huingo, el héroe de la familia arriba en el cielo, por su gran ejemplo de valentía, perseverancia y superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi asesor, el Ing. César Velarde Hurtado, por brindarme su valioso tiempo, conocimientos e interés para la elaboración de este trabajo.

A la Lic. Jenny Benites, responsable del Laboratorio de Química Ambiental de la Untels por brindarme el espacio y equipos necesarios para realizar el desarrollo de las pruebas de laboratorio de este trabajo.

A la Bachiller y colega, Naomi Rendón Anchayhua por facilitarme los insumos químicos, equipos de medición y el consorcio de bacterias acidolácticas, por el apoyo e interés en la investigación en tratamientos de residuos de baños portátiles.

A la Asociación Civil Sanisol (X-Runner) por brindarme la materia prima para el presente trabajo de investigación; además, de apostar por un sistema de saneamiento ecológico logrando que miles de familias peruanas tengan acceso a un servicio de saneamiento digno en sus hogares.

Al Ing. David Licapa Tacuri, por todo su apoyo durante mi formación académica; y a la Ing. Zanny Valencia por su apoyo en la revisión de este trabajo.

A todos mis amigos y familiares que me apoyaron durante la elaboración de este trabajo.

## ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS .....	vii
LISTADO DE TABLAS .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	xi
CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO .....	15
1.3.1. Teórica .....	15
1.3.2. Temporal .....	15
1.3.3. Espacial.....	15
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.4.1. Problema general .....	15
1.4.2. Problemas específicos .....	16
1.5. OBJETIVOS.....	16
1.5.1. Objetivo general .....	16
1.5.2. Objetivos específicos.....	16
CAPÍTULO II: Marco Teórico.....	18
2.1. ANTECEDENTES.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	20
2.2. BASES TEÓRICAS .....	22
2.2.1. Excretas humanas.....	22

2.2.2. Orina humana.....	23
2.2.3. Excretas humanas y agricultura ecológica .....	23
2.2.4. Fermentación acidoláctica.....	24
2.2.5. Melaza de caña .....	24
2.2.6. Fertilizantes orgánicos.....	25
2.2.7. Compostaje .....	25
2.2.8. Marco legal ambiental .....	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	27
2.3.1. Residuos sólidos .....	27
2.3.2. Residuos peligrosos .....	28
2.3.3. Semisólido.....	28
2.3.4. Residuos sólidos de saneamiento.....	28
2.3.5. Biosólido.....	28
2.3.6. Estabilización de lodo.....	29
2.3.7. Huevo de helminto.....	29
2.3.8. Higienización .....	29
2.3.9. Estabilización biológica .....	29
2.3.10. Estabilización agronómica.....	30
2.3.11. Consorcio microbiano de bacterias acidolácticas (BAL).....	30
2.3.12. Excretas neutralizadas .....	30
2.3.13. Tratamiento .....	31
2.3.14. Acondicionador de suelo .....	31
2.3.15. Agentes patógenos .....	31
2.3.16. Lodos fecales .....	31

CAPÍTULO III: Modelo de Solución Propuesto.....	32
3.1. METODOLOGÍA .....	32
3.1.1. Estabilización agronómica de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco .....	32
3.1.2. Producción de abono líquido estabilizado a partir de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco, para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes .....	40
3.1.3. Evaluación de la eficiencia de la fermentación acidoláctica frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco.....	46
3.2. RESULTADOS .....	48
3.2.1. Estabilización agronómica de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco .....	48
3.2.2. Producción de abono líquido estabilizado a partir de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco, para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes .....	59
3.2.3. Evaluación de la eficiencia de la fermentación acidoláctica frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco.....	75
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES .....	84
BIBLIOGRAFÍA .....	85
ANEXOS .....	89

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de saneamiento seco X-Runner.....	13
Figura 2. Porcentaje de acidez titulable. ....	36
Figura 3. Radícula e hipocótilo de una planta .....	41
Figura 4. Porcentaje de germinación.....	42
Figura 5. Porcentaje de germinación relativa .....	42
Figura 6. Porcentaje de inhibición de la germinación .....	43
Figura 7. Crecimiento relativo de la radícula .....	43
Figura 8. Crecimiento relativo del hipocótilo.....	44
Figura 9. Inhibición de la radícula.....	44
Figura 10. Inhibición del hipocótilo .....	44
Figura 11. Índice de Germinación .....	45
Figura 12. Cálculo de gasto de agua en urinario seco .....	47
Figura 13. Costo de producción unitario.....	48
Figura 14. Variación de pH del tratamiento .....	51
Figura 15. Correlación entre el pH y % de acidez titulable .....	53
Figura 16. Variación del % de acidez titulable.....	54
Figura 17. Comparación entre pH y el porcentaje de acidez titulable .....	55
Figura 18. Comportamiento del pH y la C.E. en diluciones .....	63
Figura 19. Porcentajes de germinación de semillas .....	66
Figura 20. Porcentaje de Inhibición de la Germinación de semillas .....	67
Figura 21. Inhibición de crecimiento relativo de la radícula de semillas .....	69
Figura 22. Inhibición de Crecimiento de Hipocótilo de semillas.....	71

Figura 23. Índice de Germinación de semillas.....	73
Figura 24. Flujoograma del proyecto.....	89
Figura 25. Informe de materia orgánica al producto líquido estabilizado .....	90
Figura 26. Informe microbiológico del producto líquido estabilizado .....	91
Figura 27. Informe microbiológico del producto sólido estabilizado .....	92
Figura 28. Informe parasitológico del producto líquido estabilizado .....	93
Figura 29. Cadena de custodia análisis parasitológico .....	94
Figura 30. Homogenización de la mezcla .....	95
Figura 31. Reactor de fermentación .....	95
Figura 32. Urinario seco casero .....	96
Figura 33. Registro de uso de urinario seco.....	96
Figura 34. Filtrador casero .....	97
Figura 35. Producto líquido estabilizado filtrado .....	97
Figura 36. Germinación de semillas .....	98
Figura 37. Medición directa de pH en reactor.....	98
Figura 38. Acondicionamiento de muestras para laboratorio .....	99
Figura 39. Diluciones y placas petri.....	99



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de insumos para la mezcla .....	33
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos .....	37
Tabla 3. Parámetros microbiológicos para muestra líquida.....	38
Tabla 4. Parámetros microbiológicos para muestra só .....	39
Tabla 5. Parámetros parasitológicos .....	39
Tabla 6. Diluciones de producto líquido estabilizado para ensayo de fitotoxicidad ...	40
Tabla 7. Insumos para la fermentación .....	49
Tabla 8. Condiciones iniciales de pH de la materia prima .....	50
Tabla 9. Registro diario de pH.....	51
Tabla 10. Valores de acidez titulable .....	52
Tabla 11. Cantidad de producto líquido estabilizado producido.....	56
Tabla 12. Resultados análisis fisicoquímico de producto liquido estabilizado .....	57
Tabla 13. Resultados de análisis microbiológico y parasitológico.....	58
Tabla 14. Comparación nutricional con otros abonos líquidos comerciales .....	59
Tabla 15. Diluciones, valor de pH y conductividad eléctrica .....	63
Tabla 16. Tamaño de radícula e hipocótilo.....	64
Tabla 17. Porcentaje de germinación de semillas.....	65
Tabla 18. Germinación relativa e inhibición de la germinación de semillas .....	67
Tabla 19. Crecimiento relativo de radícula e inhibición de crecimiento de radícula ..	69
Tabla 20. Crecimiento relativo e inhibición de crecimiento de hipocótilo.....	70
Tabla 21. Índice de Germinación de semillas .....	72
Tabla 22. Resumen estadístico de variables de la radícula .....	74

Tabla 23. Análisis de varianza del crecimiento de la radícula .....	75
Tabla 24. Comparación de tecnologías.....	76
Tabla 25. Comparación del rendimiento de procesos .....	77
Tabla 26. Porcentajes de extracción entre ambos procesos.....	77
Tabla 27. Consumo de agua en ambos procesos .....	79
Tabla 28. Costos de insumos utilizados en 30 kg de mezcla .....	80
Tabla 29. Comparación de costos entre compostaje y fermentación .....	81
Tabla 30. Precio del producto líquido estabilizado .....	82
Tabla 31. Crecimiento de radícula.....	100
Tabla 32. Crecimiento de hipocótilo .....	101
Tabla 33. Datos de germinación de <i>Lactuca sativa</i> .....	102

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar la aplicación de la fermentación acidoláctica como tratamiento alternativo para la higienización de las excretas humanas y orina humana, provenientes de los sistemas de saneamiento ecológico seco o sistemas de saneamiento no convencional, para obtener un producto líquido estabilizado y su posterior aprovechamiento en la nutrición de especies vegetales en las áreas verdes, creando un valor agregado a un recurso que comúnmente es considerado como un residuo no aprovechable.

La evaluación en la producción de abono líquido, surge a partir de la necesidad de la búsqueda en la maximización del aprovechamiento de los recursos que los sistemas de saneamiento ecológico generan; y así lograr crear una economía de cero residuos para las empresas dedicadas a brindar los servicios de instalación, recolección y tratamiento de excretas humanas a través de baños secos en las comunidades periurbanas y rurales que no cuenten con un servicio de saneamiento conectado a una red de alcantarillado público.

Por otra parte, busca establecer los criterios básicos que permitan la implementación del tratamiento biológico a escalas superiores para una mayor rentabilidad económica y ambiental respecto a otros procesos que demandan de mayores tiempos; así mismo, buscar el manejo y disposición segura de excretas para disminuir las enfermedades asociadas a las mismas.

## **CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Las excretas humanas generadas por el hombre constituyen la causa principal de las enfermedades gastrointestinales que afectan a las comunidades que no cuentan con el servicio básico de alcantarillado conectado a una red de desagüe, principalmente debido a la falta de inversión pública y la escasez de agua.

Este es el caso de las comunidades periurbanas de Lima, capital peruana que es considerada la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto, contando con una población aproximada de 1.5 millones de limeños que no tiene acceso al agua potable en sus viviendas (AquaFondo, 2015). Además, en el que se encuentran más 661 mil habitantes sin acceso a un sistema de alcantarillado, contando con infraestructura de disposición de excretas a letrinas o pozos sépticos en sus hogares, los cuales suelen colapsar cuando se acumulan las heces y orina; convirtiéndose en focos infecciosos para enfermedades mortales y generación de malos olores. Además, se convierten en agentes contaminantes para el suelo y las aguas subterráneas, generación de daños a los cimientos de las viviendas, entre otros efectos.

En el 2012, la Asociación Civil Sanisol logra implementar un sistema de saneamiento ecológico seco en los asentamientos humanos de los distritos de Lima Sur denominado X-Runner, un sistema de saneamiento alternativo no convencional que consiste en la recolección selectiva de residuos mediante la instalación de baños secos portátiles, con separación de orina, en lugares donde es difícil la

instalación del sistema de alcantarillado. La empresa se encarga de recoger semanalmente los residuos que son llevados a una planta de tratamiento, para iniciar con el proceso de deshidratación por medio de compostaje de las excretas en el cual se pueda inhibir los microorganismos patógenos presentes (X-Runner, 2019).



Figura 1. Sistema de saneamiento seco X-Runner  
Fuente: X-Runner

Esta tecnología de eliminación de patógenos requiere de mano de obra para realizar las labores de volteo e hidratación durante aproximadamente seis meses; además de requerir grandes extensiones de terrenos para las formaciones de pilas (Mindreau, 2016), motivo por el cual se plantea la implementación de una nueva tecnología que actualmente representa un avance en cuanto al costo beneficio

obtenido. Es decir, se utiliza un reducido espacio y el tiempo de tratamiento es diez veces menor.

En la búsqueda de la implementación de esta tecnología en los sistemas de saneamiento ecológico seco, la presente investigación se plantea la siguiente pregunta ¿En qué medida la producción de abono líquido estabilizado mediante fermentación acidoláctica optimiza el proceso de estabilización de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como finalidad aplicar la fermentación acidoláctica en la estabilización de excretas humanas y orina humana provenientes de los sistemas de saneamiento ecológico, para lograr eliminar los microorganismos patógenos que representan un riesgo sanitario si no se lleva a cabo un correcto tratamiento o disposición final de excretas; así mismo, se pretende demostrar que esta tecnología al ser más eficiente que el compostaje puede ser replicable en situaciones de emergencia, desastres naturales, inundaciones entre otros; donde el manejo de lodos fecales o excretas se vuelven un problema sanitario que desencadenaría una serie de enfermedades.

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.3.1. Teórica**

El presente trabajo tiene como fundamento principal a la fermentación ácido-láctica, como alternativa biotecnológica aplicada al tratamiento e higienización de excretas humanas.

#### **1.3.2. Temporal**

Desarrollado durante los meses de febrero y marzo del 2019 (2 meses).

#### **1.3.3. Espacial**

La parte experimental del trabajo se desarrolló en el Taller de Procesos Agroecológicos y los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, en el distrito de Villa El Salvador.

### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.4.1. Problema general**

- ¿En qué medida la producción de abono líquido estabilizado mediante fermentación acidoláctica optimiza el proceso de estabilización de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco?

#### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿Se puede estabilizar agronómicamente, mediante fermentación acidoláctica, los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco?
- ¿Se puede utilizar el abono líquido estabilizado proveniente de un sistema de saneamiento ecológico seco para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes?
- ¿En qué medida la fermentación acidoláctica es más eficiente en cuanto al ahorro de tiempo y agua frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco?

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- Evaluar la producción de abono líquido estabilizado mediante fermentación acidoláctica de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Estabilizar agronómicamente los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco.
- Producir abono líquido estabilizado a partir de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes.



- Evaluar la eficiencia de la fermentación acidoláctica frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco.

## CAPÍTULO II: Marco Teórico

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Odey *et al.* (2018), en la investigación titulada “*Locally produced lactic acid bacteria for pathogen inactivation and odor control in fecal sludge*”, utilizó una combinación de harina de arroz fermentada y azúcar rubia como medio para producir ácido láctico, que posteriormente es utilizado como tecnología de pretratamiento para la evaluación de la desinfección de coliformes fecales presentes en lodos fecales. En la evaluación se utilizaron los reactores 1:1 y 1:2 p/p (proporción, lodo fecal: ácido láctico) y un reactor de control, que inicialmente presentaban  $0,6 \times 10^8$ ,  $0,9 \times 10^8$  y  $2,4 \times 10^8$  CFU/100 mL, respectivamente; después de 15 a 17 días de fermentación acidoláctica se lograron eliminar totalmente los coliformes fecales por debajo del límite de detección ( $<3 \log_{10}$  UFC/100 mL) en ambos reactores, mientras que en el reactor de control se mantuvo en  $2,3 \times 10^8$  UFC/100 mL. El pH final de los reactores 1:1 y 1:2 y del control fue de 3.7, 3.9 y 7.91, respectivamente. Concluyendo que los microorganismos patógenos presentes en el lodo fecal pueden eliminarse completamente a través de una técnica de bajo costo y un simple proceso de fermentación ácido láctico en tan solo 17 días.

Andreev *et al.* (2017), en su investigación titulada “*Lactic acid fermentation of human urine to improve its fertilizing value and reduce odour emissions*”, utilizó la técnica de fermentación acidoláctica para fermentar la orina humana, utilizando bacterias acidolácticas a partir de juego de chucrut en frascos de vidrios cerrados,

durante 36 días con pH inicial de 5.2 a 5.3 y  $\text{NH}_4^+ \text{-N} = 1.2$  a 1.3 g/L, comparándola con orina humana almacenada sin tratamiento. Evidenciando una reducción de pH 3.8 - 4.7 en la orina con ácido láctico, mientras que en la orina sin ácido láctico el pH aumento a 6.1; por otro lado, el contenido de amonio fue de 22-30% y 32 %, respectivamente. Se realizó una evaluación del olor de la orina sin tratar, percibido subjetivamente por cuatro personas como dos veces más fuerte que la orina tratada. También se sometió a un ensayo de germinación del rábano, logrando obtener mayor porcentaje de germinación de 74-86% versus 2-31% en la orina tratada en comparación con la orina sin tratar, respectivamente. Logrando concluir que la fermentación acidoláctica es una técnica rentable para disminuir la volatilización del nitrógeno y reducir las emisiones de olores.

Anderson *et al.* (2015), en la investigación titulada "*Lactic acid fermentation, urea and lime addition: promising faecal sludge sanitizing methods for emergency sanitation*", realizaron ensayos para tres métodos de desinfección de lodos fecales de una letrina en Malawi, utilizando el tratamiento mediante fermentación acidoláctica, adición de cal y adición de urea, estableciendo como indicador a *E. coli* para la eliminación de organismos patógenos. La reducción de *E. coli* mediante el tratamiento de la fermentación acidoláctica (melaza 10%, 10% bacterias acidolácticas) logró reducir en 168 horas a pH 4.2 (una semana), el tratamiento con cal (7% al 17% p/p) pudo reducir en aproximadamente 1 hora a niveles por debajo del límite detectable con un  $\text{pH} > 11$  y el tratamiento con urea (2.5 %) lo realizo en 96 horas (4 días). Demostrando que los tres métodos de desinfección poseen un potencial de aplicación y efectividad en situaciones de emergencia; sin embargo,

se concluye que para los sistemas de saneamiento donde la desinfección de lodos fecales se realiza a largo plazo, la fermentación acidoláctica puede resultar la más adecuada cuando el lodo fecal desinfectado se va a utilizar como un recurso fertilizante para su comercialización.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Quiñones (2016), realizó la investigación *“Producción de abono líquido acelerado con heces de alpaca, lactosuero bovino y melaza de caña mediante fermentación homoláctica”* realizada en las instalaciones del Laboratorio de Biorremediación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, obtuvo como conclusiones que la proporción de heces de alpaca (40%), lactosuero bovino (40%), melaza de caña (15%) y Biolac (5%), produjo un abono líquido acelerado altamente ácido (pH = 3.70), salino (C.E.= 24 dS/m), de alta calidad nutricional e inocuidad microbiológica al quinto día de fermentación, con rendimiento líquido del 57%, presentando ausencia relativa de coliformes fecales, coliformes totales y E. coli, descartando la posibilidad de generar daño a la salud ambiental y pública.

Buchelli (2014), en su trabajo titulado *“Producción de biofertilizante de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería mediante fermentación homoláctica”* en la que utiliza bagazo de caña, excretas de ganado vacuno, bacterias acidolácticas, melaza de caña y lactosuero para llevar a cabo la estabilización de las excretas de vacuno mediante fermentación acidoláctica, realizando una homogenización de mezcla en distintas proporciones que finalmente se logró obtener las siguientes principales conclusiones: el mejor

tratamiento con una proporción de 80% de mezcla de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería, 5% de B-lac y 15% de melaza resultó el óptimo para la producción de biofertilizante, según su nivel de pH obtenido (pH = 3.59), quedando libre de organismos patógenos (coliformes totales y coliformes fecales, debajo del límite de detección) según análisis microbiológicos. Determinándose como una dosis optima de aplicación como abono liquido la de 0.01%.

Mindreau (2016), con el trabajo de investigación titulado *“Estabilización de heces humanas provenientes de baños secos por un proceso de fermentación ácido láctica”*, realizada una técnica alternativa al compostaje de excretas que antiguamente desarrollaba X-Runner en la cual utiliza un consorcio bacteriano de bacterias ácido-lácticas denominado “Biolac”. La fermentación acidoláctica fue desarrollada a temperatura de ambiente, realizando un pretratamiento a las excretas mediante dilución en agua destilada en proporción 5:1 (excretas: agua destilada). Se evaluó durante 30 días, lográndose determinar que la proporción 2.5% de Biolac, 10% de melaza y 87.5% de excretas humanas pretratadas fue la óptima según los resultados obtenidos en el nivel de pH, inhibición de agentes patógenos (reducción de patógenos al 99.9%) y el ensayo de fitotoxicidad determina que puede ser utilizado como fertilizante liquido en una dosis de dilución de 1/100.

Vargas (2017), realiza la investigación titulada *“Tratamiento del residuo de baños portátiles y elaboración de abono líquido mediante bacterias ácido-lácticas”* para el tratamiento de residuos de baños portátiles utilizando la fermentación acidoláctica utilizando el inóculo bacteriano “B-Lac” y melaza de caña, obteniendo

como principales conclusiones que el tratamiento compuesto por 10% p/p de B-Lac, 15% p/p de melaza y 75% p/p del residuo de baños portátiles resulto ser el mejor tratamiento analizado en base al comportamiento de pH, acidez titulable, tiempo de estabilización y evaluación de costos; logrando un pH promedio de 4,07 y una concentración promedio de ácido láctico de 1,56% a los cinco días de fermentación. Además, se logró la reducción de microorganismos patógenos al 99.99% inicialmente presentes en los residuos de los baños portátiles, con valores inferiores a los límites de detección del método de ensayo, concluyendo que el producto estabilizado cumple potencialmente para ser aplicado como fertilizante líquido en una dosis óptima en agua de 1/300.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Excretas humanas**

El ser humano genera un promedio diario de 100 a 200 gramos de excretas, en países de ingresos altos (Strande *et al.* 2014), de los cuales 25 – 50 gramos es materia sólida, el promedio en niños es de 75 – 374 g/persona/día, mientras que en infantes es de 85 g/persona/día. La alimentación el peso corporal influye directamente en el peso de las excretas; así mismo, el sexo y la raza también son variables que afectan en la producción de excretas (Mindreau, 2016). La frecuencia de defecación de una persona presenta de un depósito diario, variando en ocasiones desde 1 vez a la semana hasta 5 veces al día (Strande *et al.* 2014).

La presencia de microorganismos patógenos como coliformes fecales son altamente  $1 \times 10^5$  CFU/100 mL en muestras de excretas humanas de baños

públicos, mientras que la presencia de huevos de helmintos presentes es de  $2 \times 10^4$  a  $6 \times 10^4$  N/L (Strande *et al.* 2014).

### **2.2.2. Orina humana**

El consumo de líquidos, la actividad física, el clima y la dieta son factores variantes de la orina excretada diariamente por persona, teniendo como promedio de 1000 a 1300 g/persona/día en una población adulta (Strande *et al.* 2014).

Según Richert *et al.* (2011) la orina contiene cantidades significativas de los principales macronutrientes que requieren las plantas. El nitrógeno, es el principal macronutriente que se produce en altas concentraciones, mientras que el fosfato y potasio se producen en cantidades relativamente bajas y de fácil asimilación para las plantas.

La orina proveniente de sistemas de saneamiento sostenible o baños secos y que es almacenada en tanques de recolección, debido a la acumulación de la ureasa forma sedimentos donde la orina ha permanecido inmóvil. La concentración de fosforo en estos sedimentos puede ser más del doble que en el resto de la orina (Jönsson *et al.* 2004).

### **2.2.3. Excretas humanas y agricultura ecológica**

Las excretas humanas contienen grandes concentraciones de nutrientes como el nitrógeno y el fosforo, que pueden ser aplicadas a especies vegetales o en beneficio de suelos degradados por el exceso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Strande *et al.* 2014).

Las excretas humanas son ricas en materia orgánica, fósforo y potasio, mientras que la orina es rica en nitrógeno, aunque presentan bajos niveles de metales pesados (Mindreau, 2016).

#### **2.2.4. Fermentación acidoláctica**

Es un proceso celular anaerobio realizado por bacterias acidolácticas, hongos, mohos, levaduras y algunas algas completamente en condiciones anaerobias que tiene como único fin producir ácido láctico. Este producto proveniente de la fermentación de carbohidratos es usado ampliamente en la elaboración y producción de alimentos fermentados, ya que se producen otros compuestos que contribuyen con el sabor, olor, color y textura; además, tiene la capacidad de inhibir a las bacterias patógenas debido a los bajos niveles de pH (Parra, 2010).

#### **2.2.5. Melaza de caña**

La melaza es un efluente final de la industria azucarera, para la obtención del azúcar mediante cristalización final repetida. Es un producto final, por lo tanto, ya no se puede extraer más azúcar por métodos físicos. (Quiñones, 2016). Esta compuesta por agua, sacarosa, glucosa, levulosa, cenizas, compuestos nitrogenados, compuestos no nitrogenados, ceras esteroideas y esterofosfolípidos (Buchelli, 2014). En el proceso de fermentación acidoláctica aporta la energía necesaria para la activación del metabolismo microbiológico de las bacterias acidolácticas.



### **2.2.6. Fertilizantes orgánicos**

Son aquellos productos provenientes de la descomposición vegetal, animal o en conjunto; también conocidos como abonos orgánicos o biofertilizante. Utilizados ampliamente para la mejora de la fertilidad de los suelos, aportando nutrientes para la mejora de las características biológicas, físicas y químicas y de esta manera aumentar la productividad de los cultivos, sin la necesidad de la fertilización con fertilizantes químicos (Buchelli, 2014).

Según Soto & Meléndez (2008), citados por Buchelli (2014) se puede clasificar en dos tipos a los fertilizantes: sólidos y líquidos. Los fertilizantes sólidos son aquellos obtenidos de las excretas de animales, desechos vegetales, rastrojos o follajes y abonos verdes sin procesar; también, de aquellos procesados como el compost, bocashi y lombricompost. Los fertilizantes líquidos, se puede obtener de efluentes industriales sin procesar; y procesados como el té de compost, te de estiércol y biofermentos.

### **2.2.7. Compostaje**

El proceso de compostaje es la descomposición y estabilización de diversos residuos orgánicos, por la acción de microorganismos benéficos que se desarrollan bajo condiciones controladas de aire, temperatura y humedad. Este proceso aeróbico (con presencia de aireación u oxigenación) permite obtener un producto final suficientemente estable para la incorporación al suelo sin efectos ambientales adversos (Prado, 2017).

### **2.2.8. Marco legal ambiental**

La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. N° 1278) y su Reglamento (D.S. 014-2018-MINAM) regula el manejo de 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, considerándolos no peligrosos y posibilitando la comercialización previo tratamiento para el aseguramiento de la inocuidad y calidad del biosólidos. Sin embargo, esta norma aplica solamente para el tratamiento de los biosólidos y su aprovechamiento como mejorador o acondicionador de suelos (abono sólido).

La Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (R.M. N° 192-2018-VIVIENDA) establece el manejo y disposición final de aguas grises (ducha, lavadero y orina) y excretas en los sistemas de saneamiento básico de las zonas rurales, otorgando la responsabilidad a cada familia el manejo y aprovechamiento de las excretas provenientes de las letrinas composteras secas.

Las excretas humanas, inicialmente húmedas al momento de la defecación, en los sistemas de saneamiento ecológico han sido separadas y neutralizadas mediante un material secante (aserrín, tierra, o cal) para absorber la humedad, entonces se puede considerar como un residuo semisólido (no líquido). Por lo tanto, las excretas humanas provenientes de los sistemas de saneamiento ecológico seco se encuentran en la posibilidad de recibir un tratamiento de transformación segura

para su posterior comercialización como un mejorar de suelos solido o líquido, según el tipo de tratamiento recibido.

El Instituto Nacional de Calidad, mediante la Norma Técnica Peruana NTP 311.557:2018 (FERTILIZANTES. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelos), establece la clasificación de productos orgánicos empleados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores del suelo. Esta norma no es de carácter exigible, sino con fines de cumplimiento de requisitos mínimos para todo tipo de fertilizantes orgánicos y orgánicos-minerales.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

La siguiente lista de términos ha sido extraída de la normativa ambiental peruana de residuos sólidos y aprovechamiento de biosólidos; y otras, de distintos proyectos y tesis de investigación.

#### **2.3.1. Residuos sólidos**

Los residuos sólidos incluyen todo residuo o desecho en fase sólida o semisólida. También se considera residuos aquellos que siendo líquido o gas se encuentran contenidos en recipientes o depósitos que van a ser desechados, así como los líquidos o gases, que por sus características fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser vertidos al ambiente.

### **2.3.2. Residuos peligrosos**

Son residuos sólidos peligrosos aquéllos que, por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.

### **2.3.3. Semisólido**

Material o elemento que normalmente se asemeja a un lodo y que no posee suficiente líquido para fluir libremente.

### **2.3.4. Residuos sólidos de saneamiento**

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento retirado de las labores de mantenimiento de los sistemas que conforman los servicios de saneamiento: alcantarillado sanitario y del pretratamiento aplicado a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Comprende además los lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales y del servicio de disposición sanitaria de excretas.

### **2.3.5. Biosólido**

Es 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.

### **2.3.6. Estabilización de lodo**

Es el proceso de reducción de fracción orgánica (Sólidos Volátiles - SV) con relación a la materia seca (Sólidos Totales - ST) 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 las Plantas de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR).

### **2.3.7. Huevo de helminto**

Es el huevo proveniente del grupo de gusanos parásitos que afectan a la salud. Se consideran huevos de helmintos viables a aquellos susceptibles de desarrollarse e infectar.

### **2.3.8. 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 Reglamento de Aprovechamiento de Biosólidos (D.S N 015-2017-VIVIENDA).

### **2.3.9. Estabilización biológica**

Proceso que neutraliza la peligrosidad de un residuo mediante procedimientos bioquímicos, con la única finalidad de obtener un residuo inocuo.

### **2.3.10. Estabilización agronómica**

Proceso de transformación aplicado a la neutralización de la peligrosidad de residuos que tienen como origen materia orgánica fresca, puede ser mediante compostaje o fermentación.

### **2.3.11. Consorcio microbiano de bacterias acidolácticas (BAL)**

Es un producto biofertilizante comercial que presenta inocuidad microbiológica, con presencia de bacterias benéficas como *Lactobacillus* spp, y con ausencia relativa de coliformes fecales, coliformes totales y mohos debido al pH ácido (pH = 3.5) que las mismas bacterias benéficas generan y son capaces de tolerar por un periodo largo de tiempo. Es ampliamente utilizado en la producción de biofertilizantes mediante la transformación de excretas animales desarrollando una fermentación homoláctica (desarrollado únicamente por el *Lactobacillus*); además es utilizado como enmienda orgánica en la agricultura y para la reducción de olores desagradables en la ganadería (Quiñones, 2016).

### **2.3.12. Excretas neutralizadas**

Son aquellas que han sido separadas voluntariamente mediante un sistema de baño con separador de orina, en la cual se utiliza un producto para la reducción de la humedad, inhibición de olores como el aserrín de madera, tierra, hojas secas, cascarillas de arroz, ceniza, entre otros que tengan similares propiedades.

### **2.3.13. Tratamiento**

Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el objetivo de prepararlo para su posterior valorización o disposición final.

### **2.3.14. Acondicionador de suelo**

Es toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento de las características físicas, químicas y/o biológicas del suelo.

### **2.3.15. 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.

### **2.3.16. Lodos fecales**

Son los lodos extraídos periódicamente del servicio de disposición sanitaria de excretas tales como letrinas, pozos ciegos y tanques sépticos.

## CAPÍTULO III: Modelo de Solución Propuesto

### 3.1. METODOLOGÍA

#### 3.1.1. Estabilización agronómica de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco

La Norma Técnica Peruana de Fertilizantes establece como requisitos generales para los productos empleados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores del suelo, cuyo origen sea materia orgánica fresca, estos deben ser sometidos a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica, estos procesos de transformación pueden ser compostaje o fermentación; así mismo. Los productos obtenidos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregado o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones (NTP 311.557:2013, 2013). En tal sentido, para la presente investigación se utilizará la fermentación acidoláctica como un proceso de estabilización agronómica de los residuos provenientes del sistema de saneamiento ecológico seco, teniendo como parámetros importantes al pH y % de acidez láctica.

#### Instalación del sistema de tratamiento

Las muestras fueron trasladadas desde la Planta de Tratamiento de la Asociación Civil Sanisol hasta la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (Untels), en recipientes plásticos completamente herméticos y respetando los protocolos de seguridad, para evitar la contaminación de las muestras y del ambiente externo ocasionado por un posible derrame.



Para la instalación del sistema de estabilización se utilizó un recipiente cilíndrico de plástico, de 60 litros de capacidad, el cual tendrá la función de ejercer como un reactor anaerobio durante el proceso de fermentación por su cierre hermético.

La preparación de la mezcla se realizó según lo establecido por Mindreau (2016) en la Tabla 1, utilizando 10 % de melaza, 2.5% de bacterias acidolácticas (BAL) y 87.5 % de excretas diluidas en orina almacenada. La relación existente entre las excretas y la orina fue de 1:2, esto con la finalidad de facilitar una homogenización completa de la mezcla; así mismo tuvo como función de diluyente.

Las mediciones de las masas de los insumos se realizaron utilizando una balanza comercial de resorte, que facilitaba la medición de cantidades mayores.

Tabla 1  
*Porcentaje de insumos para la mezcla*

Insumos	Porcentaje
Melaza	10%
BAL	2.5%
Excretas + Orina	87.5%

Fuente: Elaboración propia (extraído de Mindreau, 2016)

Se mezclaron las excretas con la orina en las proporciones según la Tabla 1 hasta obtener una mezcla homogénea, se mantuvo en agitación la mezcla para añadir en forma simultánea la melaza líquida y las bacterias acidolácticas. Finalizado el proceso de mezcla se mantuvo cerrado el recipiente para evitar el

ingreso de agentes extraños y salida de gases que impidan la correcta fermentación.

### Medición de pH

El procedimiento para las mediciones de pH se realizó según el “Método del Potenciómetro”, utilizado por Vargas (2017), utilizando el equipo Hanna 98129 en el Laboratorio de Química General de la Untels. La calibración del instrumento se realizó utilizando las soluciones buffer 4.01 y 7.01 de la marca HACH.

El procedimiento de medición de pH se inicia calibrando el instrumento de medición, luego se introduce el sensor a una profundidad de dos centímetros en la mezcla, hasta validar la medición cuando el valor expresado en la pantalla del instrumento se mantiene constante por un tiempo mayor a diez segundos (Vargas, 2017).

Se consideraron realizar tres fases de medición de pH:

- Medición inicial: se midió el pH de la orina almacenada, la melaza y las bacterias acidolácticas.
- Medición durante el tratamiento: se midió diariamente (cada 24 horas) el pH de la mezcla en tratamiento.
- Medición final: finalizado el tiempo de tratamiento se midió el pH final de la mezcla tratada.

### Medición de acidez láctica

Se analizó el porcentaje de ácido láctico mediante el “Método de medición indirecta del ácido láctico titulable”, durante el tiempo de duración de la fermentación acidoláctica en el Laboratorio de Química General de la Untels.

Para realizar la medición de acidez láctica mediante titulación se utilizó el indicador Fenolftaleína al 1%, y el reactivo NaOH 0.1 N (Hidróxido de Sodio). Las mediciones de acidez titulable expresada como ácido láctico de la mezcla en fermentación se realizaron diariamente durante el proceso de tratamiento de los residuos, siguiendo los siguientes pasos propuestos por Vargas (2017):

- Preparación de la Fenolftaleína al 1% en un gotero manual.
- Aforar 25 mL del reactivo Hidróxido de Sodio (NaOH 0.1 N) en una bureta, colocada en un soporte universal.
- Pesar 1 gramo de muestra del tratamiento, por triplicado.
- Diluir las muestras en 50 mL de agua destilada, en matraces.
- Añadir 0.3 mL (3 a 4 gotas) del indicador de Fenolftaleína a cada muestra diluida, agitar suavemente.
- Realizar la titulación de las muestras dejando caer libremente el reactivo en cada muestra, hasta el punto final definido por el cambio de coloración del indicador (de color transparente a rojo grosella).
- Anotar el volumen gastado del reactivo, para hallar el porcentaje de ácido láctico titulable con la fórmula siguiente:

$\% \text{ acidez titulable} = \frac{G \times N \times f}{m} \times 100$
<p>Donde:</p> <p>G: gasto de NaOH en titulación (ml)</p> <p>N: Normalidad de NaOH</p> <p>M: Masa de la muestra diluida (g)</p> <p>F: factor de conversión del ácido láctico igual a 0.09</p>

*Figura 2. Porcentaje de acidez titulable*  
Fuente: Mindreau (2016)

El resultado expresará los gramos de ácido láctico presente en 100 gramos de muestra.

#### *Obtención del producto líquido estabilizado*

Para ello se diseñó y construyó un filtrador casero utilizando un balde plástico reciclado de 20 litros de capacidad, haciendo agujeros de 0.8 cm de diámetro en toda la base para facilitar la sedimentación de la mezcla; así mismo, se cubrió la base de agujeros con una tela organza para evitar la filtración de partículas sólidas de tamaños mayores. Se utilizó otro balde plástico de la misma capacidad que fue colocado en la base del filtro para recibir el producto líquido estabilizado filtrado por gravedad por un tiempo de 24 horas.

#### *Estabilización fisicoquímica*

Se entregó una muestra de 1 litro del producto líquido estabilizado al Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), para realizar el análisis de las siguientes variables fisicoquímicas:

Tabla 2  
Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Método de ensayo
pH	Potenciometría. Determinación en pasta saturada.
C.E. (dS/m)	Medición indirecta del contenido de sales solubles en el extracto acuoso obtenido de la pasta saturada.
M.O. en solución (g/L)	Determinación del carbono orgánico por el método de Walkley y Black o del Dicromato de potasio, mediante el cual se estima la materia orgánica así: % Corg. X 1.724 = % Materia orgánica.
N total (mg/L)	Método de Kjeldahl
P total (m/L)	Método del azul de molibdeno. Método alternativo: Amarillo del Vanadato Molibdato.
K total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Ca total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Mg total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Na total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Fe total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Cu total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Zn total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Mn total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
B total (mg/L)	Método colorimétrico empleando la curcumina disuelta en ácido acético glacial.
Pb total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Cd total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.
Cr total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los análisis obtenidos de estos parámetros serán comparados con los valores de los requisitos fisicoquímicos establecidos por la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), a fin de evaluar su cumplimiento para la respectiva clasificación.

### Estabilización biológica

Para determinar la presencia o ausencia de microorganismos patógenos en el producto estabilizado líquido se entregó una muestra de 250 mL al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM, para análisis las siguientes variables microbiológicas:

Tabla 3  
*Parámetros microbiológicos para muestra líquida*

Parámetro	Método de ensayo
Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	International Commission Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.
Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	International Commission Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/mL)	International Commission Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.
Detección de <i>Salmonella sp.</i> en 25 mL	International Commission Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados fueron comparados con los requisitos microbiológicos de la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), para garantizar su cumplimiento con la finalidad de lograr la clasificación del producto.

Para determinar la presencia de organismos parasitarios en el producto estabilizado sólido, proveniente del filtrado. Se entregó una muestra al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM, para el análisis de las siguientes variables:

Tabla 4  
*Parámetros microbiológicos para muestra sólida*

Parámetro	Método de ensayo
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	International Commission Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.
Conteo de larvas y huevos de Helminthos (Nº/g)	Sthandard Methos for the Recovery and Renumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (2008), Waste Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos fueron comparados con los requisitos microbiológicos de la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), a fin de determinar su cumplimiento y clasificación del producto.

Se entregó una muestra de 2 litros del producto líquido estabilizado al Laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C para el análisis de las siguientes variables:

Tabla 5  
*Parámetros parasitológicos*

Parámetro	Método de ensayo
Huevos de Helminthos (Huevo/L)	SAG-141024 Rev. 01 (Validado), 2017. Referenciado en el Método de Bailenger modificado). Identificación y Cuantificación de Huevos de Helminthos en Aguas.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado obtenido fue comparado con los requisitos microbiológicos de la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), a fin de determinar su cumplimiento y clasificación del producto.

### 3.1.2. Producción de abono líquido estabilizado a partir de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco, para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes

#### Composición nutricional

Los resultados de análisis fisicoquímicos de los principales macronutrientes del producto líquido estabilizado fueron comparados con las fichas nutricionales de tres tipos de abonos orgánicos líquidos de características y propiedades similares, con la finalidad de evaluar sus carencias o beneficios.

#### Ensayo de fitotoxicidad

Se utilizaron 30 placas Petri para evaluar la toxicidad del producto líquido estabilizado realizando la germinación de 20 semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) por cada placa Petri y utilizando un total de 600 semillas, con 4 mL de las diluciones del producto líquido, según la siguiente tabla.

Tabla 6  
*Diluciones de producto líquido estabilizado para ensayo de fitotoxicidad*

Dilución	Preparación	Repeticiones	Semillas utilizadas
Control (0/100)	Agua mineral	3	60
0.1/100	0.1 mL de producto en 99.9 mL de agua mineral	3	60
0.5/100	0.5 mL de producto en 99.5 mL de agua mineral	3	60
1/100	1 mL de producto en 99 mL de agua mineral	3	60
1.5/100	1.5 mL de producto en 98.5 mL de agua mineral	3	60
2/100	2 mL de producto en 98 mL de agua mineral	3	60



Dilución	Preparación	Repeticiones	Semillas utilizadas
3/100	3 mL de producto en 97 mL de agua mineral	3	60
5/100	5 mL de producto en 95 mL de agua mineral	3	60
7/100	7 mL de producto en 93 mL de agua mineral	3	60
Concentrado	Producto puro	3	60

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 10 tratamientos por triplicado (3 repeticiones para cada dilución), las cuales se rotularon adecuadamente. Así mismo, estas fueron incubadas a 22 °C durante 120 horas (5 días), protegidas de la luz, en el Laboratorio de Biología, Microbiología y Ecotoxicología de la Untels.

#### Medición de radícula e hipocótilo

Al quinto día, se realizó la medición del crecimiento de la radícula y del hipocótilo de las semillas germinadas, con la ayuda de un papel milimetrado cubierta por una mica plástica para evitar que se humedezca. La medición se realizó en el mismo orden de siembra por cada placa Petri, teniendo en cuenta la fisiología de las plántulas según la siguiente figura:

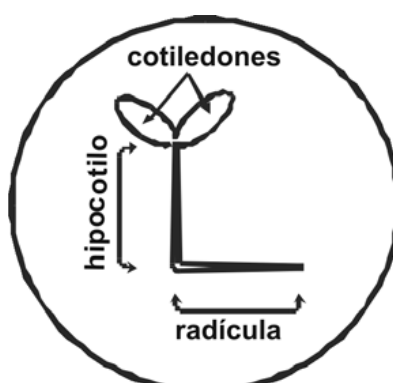


Figura 3. Radícula e hipocótilo de una planta  
Fuente: Sobrero & Ronco (2004)

### Porcentaje de germinación

Se calculó el promedio del porcentaje de germinación de cada dilución, dividiendo el número de semillas germinadas entre las semillas sembradas por cada dilución utilizando la siguiente fórmula.

$$\%G = \frac{G_n}{G_s} \times 100$$

Donde:  
G<sub>n</sub>: Cantidad de semillas germinadas en la placa  
G<sub>s</sub>: Cantidad de semillas sembradas en la placa

*Figura 4. Porcentaje de germinación*  
Fuente: Vargas (2017)

### Porcentaje de inhibición de la germinación

Como primer paso se hizo una comparación entre el promedio de semillas germinadas en cada dilución, respecto al promedio de semillas germinadas en la dilución Control, para la determinación de la Germinación relativa, utilizando la fórmula de la siguiente figura:

$$GR = \frac{G_n}{G_0} \times 100\%$$

Donde:  
GR: Germinación relativa  
G<sub>0</sub>: Semillas germinadas en el Control  
G<sub>n</sub>: Cantidad de semillas germinadas en la Dilución

*Figura 5. Porcentaje de germinación relativa*  
Fuente: Cáceda (2005), citado por Vargas (2017)

Los datos obtenidos de la fórmula anterior se utilizaron para calcular el porcentaje de inhibición de la germinación, aplicando la fórmula siguiente:

$$\%Inh.G = 100\% - GR$$

Donde:  
%Inh.G: Porcentaje de inhibición de la germinación  
GR: Germinación relativa

*Figura 6. Porcentaje de inhibición de la germinación*  
Fuente: Cáceda (2005), citado por Vargas (2017)

### Porcentaje de inhibición del crecimiento

El porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula se calculó utilizando el promedio de crecimiento de cada dilución respecto del promedio de crecimiento del control, según la metodología descrita por Sobrero & Ronco (2004), utilizando la siguiente fórmula:

$$CR_r = \frac{R_n}{R_0} \times 100\%$$

Donde:  
CRR: Crecimiento relativo de la radícula  
R<sub>n</sub>: Tamaño promedio de la radícula en la Dilución  
R<sub>0</sub>: Tamaño promedio de la radícula en el Control

*Figura 7. Crecimiento relativo de la radícula*  
Fuente: Cáceda (2005), Sobrero & Ronco (2004). Citado por Vargas (2017).

El porcentaje de inhibición del crecimiento del hipocótilo se calculó utilizando el promedio del crecimiento de cada dilución y el promedio del crecimiento del control, siguiendo la misma metodología y utilizando la siguiente fórmula:

$$CR_H = \frac{H_n}{H_0} \times 100\%$$

Donde:  
 CRH: Crecimiento relativo del hipocótilo  
 Hn: Tamaño promedio del hipocótilo en la Dilución  
 H0: Tamaño promedio del hipocótilo en el Control

*Figura 8. Crecimiento relativo del hipocótilo*

Fuente: Cáceda (2005), Sobrero & Ronco (2004). Citado por Vargas (2017)

Con los datos anteriores previamente encontrados se calculó la inhibición del crecimiento de la radícula, siguiendo la fórmula siguiente:

$$\% I_R = 100\% - CR_R$$

Donde:  
 IR: Inhibición de la radícula  
 CRR: Crecimiento relativo de la radícula

*Figura 9. Inhibición de la radícula.*

Fuente: Cáceda (2005), Sobrero & Ronco (2004). Citado por Vargas (2017)

Así mismo, la inhibición del crecimiento del hipocótilo:

$$\% I_H = 100\% - CR_H$$

Donde:  
 IH: Inhibición del hipocótilo  
 CRH: Crecimiento relativo del hipocótilo

*Figura 10. Inhibición del hipocótilo*

Fuente: Cáceda (2005), Sobrero & Ronco (2004). Citado por Vargas (2017)

### Cálculo del Índice de Germinación (IG)

El Índice de Germinación se calculó utilizando la fórmula descrita en la siguiente figura:

$$IG = \frac{G_n \times R_n}{G_0 \times R_0} \times 100 \%$$

Donde:

IG: Índice de Germinación

G<sub>0</sub>: Cantidad Promedio de semillas germinadas en el Control

G<sub>n</sub>: Cantidad Promedio de semillas germinadas en la Dilución

R<sub>0</sub>: Tamaño Promedio de Radícula en el Control

R<sub>n</sub>: Tamaño Promedio de Radícula en la Dilución

*Figura 11. Índice de Germinación*  
Fuente: Vargas (2017)

### Fitotoxicidad

Se seleccionó la dilución que presenta un índice de germinación mayor al 80% en las semillas de lechuga, la dilución seleccionada representa la dosis óptima de aplicación del abono líquido en los cultivos.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico del índice de germinación fue evaluado en DCA (diseño completo al azar) con nueve tratamientos y un control, con repeticiones triplicadas por cada uno. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. Los resultados se analizaron mediante el programa Microsoft Excel.

### **3.1.3. Evaluación de la eficiencia de la fermentación acidoláctica frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco**

#### *Tiempo de duración del tratamiento*

Se realizó una comparación de tecnologías de tratamiento, entre el compostaje y la fermentación acidoláctica de los residuos. Se tuvo en cuenta la duración del tratamiento del presente estudio, para ser comparado con los datos obtenidos en la investigación realizada por Mindreau (2016).

#### *Rendimiento del proceso*

Para determinar el rendimiento del tratamiento fue necesario realizar la filtración de la mezcla después de los 15 días de fermentación, posteriormente se calculó el porcentaje de rendimiento del producto líquido estabilizado y el biosólido respecto a la producción final. De igual manera se halló el porcentaje de rendimiento de la producción final respecto a la mezcla inicial antes de la fermentación acidoláctica, utilizando los registros de la filtración.

#### *Consumo de agua*

Se calculó el gasto de agua utilizada en la preparación de la fermentación acidoláctica, identificando como la única fuente de ingreso de agua al sistema a la orina almacenada. En el recojo de orina mediante un urinario seco, instalado en el Taller de Procesos Agroecológicos de la Untels, se utilizaron niveles bajos de agua para la limpieza de las gotas de orina que permanecían en el recipiente del urinario.

$$GA = U_U \times A_U$$

Donde:  
GA: Gasto de agua en urinario seco  
U<sub>u</sub>: Cantidad de usos del urinario seco  
A<sub>u</sub>: Agua utilizada por cada uso (litros)

Figura 12. Cálculo de gasto de agua en urinario seco  
Fuente: Elaboración propia

### Costos de producción

Se registraron los costos unitarios de todos los insumos utilizados en la fermentación acidoláctica, como el costo de la melaza y de las bacterias ácido-lácticas (BAL), el costo de las excretas y orina se consideró como costo cero ya que fueron facilitados de manera gratuita por la Asociación Civil Sanisol y el Taller de Procesos Agroecológicos de la Untels, respectivamente. Con estos datos se estimó el costo total para la estabilización de 26.74 kg de residuos de baños secos.

Con el propósito de determinar y comparar el costo de producción del tratamiento mediante compostaje y el tratamiento mediante fermentación acidoláctica, se utilizó como unidad referencial a una familia constituida por 5 personas, que genera residuos de baños secos durante 30 días y cuyos residuos serían tratados en un espacio de 1 metro cuadrado de terreno ubicado en Villa El Salvador, distrito en donde se ubica la Planta de Tratamiento de la Asociación Civil Sanisol.

Las comparaciones se realizarán en dos fases: costos de inversión y costos de producción, para ambas comparaciones serán útiles considerar el tiempo de

duración de la tecnología, la materia prima utilizada, el producto obtenido y el costo de alquiler de terreno por metro cuadrado.

### Costo del producto líquido estabilizado

Se calculó el costo de producción unitario, mediante la división del costo de insumos utilizados en la fermentación de 30 kg de mezcla y la producción final de producto líquido estabilizado, según la siguiente figura:

$$C. P. U. = \frac{C. I. (SOLES)}{P (LITROS)}$$

Donde:  
C.P.U: Costo de producción unitario  
C.I: Costo de Insumos para 30 kg de mezcla  
P: Producción de abono (litros)

*Figura 13. Costo de producción unitario*  
Fuente: Elaboración propia

## **3.2. RESULTADOS**

### **3.2.1. Estabilización agronómica de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco**

#### Instalación del sistema de tratamiento

Las excretas humanas fueron obtenidas de la Planta de Tratamiento de la Asociación Civil Sanisol, ubicada en el distrito de Villa El Salvador en Lima. Las muestras fueron relativamente frescas con un tiempo no mayor a siete días; es decir, se eligieron aquellas muestras que fueron descargadas del vehículo recolector aquel mismo día provenientes del sistema X-Runner. La orina humana fue obtenida del urinario seco del Taller de Procesos Agroecológicos de la Untels,



la cual había sido almacenada en recipientes plásticos cerrados con una antigüedad de 99 días.

En un recipiente cilíndrico plástico de 60 litros de capacidad fueron vertidos 8,75 kg de excretas (con aserrín), seguidos de 17,5 kg de orina, realizando una mezcla entre ambos insumos con la ayuda de un agitador de madera durante 2 a 3 minutos. En seguida se agregó 3 kg de melaza líquida y 0,75 kg de inóculo bacteriano de bacterias ácido-lácticas (según la tabla de insumos para la fermentación), se procedió a homogenizar todos los insumos por un tiempo aproximado de 3 minutos hasta lograr la obtención de una sola mezcla líquida densa (Mindreau, 2016).

Tabla 7  
*Insumos para la fermentación*

Insumo	Porcentaje	Insumo (gr)
Melaza	10%	3 000
BAL	2.5%	750
Excretas	87.5%	8 750
Orina		17 500
TOTAL		30 000

Fuente: Elaboración propia (extraído de Mindreau, 2016)

El recipiente fue cerrado con una bolsa debajo de la tapa de seguridad para asegurar el cierre hermético del barril, evitando el ingreso de oxígeno hacia el interior del recipiente que inhibiría el desarrollo de la fermentación acidoláctica; siendo finalmente ubicado en el Taller de Procesos Agroecológicos para brindar las condiciones ambientales de temperatura que faciliten una fermentación

acidoláctica adecuada; asimismo, colocando las señalizaciones necesarias sobre bioseguridad para evitar la manipulación de personas ajenas.

### Medición de pH

La medición inicial de pH y densidad de la materia prima líquida utilizados en la fermentación se registra en la siguiente tabla:

Tabla 8  
*Condiciones iniciales de pH de la materia prima*

Insumo	Densidad (g/mL)	pH
Orina almacenada	1,029	7,1
Melaza	1,389	5,4
BAL	1,003	3,7

Fuente: Elaboración propia

El valor del pH de la orina almacenada fue de 7,1 lo que indica una cercanía al valor neutral. El valor del pH medida en la melaza fue de 5,4. Este valor indica que es una sustancia moderadamente ácida debido a la presencia de ácidos orgánicos, como producto del metabolismo de los microorganismos que utilizan a la melaza como fuente rica en azúcares (Vargas, 2017).

El valor del pH de las bacterias ácido-lácticas fue de 3,7 indicando que se trata de una sustancia ácida, característica que es determinada por la alta concentración de ácido láctico presente producido en gran parte por las propias bacterias acidolácticas (Vargas, 2017).

La medición de pH durante el tratamiento se obtuvo mediante medición directa según el “Método del potenciómetro”, durante los primeros 15 días de duración del tratamiento. Los valores se observan registrados en la tabla siguiente:

Tabla 9  
Registro diario de pH

Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6.80	6.10	5.30	4.71	4.45	4.34	4.19	4.18	4.16
Día	9	10	11	12	13	14	15		
pH	4.16	4.15	4.15	4.14	4.14	4.16	4.14		

Fuente: Elaboración propia

Los valores del pH de la fermentación y su comportamiento diario durante los 15 días de duración del tratamiento se grafican en la siguiente figura.

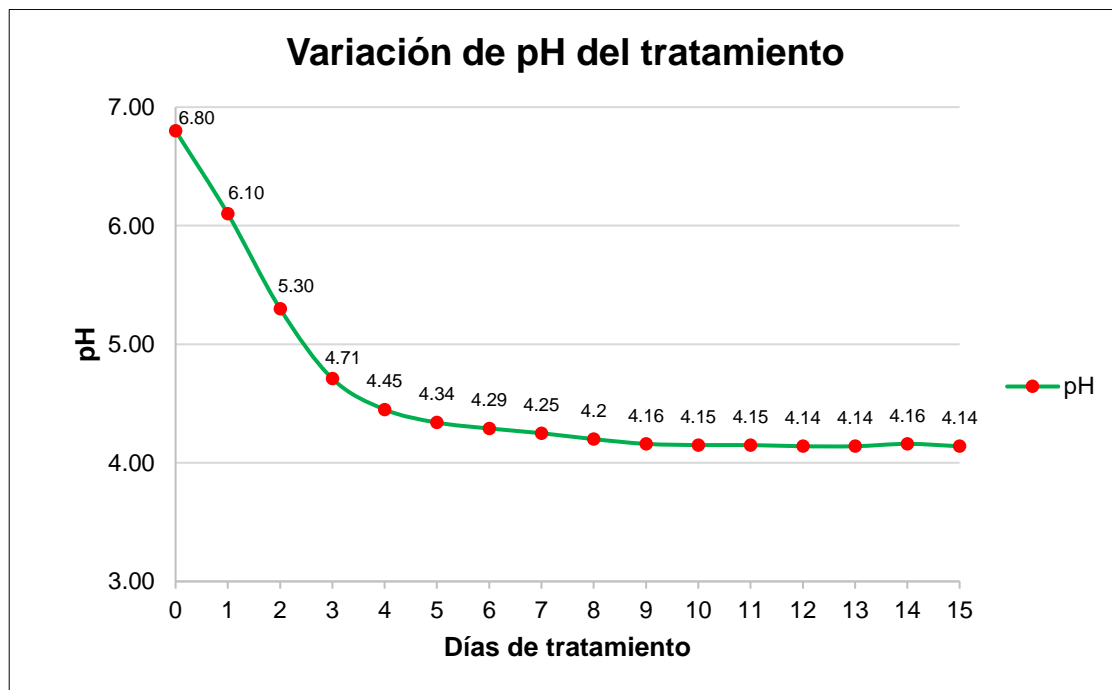


Figura 14. Variación de pH del tratamiento  
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el pH del tratamiento inicia en un valor de 6.8 en el día 0, logrando disminuir hasta un valor de 4.14 en el día 15, se visualiza además una caída ligera de la curva del pH, iniciando en el día 0 hasta el día 5, logrando una estabilidad del pH con valores inferiores a 4.19 desde el día 6 hasta el día 15, donde se obtuvo un valor de pH final a 4.14. Estos valores garantizan la higienización correcta de los patógenos presentes en la mezcla en fermentación.

Medición de acidez láctica

Se calculó el valor del ácido láctico presente en la fermentación mediante el “Método de medición indirecta del ácido láctico titulable”, registrándose los valores de los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 10  
Valores de acidez titulable

Día	pH	% Ácido láctico
0	6.80	0.2
1	6.10	0.6
2	5.30	0.9
3	4.71	1.1
4	4.45	1.6
5	4.34	1.7
6	4.29	2.0
7	4.25	2.07
8	4.2	2.25
9	4.16	2.34
10	4.15	2.43
11	4.15	2.43
12	4.14	2.52

Día	pH	% Ácido láctico
13	4.14	2.52
14	4.16	2.46
15	4.14	2.52

Fuente: Elaboración propia

De los valores registrados se resalta que existe similitud entre los gastos de NaOH para las tres repeticiones de cada medición diaria, lo que indica que la acidez láctica se mantuvo constante al momento de realizar la titulación.

El nivel de relación existente entre el pH y la acidez titulable se determinó utilizando el Coeficiente de Determinación (R), para calcular el Coeficiente de Pearson ( $R^2$ ) entre las variables, como se indica en la siguiente figura:

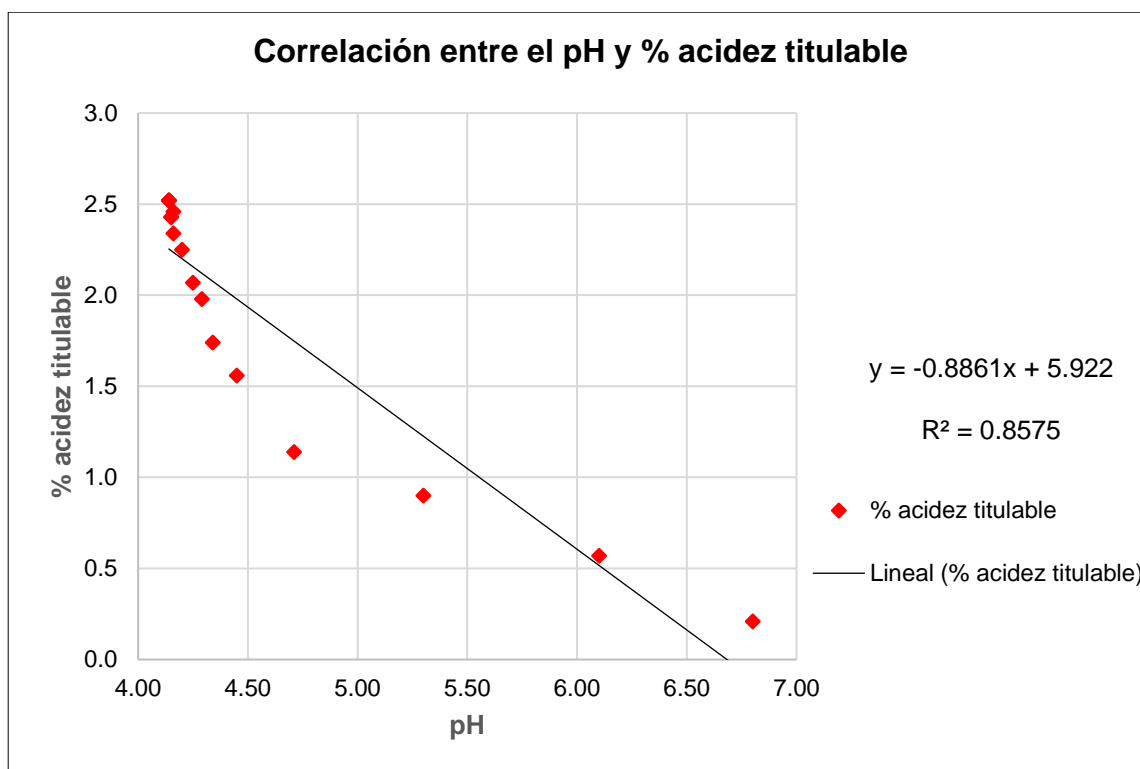


Figura 15. Correlación entre el pH y % de acidez titulable

Fuente: Elaboración propia

El valor del coeficiente de determinación R resultante es de -0.925988971, que demuestra una relación lineal inversa fuerte entre el pH y la acidez láctica.

En la figura siguiente se expresa la variación del porcentaje de acidez titulable del ácido láctico, desde el inicio hasta los 15 días de la fermentación. Además, se puede observar que conforme disminuye el pH, contrariamente sucede con el porcentaje de acidez titulable que va subiendo gradualmente, esto se observa en la siguiente figura.

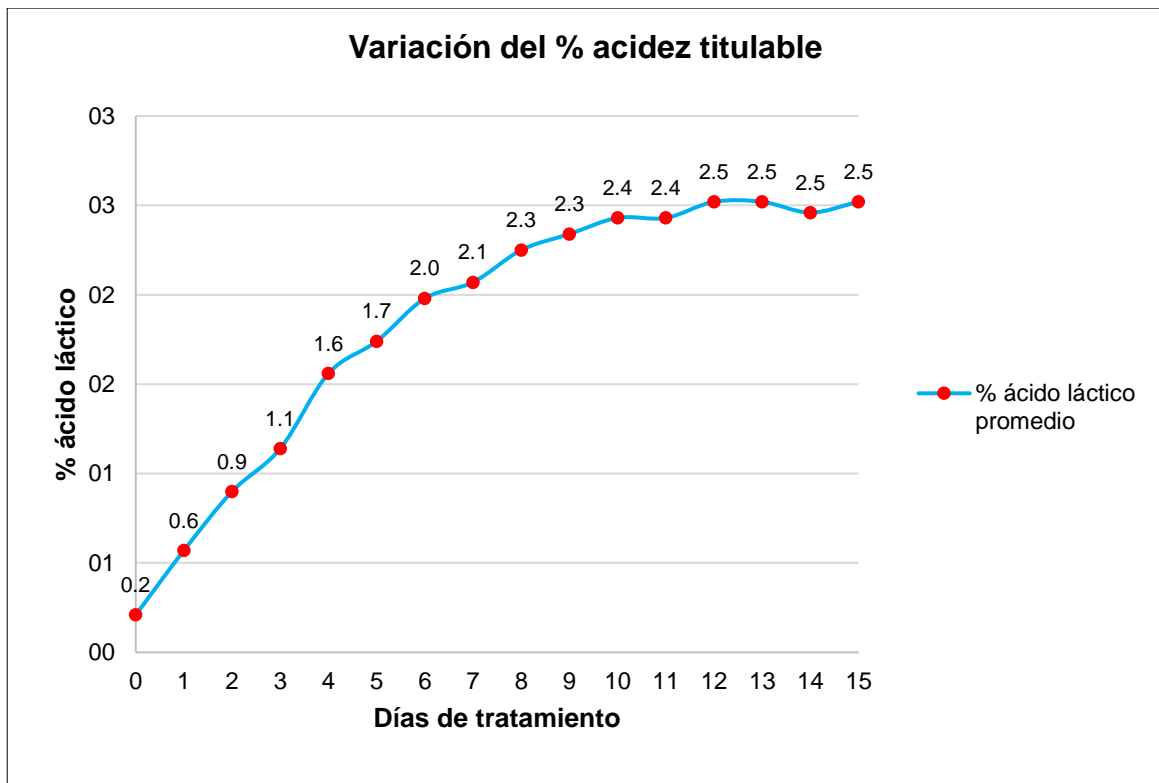


Figura 16. Variación del % de acidez titulable  
Fuente: Elaboración propia

Se observa un incremento ligero del porcentaje de acidez titulable, parámetro que es utilizado para indicar la cantidad de ácido láctico producido, en gran mayoría por las bacterias acidolácticas presentes en el consorcio bacteriano

de BAL, desde el inicio hasta el noveno día de la fermentación. El menor pH indica un mayor contenido de ácido láctico que no necesariamente es producido por las bacterias acidolácticas, sino también debido a una menor presencia de otros ácidos, como el acético, propiónico, butírico y ácido grasos. Martínez *et al.*, citado por Mindreau (2016) indica que en una fermentación de estiércol con pH de 4,3 se encuentra en mayor cantidad el ácido láctico, seguido por el ácido acético y los otros ácidos mencionados que también pueden promover el descenso del pH en la fermentación láctica.

En la siguiente figura se compara la variación del pH y la producción de ácido láctico expresado en porcentaje de acidez titulable durante los 15 días de fermentación del tratamiento.

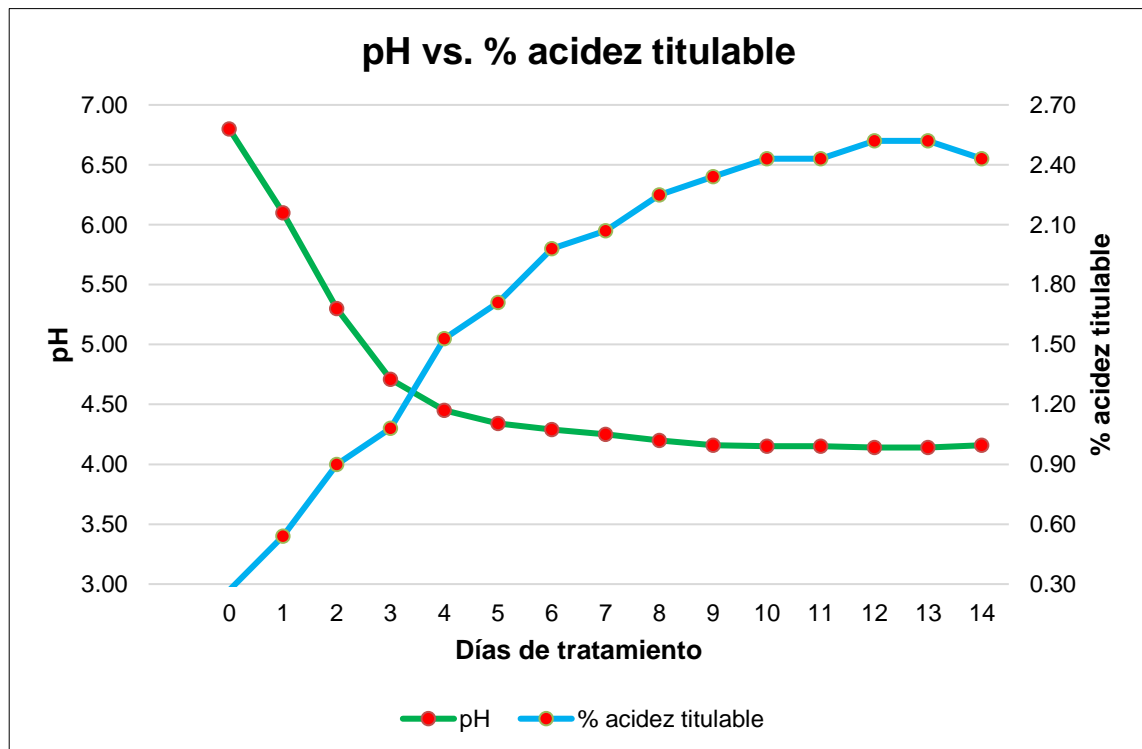


Figura 17. Comparación entre pH y el porcentaje de acidez titulable  
Fuente: Elaboración propia

A partir del décimo día la producción de ácido láctico logra mantenerse constante, indicando que la producción del ácido láctico se ha reducido debido a la débil acción proteolítica de las bacterias acidolácticas.

#### Obtención del producto líquido estabilizado

Se realizó la separación física mediante un filtrador casero y una tela tipo organza durante 24 horas, con la finalidad de separar el producto líquido del producto sólido, las cantidades obtenidas se registraron en la siguiente tabla.

Tabla 11  
*Cantidad de producto líquido estabilizado producido*

Productos	Producción (kg)
Producto líquido estabilizado	15.29
Producto sólido estabilizado	11.45
Total	26.74

Fuente: Elaboración propia

Se observa que se obtuvo 15.29 kg de producto líquido estabilizado y 11.45 kg de producto sólido estabilizado, sumando un total de 26.74 kg de producto final. Este producto sólido está compuesto en mayoría de aserrín neutralizante utilizado por las familias en los inodoros secos.

#### Estabilización fisicoquímica

Se acondicionaron las muestras del producto líquido estabilizado para realizar el análisis de laboratorio respectivo, obteniendo los valores registrados en la Tabla 12. Se hizo una comparación con los parámetros de la NTP 311.557:2013



(FERTILIZANTES), a fin de lograr el cumplimiento de requisitos del producto líquido estabilizado y su cumplimiento.

Tabla 12  
Resultados análisis fisicoquímico de producto líquido estabilizado

Parámetro	Resultado	NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES)	
		Abonos o fertilizantes orgánicos-minerales líquidos	Enmiendas o acondicionadores no húmicos líquidos
Carbono orgánico oxidable	48.07 g/L	Mínimo 20 g/L	Mínimo 250 g/L
Potencial de Hidrogeno (pH)	4.29	Máx. 8.5	Reportar
Densidad	1.038 g/cm <sup>3</sup>	Reportar	Reportar
Conductividad Eléctrica (C.E.)	44.60 dS/m	Reportar	Reportar
Materia Orgánica (M.O. en solución)	107.74 g/L	N.A.	N.A.
Nitrógeno total (N)	3.522 g/L	Mínimo 15 g/L	N.A.
Fósforo total (P)	0.478 g/L	Mínimo 15 g/L	N.A.
Potasio total (K)	0.523 g/L	Mínimo 15 g/L	N.A.
Calcio total (Ca)	0.994 g/L	---	N.A.
Magnesio total (Mg)	1.006 g/L	---	N.A.
Sodio total (Na)	4.640 g/L	Máx. 10 g/L	Máx. 10 g/L
Hierro total (Fe)	0.2332 g/L	---	N.A.
Cobre total (Cu)	0.00048 g/L	---	N.A.
Zinc total (Zn)	0.00882 g/L	--	N.A.
Manganeso total (Mn)	0.01340 g/L	---	N.A.
Boro total (B)	0.00264 g/L	---	N.A.
Plomo total (Pb)	1.27 ppm	---	Máx. 300 ppm
Cadmio total (Cd)	0.16 ppm	Máx. 39 ppm	Máx. 39 ppm
Cromo total (Cr)	0.65 ppm	Máx. 1200 ppm	Máx. 1200 ppm

N.A.: No se aplica, el parámetro se debe considerar para efectos de clasificación del producto, pero no está considerado dentro de los parámetros a garantizar.

Reportar: No existe valor mínimo ni máximo, solamente se debe conocer.

Fuente: NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES). Elaboración propia

Los parámetros Nitrógeno total (N), Fosforo total (P), Potasio total (K), principales macronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas, no cumplen con los requisitos fisicoquímicos de la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES) para la categoría “Abonos o fertilizantes orgánicos-minerales líquidos”; así mismo, los parámetros carbono orgánico oxidable, pH, Sodio soluble o total (Na), Cadmio total (Cd) y Cromo total (Cr) cumplen con los requisitos mínimos para esta categoría.

Estos logran cumplir los requisitos fisicoquímicos establecidos en la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), para la categoría “Enmiendas o acondicionadores no húmicos líquidos”, excepto el Carbono orgánico oxidable que presenta un valor de 48.7 g/L, menor respecto al valor mínimo de 250 g/L establecido por la norma.

En tal sentido, el producto líquido estabilizado no puede ser considerado como un abono o fertilizante líquido, sino como una enmienda o acondicionador líquido para su aplicación en la recuperación o mejoramiento de suelos.

### Estabilización biológica

Los parámetros microbiológicos analizados para el producto líquido estabilizado dieron como resultados a los valores descritos en la siguiente tabla.

Tabla 13  
*Resultados de análisis microbiológico y parasitológico*

Parámetro	Resultado	NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES)
Coliformes totales <sup>1</sup>	6.8 NMP/mL	< 1000 NMP/mL

<sup>1</sup> INFORME DE ENSAYO N° 1903098-LMT (Laboratorio Marino Tabusso)

Coliformes fecales <sup>1</sup>	6.8 NMP/mL	< 1000 NMP/mL
<i>Escherichia coli</i> <sup>1</sup>	6.8 NMP/mL	< 1000 NMP/mL
<i>Salmonella spp.</i> en 25 mL <sup>1</sup>	Ausencia	Ausente en 25 g
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	<1	<1 en 4g

Fuente: Elaboración propia

Los resultados correspondientes a los parámetros de Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y Huevos de Helminthos cumplen con los requisitos microbiológicos establecidos en la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES), para niveles máximos de patógenos.

### 3.2.2. Producción de abono líquido estabilizado a partir de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco, para su aplicación en especies vegetales ornamentales de áreas verdes

#### Composición nutricional

Los resultados obtenidos son comparados con otros tipos de abonos líquidos comerciales, en la comparación se obtiene:

Tabla 14  
Comparación nutricional con otros abonos líquidos comerciales

Nutriente	Producto líquido estabilizado	Abono líquido Mallki Fúlvico		Abono Agrasun Biol		Abono AviBIOL
Nitrógeno (N)	0.35 %	0.06 %	0.07 %	1.0 %	2.0 %	0.17 %
Fósforo (P)	0.05 %	0.009 %	0.01 %	0.26 %	0.31 %	0.17 %
Potasio (K)	0.05 %	0.40 %	0.60 %	0.25 %	0.29 %	0.04 %

Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> INFORME DE ENSAYO N° 131991 – 2019 (Laboratorio de Servicios Analíticos Generales)

El producto líquido producido mediante fermentación acidoláctica presenta ligera ventaja en valores de porcentaje de Nitrógeno (N) con el 0.35 %, con respecto a las marcas Mallki (mín. 0.06 % - máx. 0.007 %) y AviBIOL (0.17 %) y no ocurre lo mismo con los valores de referencia el producto de la marca Agrasun Biol (mín. 1 % - máx. 2 %). El nutriente Fosforo (P) equivalente al 0.05 % es superior únicamente con los valores de la marca Mallki; finalmente el 0.05 % del nutriente Potasio (K) solamente supera al 0.04 % de Potasio de la marca AviBIOL.

Por lo tanto, el producto líquido estabilizado se encuentra dentro de los productos con valores nutricionales comerciales existentes en el mercado de productos orgánicos, resaltando que el alto contenido del nutriente Nitrógeno se debe al prolongado almacenamiento de la orina para incrementar la concentración de nitrógeno soluble, facilitando la disponibilidad para su absorción por las plantas (Andreev *et al.* 2017).

#### Evaluación de fitotoxicidad

Las pruebas de fitotoxicidad se realizaron con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad Tasna (tipo americana o iceberg), adquiridas en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la UNALM, utilizando el abono líquido estabilizado del día 15 diluido en 08 concentraciones distintas, para determinar la dilución óptima que no genere efectos adversos ni toxicidad en la germinación y desarrollo de las lechugas.

La presente prueba de fitotoxicidad tiene como principio basado que durante el periodo de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren

numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto el periodo de germinación una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos. La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocótilo constituyen indicadores representativos para determinar el efecto tóxico provocado por la presencia de compuestos solubles en niveles de concentraciones bajas que podrían no inhibir la germinación, pero a la vez pueden inhibir o retardar el crecimiento del hipocótilo y la radícula de la planta (Sobrero & Ronco, 2004).

Los valores fisicoquímicos de las diluciones que se tuvieron cuenta en la presente prueba fueron el potencial de Hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (C.E.). El pH controla las reacciones químicas que determinan la disponibilidad de los nutrientes (solubles o insolubles) para su absorción por las plantas. Por tal motivo, cuando los valores del pH se encuentran fuera del rango óptimo ocurren los problemas nutritivos más comunes, según el tipo de cultivo (Barbaro *et al.* 2014). El rango usual de tolerancia de las plantas al pH del agua para riego se encuentra entre 5,5 y 8,5 (García, A; 2012, citado por Vargas, 2017). El rango de pH permitido en la legislación ambiental vigente sobre uso de agua residual para riego de vegetales se encuentra entre 6,5 y 8,5, según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales).

Por otro lado, la conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través de este. Esta medida está directamente relacionada

a la salinidad presente en un sustrato; a mayores valores de la Conductividad Eléctrica, mayor será la concentración de sales. En general, se recomienda que la C.E. de un sustrato sea menor a 1 dS/m (1000 uS/cm) para evitar problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Barbaro *et al.*, 2014). Cabe resaltar que el rango usual de tolerancia de las plantas a la conductividad eléctrica del agua para riego se encuentra entre 1 y 3 dS/m (1000 a 3000  $\mu$ S/cm) (Vargas, 2017).

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es considerada como una especie que tolera moderadamente a la salinidad, presentando un umbral de tolerancia a la conductividad eléctrica de 1.3 dS/m (1300  $\mu$ S/cm); así como, una reducción de la producción en 13 por ciento por cada 1 dS/m adicional en el suelo (Lesmes *et al.* 2007).

Siguiendo el valor umbral de dosis óptima de 0.1% realizada por Buchelli (2014), se eligió establecer las diluciones del producto líquido estabilizado correspondientes a los siguientes valores: 0.1/100, 0.5/100, 1/100, 1.5/100, 2/100, 3/100, 5/100, 7/100, un control con agua mineral y una dilución con el producto concentrado puro. Con la finalidad de hallar el Índice de Germinación mayor al 80 % (Sobrero & Ronco, 2004) para determinar la ausencia o concentración de sustancias tóxicas que provocarían efectos tóxicos adversos para las plantas.

La siguiente tabla muestra la dilución, los registros de valores de pH y conductividad eléctrica para cada dilución preparada.

Tabla 15  
 Diluciones, valor de pH y conductividad eléctrica

Dilución	pH	C.E.	
		uS/cm	dS/m
Control	7.53	587	0.59
0.1/100	7.54	597	0.60
0.5/100	7.05	668	0.67
1/100	6.93	662	0.66
1.5/100	6.94	632	0.63
2/100	6.58	761	0.76
3/100	5.29	2878	2.88
5/100	4.54	3187	3.19
7/100	4.49	3999	4.00
Concentrado	4.31	44600	44.60

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se presenta la relación del pH y la conductividad eléctrica de las diluciones preparadas con el abono líquido estabilizado, el control y el producto concentrado.

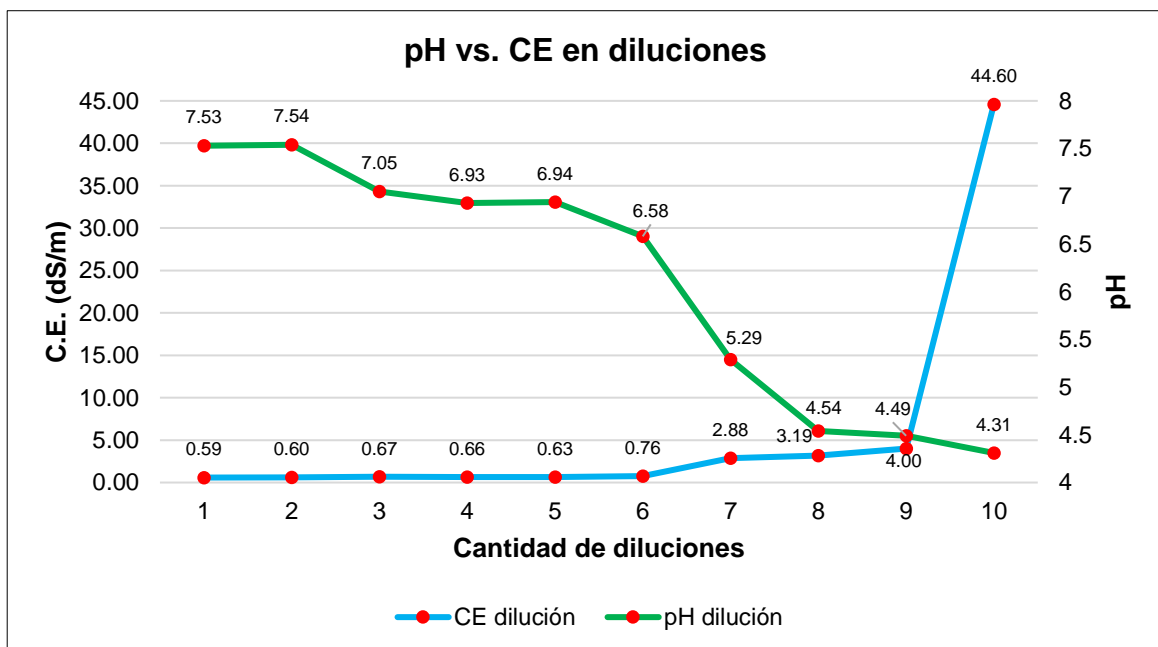


Figura 18. Comportamiento del pH y la C.E. en diluciones  
 Fuente: Elaboración propia

Como se observa, a menor valor de pH se presenta una alta conductividad eléctrica, indicando que a menor concentración de producto líquido estabilizado en mayor solución de agua la conductividad eléctrica disminuirá debido a la menor concentración de sales. De acuerdo con esos valores de pH bajos (menor a 5.5) y niveles altos de C.E. (mayores a 1300  $\mu\text{S}/\text{m}$ ) resultarían perjudiciales para la germinación y crecimiento de las semillas de lechugas. Esto también indica que la aplicación del abono líquido estabilizado en concentrado (4,31 de pH y 46000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de C.E) no permitiría su adecuado desarrollo. Indicando, además, que se esperaba lograr una germinación y crecimiento adecuado en la dilución 1/100.

Medición de radícula e hipocótilo de la germinación

Se realizó la medición de la radícula e hipocótilo de finalizado los 5 días (120 horas) de ensayo, con la ayuda de un papel milimetrado. Los promedios del tamaño de la radícula e hipocótilo se encuentran expresados en centímetros (cm) en la tabla siguiente.

Tabla 16  
*Tamaño de radícula e hipocótilo*

Dilución	Promedio del Crecimiento de Radícula (cm)	Promedio del Crecimiento de Hipocótilo (cm)
Control	3.13	1.98
0.1/100	1.46	1.50
0.5/100	2.87	2.26
1/100	2.38	2.28
1.5/100	1.77	2.06
2/100	1.04	1.70
3/100	1.26	1.39
5/100	0.38	1.07



Dilución	Promedio del Crecimiento de Radícula (cm)	Promedio del Crecimiento de Hipocótilo (cm)
7/100	0.12	0.53
Concentrado	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la dilución Control obtuvo el promedio mayor de crecimiento de radícula del ensayo, mientras que la dilución 1/100 presentó un promedio mayor de crecimiento del hipocótilo.

### Porcentaje de germinación

En la tabla siguiente se registran los porcentajes de germinación, semillas germinadas entre semillas sembradas (por ciento), para cada una de las diluciones del producto líquido estabilizado:

Tabla 17  
*Porcentaje de germinación de semillas*

Dilución	Semillas germinadas	Porcentaje de germinación (%)
Control	55	91.67
0.1/100	47	78.33
0.5/100	51	85.00
1/100	53	88.33
1.5/100	48	80.00
2/100	50	83.33
3/100	42	70.00
5/100	39	65.00
7/100	36	60.00
Concentrado	0	0.00

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se grafican en la figura siguiente:

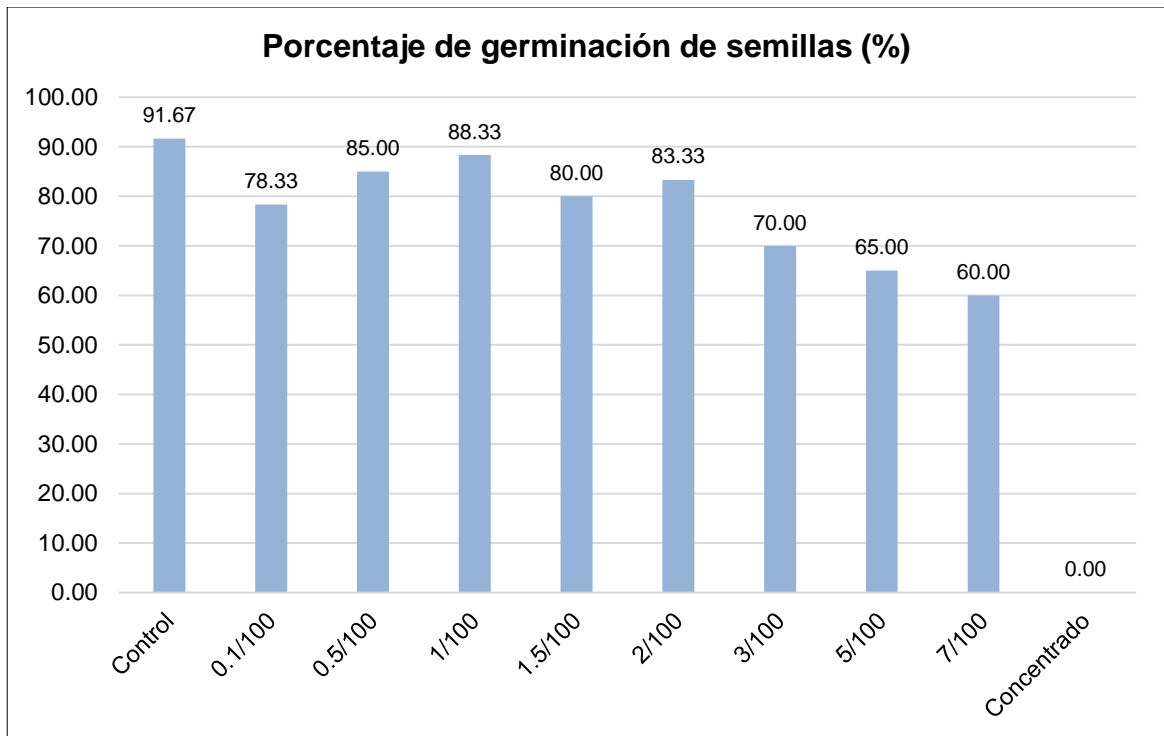


Figura 19. Porcentaje de germinación de semillas  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados, las semillas que fueron expuestas al producto líquido estabilizado concentrado no germinaron, mientras que para la dilución Control se obtuvo un 91.67 % de semillas germinadas; las diluciones 0.1/100, 0.5/100, 1/100, 1.5/100, 2/100, 3/100, 5/100 y 7/100 obtuvieron 78.33 %, 85 %, 88.33 %, 80 %, 83.33 %, 70 %, 65 % y 60 % de semillas germinadas, respectivamente.

#### Porcentaje de inhibición de la germinación

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la germinación relativa y el porcentaje de inhibición de la germinación de las diluciones del ensayo, respecto a la dilución Control.

Tabla 18  
*Germinación relativa e inhibición de la germinación de semillas*

Dilución	Germinación de dilución	Germinación del Control	Germinación Relativa (%)	Inhibición de la Germinación
Control	55		100.0	0.0
0.1/100	47		85.5	14.5
0.5/100	51		92.7	7.3
1/100	53		96.4	3.6
1.5/100	48	55	87.3	12.7
2/100	50		90.9	9.1
3/100	42		76.4	23.6
5/100	39		70.9	29.1
7/100	36		65.5	34.5
Concentrado	0		0.0	100.0

Fuente: Elaboración propia

Se registra que la dilución Concentrado presenta un porcentaje de Inhibición de Germinación alto, los demás resultados se grafican en la figura siguiente.

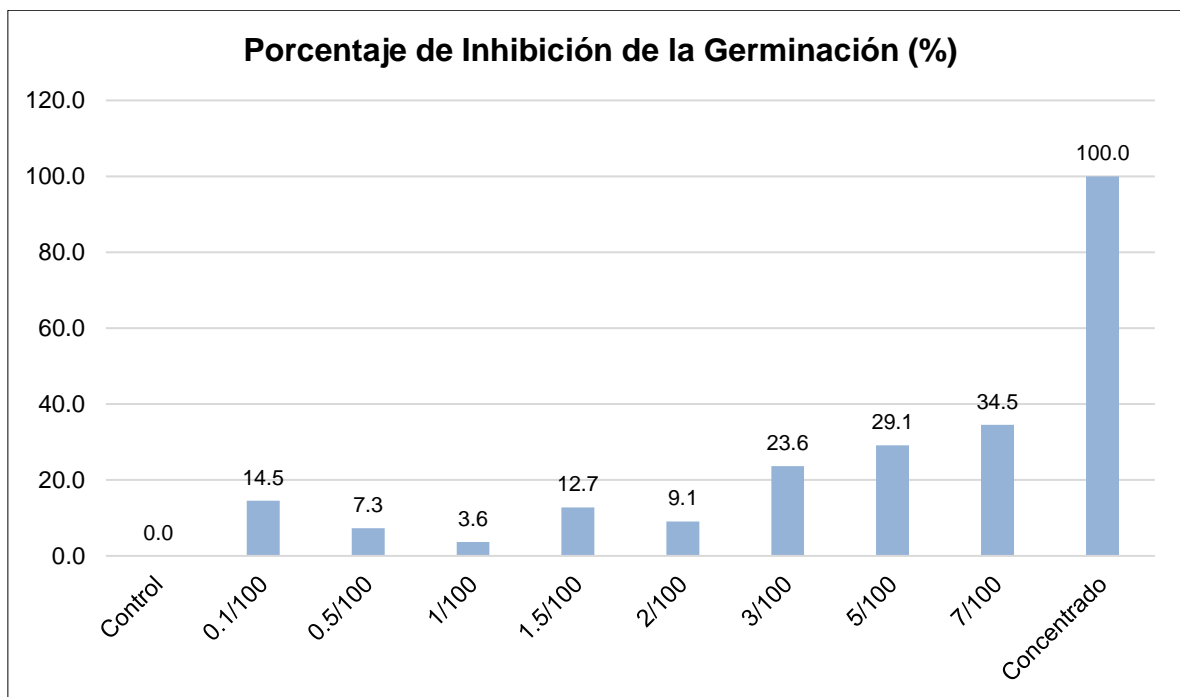


Figura 20. *Porcentaje de Inhibición de la Germinación de semillas*  
 Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica, la dilución del Concentrado es la única que presenta un porcentaje elevado de inhibición de la germinación con un 100 %, es decir, ninguna semilla germinó en estas condiciones; la dilución 7/100 presentó 34.5 %, la dilución 5/100 presentó 29.1 %, la dilución 3/100 presentó 23.6 %, la dilución 0.1/100 presento 14.5 %, la dilución 1.5/100 presentó 12.7 %, la dilución 2/100 presentó 9.1 %, la dilución 0.5/100 presentó 7.3 % y la dilución 1/100 presento 3.6% de inhibición de la germinación. Mientras que la dilución Control presentó 0%, puesto que germinaron 55 semillas durante el ensayo.

La inhibición de la germinación del Concentrado se debe a que el producto líquido estabilizado concentrado posee un bajo valor de pH y una alta conductividad eléctrica, estas condiciones fitotóxicas no permitieron la germinación óptima de las semillas. Por tal motivo, obedece a que a una menor concentración del producto líquido estabilizado debe diluirse en una mayor cantidad de agua para disminuir de la acidez y conductividad eléctrica, que permitan la germinación adecuada de las semillas de lechuga.

#### Porcentaje de inhibición del crecimiento

En la siguiente tabla se presentan los resultados del crecimiento relativo de la radícula y el porcentaje de Inhibición del Crecimiento de la radícula de las diluciones analizadas respecto al Control.

Tabla 19  
*Crecimiento relativo de radícula e inhibición de crecimiento de radícula*

Dilución	Crecimiento de Radícula de Dilución (cm)	Crecimiento de Radícula de Control (cm)	Crecimiento Relativo de Radícula (%)	Inhibición de Crecimiento de Radícula (%)
0.1/100	1.46		46.71	53.3
0.5/100	2.87		91.72	8.3
1/100	2.38		76.00	24.0
1.5/100	1.77		56.47	43.5
2/100	1.04	3.13	33.12	66.9
3/100	1.26		40.33	59.7
5/100	0.38		12.09	87.9
7/100	0.12		3.73	96.3
Concentrado	0.00		0.00	100.0

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se muestran en la figura siguiente, donde se grafica el porcentaje de inhibición del crecimiento de radícula de las semillas en las diluciones analizadas.

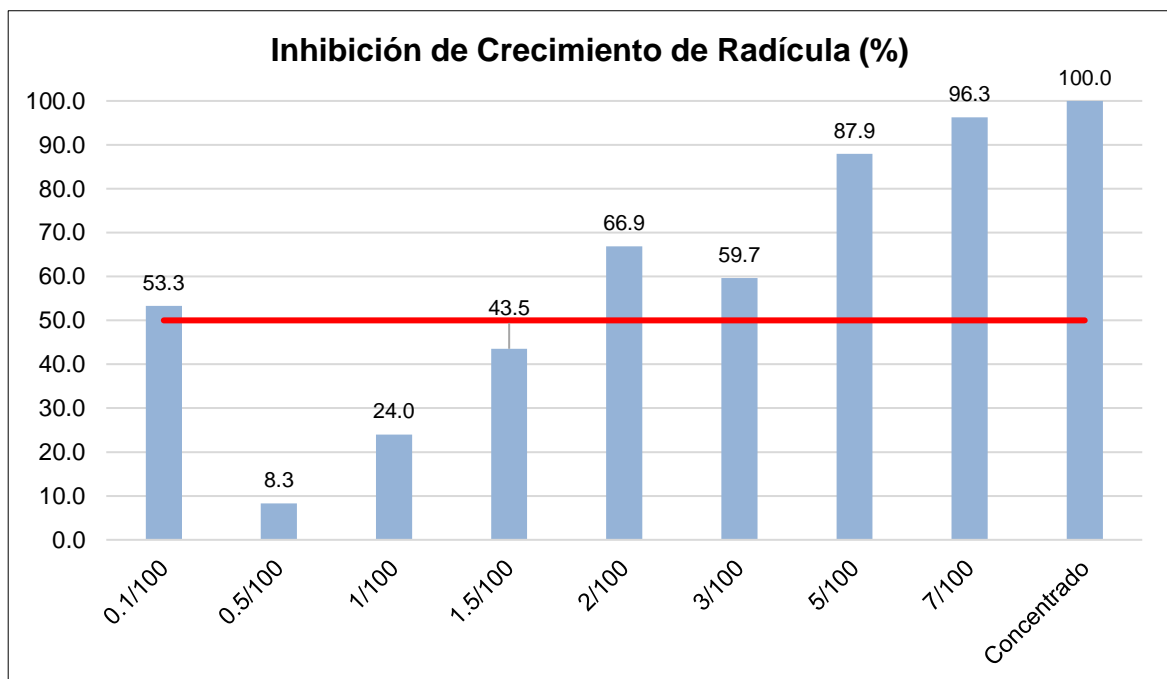


Figura 21. *Inhibición de crecimiento relativo de la radícula de semillas*

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que las diluciones 0.5/100, 1/100 y 1.5/100 presentan un porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula iguales a 8.3 %, 24 % y 43.5 %, respectivamente, todos ellos menores al 50 %. Así mismo, para las diluciones 0.1/100, 2/100, 3/100, 5/100, 7/100 y el concentrado presentaron porcentajes de inhibición del crecimiento de la radícula igual a 53.3 %, 66.9 %, 59.7 %, 87.9 %, 96.3 % y 100 %, respectivamente, siendo mayores al 50 %. La dilución Concentrada presenta 100 % de inhibición del crecimiento de la radícula, puesto que ninguna semilla germinó.

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos del crecimiento relativo del hipocótilo y el porcentaje de inhibición de crecimiento del hipocótilo de las diluciones analizadas, respecto al Control.

Tabla 20  
*Crecimiento relativo e inhibición de crecimiento de hipocótilo*

Dilución	Crecimiento de Hipocótilo de dilución (cm)	Crecimiento de Hipocótilo del Control (cm)	Crecimiento Relativo de Hipocótilo (%)	Inhibición de Crecimiento de Hipocótilo (%)
0.1/100	1.50		75.91	24.1
0.5/100	2.26		114.25	-14.2
1/100	2.24		114.96	-15.0
1.5/100	2.20		103.74	-3.7
2/100	1.70	2.27	85.81	14.2
3/100	1.39		70.37	29.6
5/100	1.07		54.02	46.0
7/100	0.53		26.53	73.5
Concentrado	0.00		0.00	100.0

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se muestran en la siguiente figura, donde se grafica el porcentaje de inhibición del crecimiento de hipocótilo de las semillas germinadas en las diluciones analizadas.

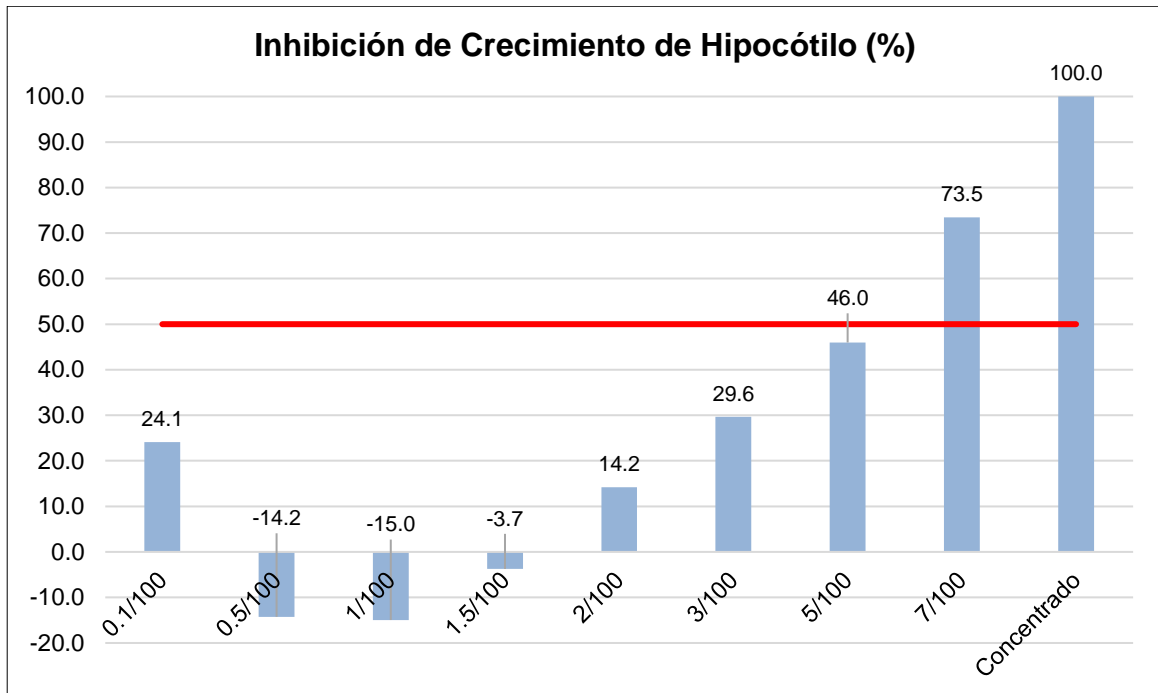


Figura 22. Inhibición de Crecimiento de Hipocótilo de semillas  
Fuente: Elaboración propia

Se observa que las diluciones 0.1/100, 0.5/100, 1/100, 1.5/100, 2/100, 3/100, 5/100 presentaron porcentajes de inhibición del crecimiento de hipocótilo de 24.1 %, -14.2 %, -15 %, -3.7 %, 14.2 %, 29.6 %, y 46 %, respectivamente, resultando menor al 50 %. Mientras que las diluciones 7/100 y el Concentrado obtuvieron 73.5 % y 100 %, resaltando que la dilución preparada con el abono líquido estabilizado Concentrado obtuvo un porcentaje de inhibición del crecimiento del hipocótilo igual a 100 % debido a que ninguna semilla logró germinar.

### Cálculo del Índice de Germinación (IG)

Este índice representa el producto germinación relativa de las semillas y el crecimiento relativo de la radícula, constituyendo un indicador que expresa tanto el porcentaje de las semillas germinadas como el porcentaje que alcanza la radícula durante el ensayo (Vargas, 2017). El rango de un IG óptimo se encuentra entre 50 y 80 %, dicho rango es interpretado como presencia moderada de sustancias fitotóxicas en la dilución evaluada; así mismo, un porcentaje mayor a 80 % indica que la dilución contiene una baja concentración de sustancias fitotóxicas o la inexistencia de estas.

En la tabla siguiente registra el Índice de Germinación de las diluciones analizadas, obtenidos luego de los cinco días del ensayo.

Tabla 21  
*Índice de Germinación de semillas*

Dilución	Índice de germinación de semillas (%)
Control	100.00
0.1/100	39.91
0.5/100	85.05
1/100	73.24
1.5/100	49.29
2/100	30.11
3/100	30.80
5/100	8.57
7/100	2.44
Concentrado	0.00

Fuente: Elaboración propia



En la figura siguiente se muestran los resultados de los Índices de Germinación por cada dilución evaluada, al finalizar el día 5 del ensayo.

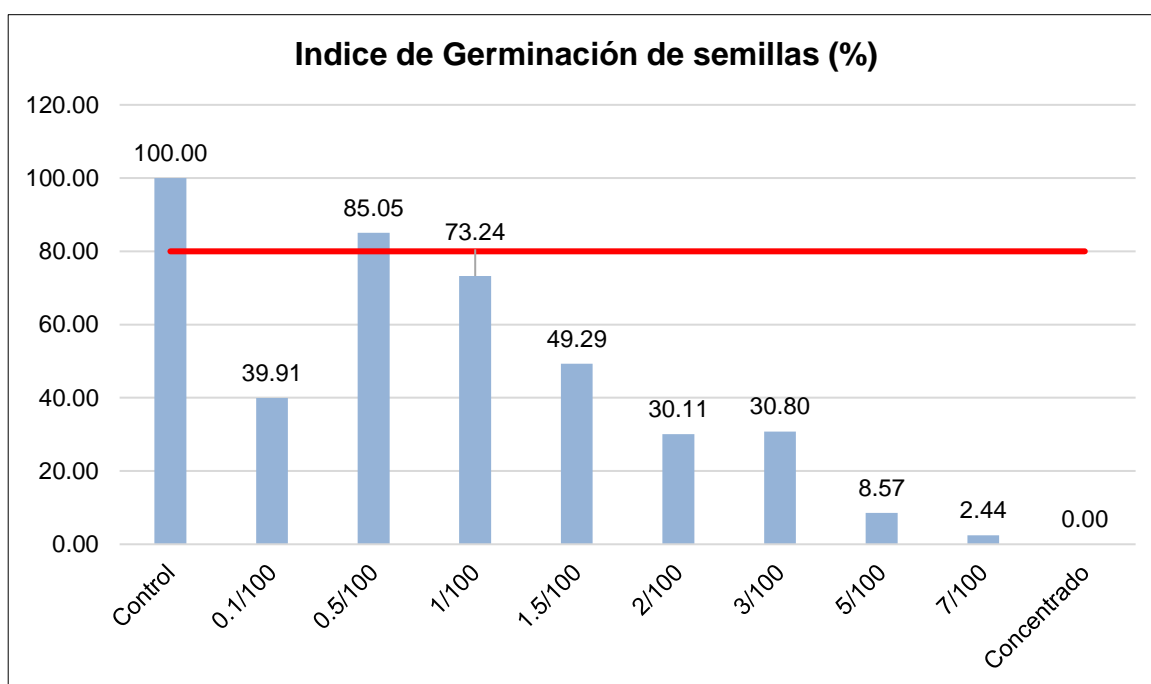


Figura 23. Índice de Germinación de semillas

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que la dilución 0.5/100 presenta un Índice de Germinación de 85.05 %, lo cual determina que la dilución presenta sustancias fitotóxicas no significativas. Mientras que las demás diluciones presentan índices de germinación inferiores al 80 %, indicando que las diluciones presentan sustancias fitotóxicas significativas que no permitieron el adecuado crecimiento de las lechugas. Se observa que a mayor concentración del producto líquido estabilizado se reduce los índices de germinación, debido al bajo pH generado por el ácido láctico y la alta conductividad eléctrica por la presencia de sales.

### Fitotoxicidad

Según la evaluación realizada mediante el ensayo de fitotoxicidad se determinó que la dilución que logró un índice de germinación de semillas mayor al 80 % fue la relación 0.5/100, considerándose como la dilución óptima e inocua para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas.

Esta relación indica que para 1 litro de producto líquido estabilizado se necesita 200 litros de agua para su dilución, antes de su aplicación, para evitar que las especies vegetales sufran daños nocivos producidos por la presencia de sustancias tóxicas significativas.

### Análisis estadístico

De los datos del ensayo de germinación de lechugas y el análisis de varianza para los tratamientos se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 22  
*Resumen estadístico de variables de la radícula*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
pH	10	61.2	6.12	1.72531111
C.E (dS/m)	10	58.571	5.8571	187.011071
Semilla germinada	10	701.666667	70.1666667	711.388889
Radícula	10	12.0866667	1.20866667	1.00255111
Hipocótilo	10	11.9966667	1.19966667	0.47378877
PGR	10	765.454545	76.5454545	846.61157
CRR	10	420.649652	42.0649652	1214.32378
IG	10	334.055728	33.4055728	964.461575

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23  
*Análisis de varianza del crecimiento de radícula*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	67470.6	7	9638.6623	19.635683	0.00	2.13965551
Dentro de los grupos	35343	72	490.874817			
Total	102814	79				

Fuente: Elaboración propia

La probabilidad es menor que el valor de significancia (0.05), de acuerdo con el análisis estadístico, se afirma que ninguno de los tratamientos presenta medias significativas, demostrando que no existe diferencias significativas entre las diluciones evaluadas.

### **3.2.3. Evaluación de la eficiencia de la fermentación acidoláctica frente al compostaje de residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco**

Se realizó una comparación cuantitativa en función del tiempo y consumo de agua entre la fermentación acidoláctica y compostaje.

#### *Tiempo de duración del tratamiento*

El proceso de estabilización tuvo una duración de 15 días de fermentación ácido láctica, después de este tiempo se logró obtener un producto como abono líquido estabilizado. En la siguiente tabla Mindreau (2016) hace una comparación entre los requerimientos de la fermentación acidoláctica y el proceso de compostaje de excretas humanas provenientes de baños secos.

Tabla 24  
Comparación de tecnologías

	Compostaje	Fermentación acidoláctica
Materia Prima	Heces humanas	
Área referencial	1 m <sup>2</sup>	
Insumos	Aserrín, agua, EM	Melaza, BAL, agua
Tipo de Proceso	Anaerobio/Aerobio	Anaerobio
Parámetros	Temperatura, humedad, porosidad, oxigenación	pH, % acidez
Operación	3 fases	1 fase
Tiempo	180 días	15 días
Producto	Compost	Estabilizado
Composición	Solida	Liquida
Certificación	No califica	No planteada
Toxicidad	Emisión de GEI	No emite GEI

Fuente: Adaptado de Mindreau (2016)

De los datos contenidos en la tabla anterior, teniendo como materia prima a las excretas humanas se observa que el proceso de compostaje es más complejo, ya que se tiene 4 parámetros importantes (temperatura, humedad, porosidad y oxigenación) a tener en cuenta para realizar un correcto compostaje que permita producir un compost de alta calidad. El proceso de compostaje tiene una duración aproximada de 6 meses, tiempo en el cual se logra la reducción de patógenos por efecto de la deshidratación y temperatura, mientras que el proceso de fermentación ácido láctica se lleva a cabo en tan solo 5 días, logrando una eliminación del 99.99 % de patógenos (Mindreau, 2016).

En ese sentido, el presente tratamiento de fermentación ácido láctica es un proceso anaerobio que se lleva a cabo solamente durante 15 días en condiciones ambientales (temperatura ambiental promedio de 26 °C), y con tan solo 2

parámetros para tener en cuenta (pH y % acidez) se llega a producir un abono líquido estabilizado. No produce gases de efecto invernadero, por lo tanto, se puede considerar como un tratamiento alternativo limpio, acelerado y barato.

### Rendimiento del proceso

En la siguiente tabla se registran las cantidades de los productos obtenidos después de la obtención del producto líquido estabilizado proveniente de la fermentación. Así mismo, se realiza la comparación con el rendimiento de proceso de compostaje, con los datos descritos por Prado (2017).

Tabla 25  
*Comparación del rendimiento de procesos*

Insumo	Cantidad	
	Fermentación acidoláctica	Compostaje
Inicial	30.00 kg	30.00 kg
Producto final	15.29 kg (líq.) + 11.45 kg (sól.)	9.24 kg
Merma	3.26 kg	1.40 kg

Fuente: Elaboración propia. Extraído de Prado (2017)

En la siguiente tabla se calcularon los porcentajes de extracción de los procesos, con referencia a la obtención de productos finales.

Tabla 26  
*Porcentajes de extracción entre ambos procesos*

Productos	Rendimiento	
	Fermentación acidoláctica	Compostaje
Producto estabilizado	50.97 %	31.13 %
Merma	38.17 %	4.68 %

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo 15.29 kg de producto líquido estabilizado, correspondiente a un 50.97 % de rendimiento, también se obtuvieron 11.45 kg de producto sólido estabilizado, que representa el 38.17% de total obtenido. La cantidad total obtenida suma 26.74 kg, equivalente al 89.14% de la mezcla inicial (30 kg). Por otro lado, en el compostaje de residuos se logra producir 9.24 kg de compost maduro, después de 6 meses, que representa el 31.13 % del proceso, respecto a 30 kg de materia prima inicial. Por lo tanto, la fermentación acidoláctica representa un mayor porcentaje de rendimiento de 50.97 % frente al 31.13 % del compostaje.

### Consumo de agua

Otro factor importante es el consumo de agua que se utiliza en cada volteo para mantener la humedad de las pilas del compostaje, lo que implica que un sistema de saneamiento ecológico seco no se sea completamente seco, ya que existe la necesidad de utilizar agua en el tratamiento de los residuos. Por tal motivo, el recojo, almacenamiento y reutilización de la orina humana proveniente del inodoro separador constituye una oportunidad para reducir el consumo de agua y solucionar lo planteado por Mindreau (2016), que propone el reciclaje de aguas grises de las viviendas de las familias beneficiarias del sistema de saneamiento ecológico seco.

El urinario seco instalado en el Taller de Procesos Agroecológicos de la Untels fue utilizado durante 38 veces, llegando a requerir 20 mL de agua por cada uso para la limpieza del recipiente. La cantidad de agua utilizada en el proceso de recojo de la orina provenientes del urinario seco fue 0.76 litros (0.76 kg), cantidad

que representa un 4.34 % de agua presente en 17.85 kg de la orina total almacenada y el 2.53 % de los insumos totales utilizados en la fermentación acidoláctica en base a 30 kg.

El consumo de agua en el proceso de compostaje es de 0.04 litros de agua en cada riego semanal para 1 kg de residuos en descomposición, según Cabrera & Rossi (2016). Por lo tanto, para 30 kg de residuos son necesarios 2.57 litros de agua con aplicación semanal durante 15 días del proceso.

Tabla 27  
*Consumo de agua en ambos procesos*

	Fermentación acidoláctica	Compostaje
Tiempo	15 días	15 días
Materia prima	30 kg	30 kg
Consumo de agua	0.76 litros	2.57 litros

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los datos mostrados, el proceso de compostaje requiere 3 veces mayor que el consumo de agua que necesita el proceso de fermentación acidoláctica, debido a que durante el compostaje es esencial mantener la humedad del sistema para el correcto desarrollo del proceso biológico de descomposición de la materia prima.

### Costos de producción

Los costos de los insumos requeridos para el tratamiento de 30 kg de mezcla se registran en la siguiente tabla.

Tabla 28  
*Costos de insumos utilizados en 30 kg de mezcla*

Insumo	Cantidad	Costo unitario		Costo total	
Excretas humanas	8.75 kg	S/.	0.00	S/.	0.00
Orina humana	17.50 kg	S/.	0.00	S/.	0.00
Melaza	3.00 kg	S/.	0.70	S/.	2.10
BAL	0.75 kg	S/.	18.00	S/.	13.50
Total	30.00 kg	S/.	18.70	S/.	15.60

Fuente: Elaboración propia

Se calculó el costo total de los insumos utilizados para la fermentación acidoláctica de 30 kg de mezcla, obteniéndose un monto de S/. 15.60 (equivalente a 5.00 USD<sup>3</sup>) para tratar 8.75 kg de excretas y 17.5 kg de orina, provenientes del sistema de saneamiento ecológico seco.

Si se tiene una familia constituida por cinco personas, asumiendo que cada integrante familiar produce 200 gramos de excretas diarias, se tendría que la familia genera 1 kg de excretas diarias y 30 kg de excretas durante un (01) mes. Teniendo como referencia a un metro cuadrado de superficie de terreno, cuyo alquiler tiene un costo aproximado de 4 USD (por m<sup>2</sup>) en la zona industrial de Villa El Salvador (Mindreau, 2016), estos 30 kg de excretas producidas mensualmente serían tratadas en un biodigestor activado de 1300 litros de capacidad, llegando a producir mensualmente un total de 30 kg de producto líquido estabilizado por cada familia atendida por la Asociación Civil Sanisol (modelo de saneamiento X-Runner).

<sup>3</sup> USD: Dólares Americanos (\$)



De acuerdo con el tratamiento mediante el proceso de compostaje que mantiene la Asociación Civil Sanisol, estos 30 kg de excretas generadas por las familias serían compostadas en el mismo espacio de terreno (1 m<sup>2</sup>) durante seis meses, alcanzando un gasto de alquiler por el terreno igual a 24 USD y produciendo solamente 30 kg de producto final compostado (Mindreau, 2016).

En la siguiente tabla se detallan los costos de inversión y producción para el tratamiento de residuos, haciendo una comparación entre el compostaje y la fermentación acidoláctica durante seis meses. Aplicando fermentación acidoláctica en un biodigestor se lograría tratar 180 kg de excretas y 360 kg de orina; además de producir 314.58 kg de producto líquido estabilizado por metro cuadrado y por cada familia atendida.

Tabla 29  
*Comparación de costos entre compostaje y fermentación*

Inversión				
	Tiempo	Materia prima (Excreta + Orina)	Producto final	Costo x m <sup>2</sup>
Compostaje	6 meses	30 kg	9.34 kg	\$ 24.00
Fermentación	1 mes	30 kg (E <sup>4</sup> ) + 60 kg (O <sup>5</sup> )	52.43 kg	\$ 4.00
Producción				
	Tiempo	Materia prima (Excreta + Orina)	Producto final	Costo x m <sup>2</sup>
Compostaje	6 meses	30 kg	9.34 kg	\$ 24.00
Fermentación	6 meses	180 kg (E) + 360 kg (O)	314.58 kg	\$ 24.00

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Mindreau (2016)

El costo de inversión del compostaje es de 6 veces mayor, respecto al costo de inversión de la fermentación acidoláctica; así mismo, la producción mediante

<sup>4</sup> E: Excreta

<sup>5</sup> O: Orina

fermentación acidoláctica representa 33 veces mayor al logrado por el compostaje para una misma cantidad inicial de materia prima.

Costo unitario del producto líquido estabilizado

Para la presente investigación se calculó el precio del producto líquido estabilizado, teniendo en cuenta que se obtuvo una producción de 15.29 kg de abono líquido estabilizado (Tabla 24: *Comparación de tecnologías*) y el costo de insumos total para 30 kg de mezcla es S/. 15.60 (Tabla 27: *Consumo de agua en ambos procesos*); por lo tanto, el costo de producción unitario será de S/. 1.02 por litro (equivalente a 0.31<sup>6</sup> USD).

Tabla 30  
*Precio del producto líquido estabilizado*

Producción en litros	Total (15.29 kg)
Costo de producción	S/. 15.60
Costo de producción unitario	S/ 1.02

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos obtenidos se podría realizar una investigación de mercado entre las enmiendas y abonos líquidos existentes en el mercado, para establecer el precio de venta y estimar la producción mínima mensual con la finalidad de obtener ganancias que puedan cubrir los gastos de inversión iniciales.

<sup>6</sup> Tipo de cambio utilizado: S/. 3.29

## CONCLUSIONES

- Se logró estabilizar agronómicamente mediante la fermentación acidoláctica y con ello la disminución de la concentración de Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli* a un valor de 6.8 NMP/mL; así mismo, se logró la eliminación al 100% de *Salmonella spp.* y Huevos de Helmintos presentes en los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco en tan solo 15 días, cumpliendo con los requisitos microbiológicos exigidos por la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES).
- Se logró la producción de abono líquido estabilizado, pero no cumplió con los requisitos fisicoquímicos mínimos de la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES) para la categoría de “Abonos Líquidos”; por lo tanto, debe ser considerado como “Enmienda Líquida” para ser aplicada diluida en agua siguiendo la proporción 0.5/100; es decir, 1 litro de enmienda líquida diluida en 200 litros de agua para que no pueda generar efectos tóxicos en las especies vegetales ornamentales.
- Se logró determinar que la fermentación acidoláctica es eficiente en función del tiempo, realizado durante 15 días en condiciones ambientales de Villa El Salvador; consumo de agua, solamente se utilizó 0.76 litros de agua para la fermentación quedando sustituido por la reutilización de la orina y rendimiento, con un 50.97 % de extracción de producto final en el proceso; respecto al compostaje de residuos provenientes de baños secos del sistema de saneamiento ecológico seco.

## RECOMENDACIONES

- Para lograr una completa eliminación de Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli* con valores menores a 3 NMP/mL, se deberá considerar los factores que influyen en la disminución del pH de la fermentación; es decir, mantener los reactores completamente cerrados para mantener un ambiente anaerobio; así mismo, se deberá realizar un conteo de *Lactobacillus sp.* con la finalidad de cuantificar la concentración de ácido láctico presente en la fermentación para determinar la relación de dependencia con el porcentaje de acidez titulable.
- Se debe considerar la adición de algún fertilizante mineral o materia orgánica con alto contenido de macronutrientes para el cumplimiento de los requisitos fisicoquímicos de la categoría “Abonos o fertilizantes orgánicos-minerales líquidos” a la enmienda líquida; tal y como lo permite la NTP 311.557:2013 (FERTILIZANTES). En cambio, al producto sólido estabilizado se recomienda realizar más investigaciones con fines de evaluar su valorización material o valorización energética.
- La rentabilidad económica y ambiental debe ser objeto de investigaciones posteriores, a fin de evaluar la implementación del tratamiento vía fermentación acidoláctica a gran escala mediante la aplicación de biodigestores anaerobios, y la búsqueda de nuevas fuentes de bacterias acidolácticas que permitan la sustitución del consorcio BAL.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, C., Hanjalika Malambo, D., Gonzalez Perez, M. E., Ngwanamoseka Nobela, H., de Pooter, L., Spit, J., . . . 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*, 13871-13885.
- Andreev, N. (2018). *Lactic acid fermentation of human excreta for agricultural application*. Delft, the Netherlands: CRC Press.
- Andreev, N., Ronteltap, M., Boincean, B., Wernli, M., Zubcov, E., Bagrin, N., . . . Lente, P. (2017). Lactic acid fermentation of human urine to improve its fertilizing value and reduce odour emissions. *Journal of Environmental Management*, 63-69.
- AquaFondo. (2015). *Lima, mega ciudad en el desierto*. Lima: Aquafondo.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Buenos Aires: Instituto de Tecnología Agropecuaria.
- Buchelli Gómez, H. A. (2014). *Producción de biofertilizante de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería mediante fermentación homoláctica*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cabrera Córdova, V., & Rossi Luna, M. G. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Decreto Legislativo N° 1278. (23 de diciembre de 2016). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*, págs. 18-32.

Diario La Republica. (1 de agosto de 2017). Sin agua potable: la dura realidad de 3.4 millones de peruanos. *La Republica*. Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/1068272-sin-agua-potable-la-dura-realidad-de-34-millones-de-peruanos>.

Fernandez C., M., Hock, D., Dabbah, F., & Escudero, H. (2015). *Sistemas de saneamiento seco con separación de orina*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Jönsson, H., Richert Stintzing, A., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). *Lineamientos para el uso de la orina y de las heces en la producción de cultivos*. Estocolmo: Instituto Ambiental de Estocolmo.

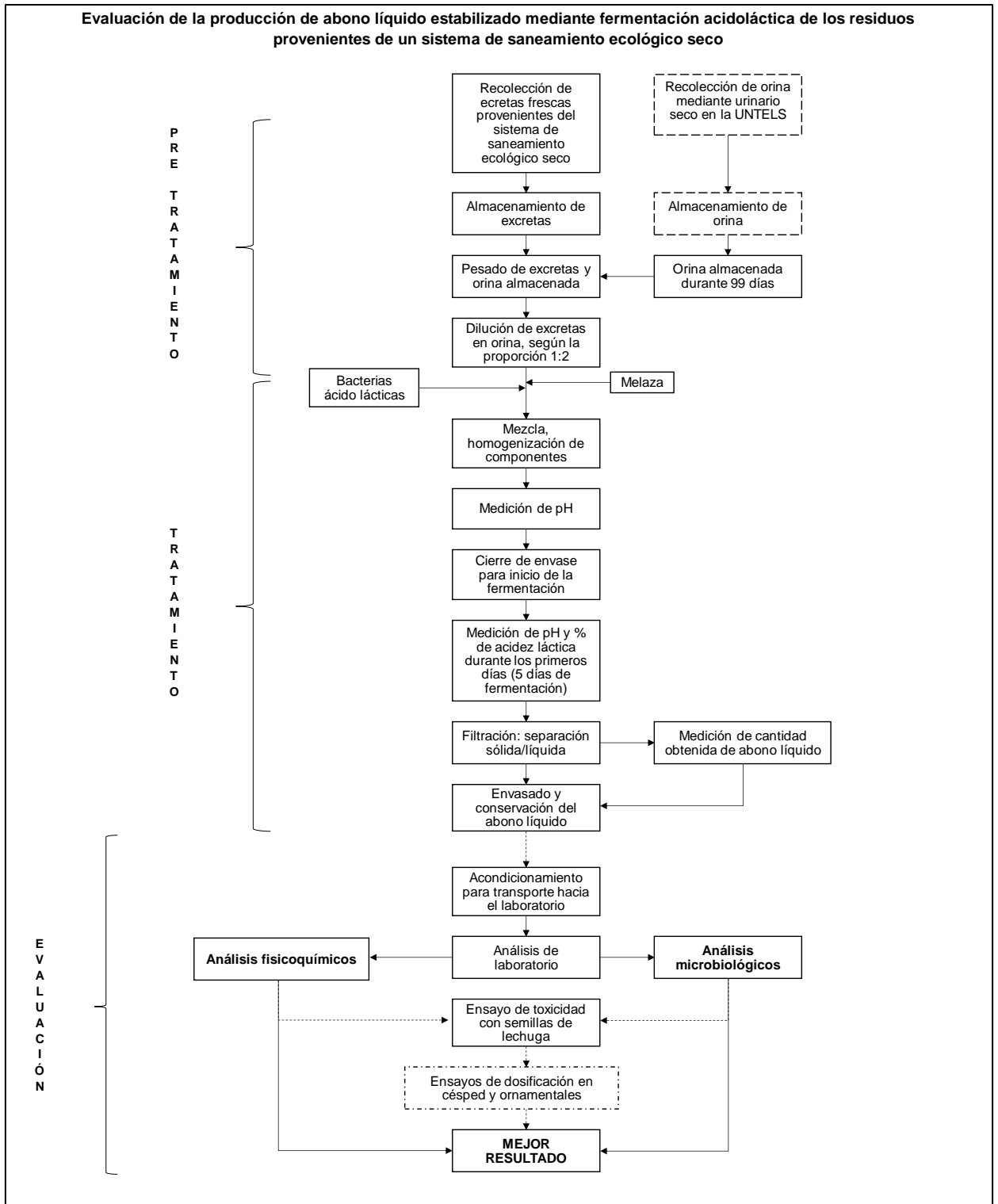
Lesmes, R., Molano, A., Miranda, D., & Chaves, B. (2007). Evaluación de concentraciones de sal (NaCl) en el agua de riego sobre el crecimiento de lechuga 'Batavia' (*Lactuca sativa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), pp. 222-235.

- Mindreau Ganoza, E. (2016). Estabilización de heces humanas provenientes de baños secos por un proceso de fermentación ácido láctica. *Ecología Aplicada*, 143-150.
- Mindreau Ganoza, E., Juscamaita Morales, J., Williams León de Castro, M., & Aguirre Yato, G. (2017). Producción de un estabilizado a partir de heces humanas para su uso como enmienda agrícola. *The Biologist*, 287-295.
- NTP 311.557:2013. (2013). *FERTILIZANTES. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. Lima: Instituto Nacional de la Calidad.
- Odey, E. A., Yan, Y., Li, Z., & Zhou, X. (2018). *Locally produced lactic acid bacteria for pathogen inactivation and odor control in fecal sludge*. Bethesda MD: National Center for Biotechnology Information.
- Parra Huertas, R. A. (2010). Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 94-105.
- Prado García-Blásquez, X. (2017). *Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Quiñones Ramirez, H. R. (2016). *Producción de abono líquido acelerado con heces de alpaca, lactosuero bovino y melaza de caña mediante fermentación homoláctica*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Richert, A., Gensch, R., Jonsson, H., Stenstrom, T.-A., & Dagerskog, L. (2011). *Guía práctica de uso de la orina en la producción agrícola*. Sweden: EsoSanRes Programme.
- Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). *Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L.*. Ottawa: International Development Research Center & Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). *Manejo de lodos fecales: un enfoque sistémico para su implementación y operación*. Londres: IWA Publishing.
- Vargas Bolívar, P. R. (2017). *Tratamiento del residuo de baños portátiles y elaboración de abono líquido mediante bacterias ácido-lácticas*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- X-Runner Venture. (26 de enero de 2019). *X-Runner - Quienes Somos*. Obtenido de <https://xrunner-venture.org/es/quienes-somos/>.



## ANEXOS



*Figura 24. Flujograma del proyecto*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JORGE HUINGO VARGAS  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ VILLA EL SALVADOR  
MUESTRA DE : ABONO LIQUIDO  
REFERENCIA : H.R. 67488  
BOLETA : 2728  
FECHA : 19/03/19

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
218	-	4.29	44.60	148.97	107.74	3522.40	477.56	522.80

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L	Pb Total mg/L	Cd Total mg/L	Cr Total mg/L
218	-	994.00	1006.00	4640.00	1.27	0.16	0.65

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
218	-	233.20	0.48	8.82	13.40	2.64

  
Dr. Sady García Bendeziú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Figura 25. Informe de materia orgánica del producto líquido estabilizado



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

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



## INFORME DE ENSAYO N° 1903098- LMT

**SOLICITANTE** : JORGE HUINGO VARGAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

**MUESTRA** : ABONO LÍQUIDO  
1903098)

PROCEDENCIA : Villa Salvador  
 TIPO DE ENVASE : Botella de vidrio  
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 250 ml aprox.  
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
 FECHA DE MUESTREO : 2019 - 03 - 08  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019 - 03 - 08  
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 10  
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2019 - 03 - 15

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1903098
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)	6.8
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	6.8
<sup>1</sup> Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/ml)	6.8
<sup>1</sup> Detección de <i>Salmonella sp.</i> en 25 ml.	Ausencia

#### Métodos:

<sup>1</sup>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 muestras proporcionadas 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, 25 de marzo de 2019



  
DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

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

Teléfono: 6147800 anexo 274  
E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)  
Anartado Postal 456 - Lima 12 - PFRUJ

Figura 26. Informe microbiológico del producto líquido estabilizado



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

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



## INFORME DE ENSAYO N° 1903111- LMT

**SOLICITANTE** : JORGE HUINGO VARGAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

**MUESTRA** : BIOABONO SOLIDO  
1903111)

PROCEDENCIA : Villa Salvador  
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 1000 g. 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 - 25

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1903111
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/g.)	< 3
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/g.)	< 3
<sup>1</sup> Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g.)	< 3
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos (N°/4g.)	0

#### Métodos:

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

<sup>2</sup>Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa.(2008), Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas 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, 01 de Abril de 2019

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

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

Teléfono: 6147800 anexo 274  
E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)  
Anartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

Figura 27. Informe microbiológico del producto sólido estabilizado

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

### INFORME DE ENSAYO N° 131991 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : JORGE LUIS HUINGO VARGAS  
**DOMICILIO LEGAL** : CA. SAN AGUSTÍN URB. JOSÉ CARLOS MARIATEGUI- VILLA MARÍA DEL TRIUNFO- LIMA- LIMA  
**SOLICITADO POR** : JORGE LUIS HUINGO VARGAS  
**REFERENCIA** : ABONO LÍQUIDO - UNTELS  
**PROCEDENCIA** : VILLA EL SALVADOR  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2019-04-02  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-04-02 AL 2019-04-04  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-04-02  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Huevos de Helmintos en Aguas	SAG-141024 Rev. 01 (Validado), 2017. Referenciado en el Método de Ballenger modificado. Identificación y Cuantificación de Huevos de Helmintos en Aguas.	1	Huevos/L

L.C.: Límite de cuantificación.

**II. RESULTADOS**

Producto declarado	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2019-04-02	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada	
Código del Cliente	EST-01	
Código del Laboratorio	19040084	
Ensayos	Unidades	Resultados
<b>Huevos de Helmintos</b>		
<b>Nemátodos</b>		
<b>Familia/Género/Especie:</b>		
<i>Ascaris sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Ancylostomideo</i>	Huevos/L	<1
<i>Enterobius vermicularis</i>	Huevos/L	<1
<i>Trichuris sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Toxocara sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Capillaria sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Trichostrongylus sp.</i>	Huevos/L	<1
<b>Céstodos</b>		
<b>Género/Especie:</b>		
<i>Dyphylidium sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Taenia sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Hymenolepis diminuta</i>	Huevos/L	<1
<i>Hymenolepis nana</i>	Huevos/L	<1
<i>Hymenolepis sp.</i>	Huevos/L	<1
<b>Tremátodos</b>		
<b>Género/Especie:</b>		
<i>Fasciola hepatica</i>	Huevos/L	<1
<i>Paragonimus sp.</i>	Huevos/L	<1
<i>Schistosoma sp.</i>	Huevos/L	<1
<b>Acantocéfalo</b>		
<b>Género:</b>		
<i>Macracanthorhynchus sp.</i>	Huevos/L	<1
<b>Total<sup>1</sup></b>	<b>Huevos/L</b>	<b>&lt;1</b>

1: Indica el número de Huevos/L total por litro de muestra incluyendo todas las especies encontradas.  
Nota: <1 es equivalente a 0, lo que indica la no detección de huevos de helmintos.

Lima, 10 de Abril del 2019.

Cod.: FI 02/ Versión: 09/FE.03/2018

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: \* Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. \* Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. \* Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.  
\* Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. \* Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima  
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 1

Bigo. Roger Aparicio Estrada  
C.B.P. N° 7403  
Asesor Técnico Biológico

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Figura 28. Informe parasitológico del producto líquido estabilizado





*Figura 30. Homogenización de la mezcla*



*Figura 31. Reactor de fermentación*







*Figura 34. Filtrador casero*



*Figura 35. Producto liquido estabilizado filtrado*



Figura 36. Germinación de semillas



Figura 37. Medición directa de pH en reactor



Figura 38. Acondicionamiento de muestras para laboratorio



Figura 39. Diluciones y placas petri

Tabla 31  
Crecimiento de radícula

N°	Control			0.1/100			0.5/100			1/100			1.5/100			2/100			3/100			5/100			7/100			100/100			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
1	1.80	3.4	3.7	2.4	2.9	1.4	2.50	2.20	3.60	3.50	3.20	3.50	2.40	1.70	2.90	0.90	0.70	1.10	2.40	1.10	2.00	0.50	0.90	0.90	0.10	0.10	0.40	0	0	0	
2	2.80	3.7	3.8	1	1.3	1.5	4.50	3.30	3.50	1.90	3.00	2.90	1.50	2.60	2.30	1.00	1.00	2.00	2.80	0.50	1.20	0.10	0.20	0.50	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
3	3.90	4.2	4	2	2.2	2.3	3.20	3.90	2.80	3.40	3.20	2.00	0.50	1.20	2.80	1.50	1.30	1.50	2.30	1.40	1.30	0.10	0.50	0.20	0.10	0.10	0.30	0	0	0	
4	3.50	4.6	3	2.6	2.2	1.2	4.00	3.70	1.70	2.00	1.70	2.50	2.20	3.00	2.60	0.60	0.80	2.10	1.50	1.20	1.50	0.10	0.50	0.50	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
5	2.30	3.7	2.5	2	2.5	1.6	3.60	3.80	3.60	2.00	3.50	3.70	2.20	3.40	2.50	1.10	1.30	1.80	2.30	1.30	1.00	0.20	0.20	0.40	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
6	3.00	3	4.5	2	1.9	2.1	3.50	3.70	2.80	1.80	3.00	2.30	1.50	1.00	2.60	0.70	1.00	1.90	2.00	0.80	0.80	0.20	0.70	0.80	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
7	1.50	4.5	2.7	1.5	2.4	1.7	3.40	5.20	4.10	2.00	2.00	2.50	1.90	2.20	1.80	1.20	0.40	1.50	2.50	1.30	1.50	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
8	4.00	4.9	2.4	1.9	3	1.5	3.50	3.70	0.50	2.90	1.30	3.90	1.40	2.30	3.30	1.50	0.60	2.00	1.00	1.40	1.90	0.30	0.40	0.30	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
9	3.20	2.1	2.5	2.1	1.9	1.9	3.80	2.60	3.10	2.00	2.50	3.70	0.80	3.30	1.90	0.10	0.50	2.00	0.90	1.10	0.10	0.20	0.40	0.70	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
10	4.20	2.8	4.6	1.7	1	1.4	3.10	4.10	2.90	0.70	3.30	2.80	2.30	0.50	2.60	0.70	1.00	1.60	1.80	1.00	0.70	0.50	0.40	0.20	0.10	0.10	0.10	0	0	0	
11	3.20	4	4.1	1.5	0.7	1.1	3.00	3.80	2.90	2.00	1.60	1.00	2.40	1.40	1.50	0.50	0.70	1.00	1.80	1.20	1.70	0.20	0.20	1.40	0	0	0.20	0	0	0	
12	3.60	4	3.2	1	0.5	2.1	3.50	1.60	1.40	2.10	1.80	2.30	0.80	2.40	1.30	0.90	0.30	2.10	1.50	0.20	0.50	0.20	0.20	0.30	0	0	0.10	0	0	0	
13	2.00	2	3	0.5	0.7	0.5	2.10	4.00	3.20	2.30	2.90	2.80	0.70	0.80	0.70	0.70	0.30	1.50	0.90	0	0.40	0.20	0.20	0	0	0	0.30	0	0	0	
14	4.50	1.5	0.6	0.3	0.5	0.5	1.20	1.60	1.20	1.10	2.40	2.80	0.50	0.60	0.30	0.60	0.60	0.30	2.10	0	0	0	0.20	0	0	0	0	0.10	0	0	0
15	3.20	1.5	0.6	0.4	0.3	0.4	0.30	3.80	3.60	2.30	3.00	2.30	0.20	1.90	0	1.50	0.20	0.60	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0	0	
16	4.50	1	2.5	0.3	0	0.2	0	3.80	0.90	2.80	0.50	3.80	0.10	0.80	0	0.80	0	1.40	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0	0	
17	4.20	3.5	2.7	0	0	0	0	3.00	0.30	2.70	0.10	3.60	0	2.30	0	0.40	0	2.50	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	3.20	1.5	3.2	0	0	0	0	0.80	0	0	0.30	1.10	0	2.60	0	0	0	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	4.30	0	0	0	0	0	0	0.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 32  
Crecimiento de hipocótilo

N°	Control			0.1/100			0.5/100			1/100			1.5/100			2/100			3/100			5/100			7/100			100/100				
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2
1	1.20	2.30	1.90	1.90	2.00	2.40	4.00	3.50	2.00	2.80	1.90	3.00	3.70	2.40	2.30	1.90	0.30	2.10	2.70	1.00	1.50	0.70	1.50	2.60	0.80	1.00	1.10	0	0	0		
2	2.80	2.20	2.60	0.70	2.10	2.10	2.80	2.90	2.30	1.80	3.00	2.80	2.00	2.80	2.40	2.60	2.50	1.50	2.50	0.40	1.30	0.90	1.00	1.10	0.60	0.90	1.10	0	0	0		
3	2.40	2.00	1.80	2.40	3.20	2.20	2.40	2.00	2.40	2.60	2.30	2.00	1.00	1.40	3.80	1.50	2.60	2.80	3.00	0.70	1.50	1.20	1.70	1.20	0.60	0.80	0.70	0	0	0		
4	2.00	2.40	2.40	2.70	2.00	1.70	2.80	2.50	2.10	2.50	3.20	4.60	3.20	2.50	2.80	2.50	1.40	2.10	2.10	0.70	2.40	0.70	1.70	1.40	0.30	0.40	0.90	0	0	0		
5	1.80	3.40	1.50	1.90	1.90	1.80	2.90	1.80	3.20	2.30	3.30	1.90	2.90	2.30	3.60	1.90	2.00	1.70	3.40	0.60	1.50	1.10	1.30	1.40	0.30	0.50	0.60	0	0	0		
6	1.70	2.50	2.40	2.00	1.60	2.00	1.90	3.20	3.60	3.40	2.60	2.00	1.70	2.70	3.00	3.20	2.50	3.00	1.90	0.90	0.70	0.90	1.50	1.00	0.50	1.00	0.80	0	0	0		
7	2.10	1.30	1.50	1.80	2.30	1.80	2.20	3.10	2.30	1.80	2.00	1.80	2.60	2.40	5.40	3.50	1.20	2.50	2.00	0.70	1.70	0.90	1.10	1.60	0.40	0.60	0.60	0	0	0		
8	2.50	2.60	1.60	1.60	2.00	1.60	3.20	2.40	2.00	2.20	1.70	2.70	1.80	2.00	4.10	3.50	0.80	2.50	1.90	0.60	3.40	1.00	1.30	1.40	0.40	0.20	0.70	0	0	0		
9	2.00	1.30	1.80	2.00	1.80	2.10	2.50	3.00	2.40	2.30	4.60	2.40	2.00	2.10	2.00	1.00	0.40	2.60	3.40	0.60	1.70	0.80	0.30	1.00	0.20	0.10	0.60	0	0	0		
10	2.50	1.20	3.00	1.40	1.50	1.20	3.60	2.00	2.70	1.70	2.60	1.90	2.40	0.60	2.80	2.40	1.00	2.60	2.80	0.90	0.40	1.00	1.20	0.90	0.20	0.10	0.50	0	0	0		
11	2.60	1.70	2.50	2.60	1.10	0.70	1.70	1.80	4.20	2.40	1.30	2.20	3.00	1.40	0.80	0.50	1.50	1.60	3.10	1.10	1.50	0.50	1.00	1.70	0	0	0.70	0	0	0		
12	1.60	2.50	1.40	1.00	1.40	1.70	2.50	1.70	0.70	2.30	2.00	2.40	0.60	3.00	1.80	1.30	0.90	2.40	2.90	0.40	0.50	0.70	0.10	0.30	0	0	0.20	0	0	0		
13	1.00	3.40	2.00	0.90	1.00	0.20	2.90	2.30	1.80	2.40	2.50	2.20	0.40	0.90	0.40	0.40	0.60	1.40	0.40	0	0.30	1.00	0.50	0	0	0	0.40	0	0	0		
14	2.90	1.50	0.30	0.30	0.40	0.10	1.10	1.80	0.60	0.70	3.20	2.50	0.10	0.40	0.50	2.00	0.40	0.80	2.00	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0.20	0	0	0	
15	2.10	1.70	0.20	0.40	0.10	0.40	0.20	2.40	3.40	2.50	2.80	2.30	0.10	1.60	0	2.00	0.20	2.10	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0	0	
16	2.10	0.50	1.80	0.40	0	0.20	0	2.30	0.70	2.30	0.50	2.40	0.10	1.10	0	0.30	0	2.70	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0	0		
17	2.90	2.60	1.50	0	0	0	0	1.70	0.20	2.40	0.20	2.60	0	2.40	0	0.10	0	2.10	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	2.20	1.60	1.40	0	0	0	0	1.00	0	0	0.20	0.80	0	2.10	0	0	0	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	2.50	0	0	0	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 33  
 Datos de germinación de *Lactuca sativa*

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
Control	R1	1	1.80	1.20	95	91.7	19	55.0	100.0	3.15	2.87	100.00	100.00	2.05	1.82	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	2.80	2.80																
		3	3.90	2.40																
		4	3.50	2.00																
		5	2.30	1.80																
		6	3.00	1.70																
		7	1.50	2.10																
		8	4.00	2.50																
		9	3.20	2.00																
		10	4.20	2.50																
		11	3.20	2.60																
		12	3.60	1.60																
		13	2.00	1.00																
		14	4.50	2.90																
		15	3.20	2.10																
		16	4.50	2.10																
		17	4.20	2.90																
		18	3.20	2.20																
		19	4.30	2.50																
		20	0.00	0.00																
	R2	1	3.40	2.30	90	91.7	18	55.0	100.0	2.80	2.87	100.00	100.00	1.84	1.82	100.00	0.00	0.00	0.00	
		2	3.70	2.20																
		3	4.20	2.00																
		4	4.60	2.40																
		5	3.70	3.40																
		6	3.00	2.50																
		7	4.50	1.30																
		8	4.90	2.60																
		9	2.10	1.30																
		10	2.80	1.20																
		11	4.00	1.70																
		12	4.00	2.50																
		13	2.00	3.40																
		14	1.50	1.50																
15	1.50	1.70																		
16	1.00	0.50																		
17	3.50	2.60																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
		18	1.50	1.60	90		18			2.68				1.58						
		19	0.00	0.00																
		20	0.00	0.00																
	R3	1	3.70	1.90																
		2	3.80	2.60																
		3	4.00	1.80																
		4	3.00	2.40																
		5	2.50	1.50																
		6	4.50	2.40																
		7	2.70	1.50																
		8	2.40	1.60																
		9	2.50	1.80																
		10	4.60	3.00																
		11	4.10	2.50																
		12	3.20	1.40																
		13	3.00	2.00																
		14	0.60	0.30																
		15	0.60	0.20																
		16	2.50	1.80																
		17	2.70	1.50																
18	3.20	1.40																		
19	0.00	0.00																		
20	0.00	0.00																		
0.1/100	R1	1	2.40	1.90	80	78.3	16	47.0	85.5	1.16	1.14	39.79	34.00	1.20	1.18	64.65	14.55	60.21	35.35	
		2	1.00	0.70																
		3	2.00	2.40																
		4	2.60	2.70																
		5	2.00	1.90																
		6	2.00	2.00																
		7	1.50	1.80																
		8	1.90	1.60																
		9	2.10	2.00																
		10	1.70	1.40																
		11	1.50	2.60																
		12	1.00	1.00																
		13	0.50	0.90																
		14	0.30	0.30																
		15	0.40	0.40																
		16	0.30	0.40																

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)															
		17	0.00	0.00	75		15			1.20				1.22																				
		18	0.00	0.00																														
		19	0.00	0.00																														
		20	0.00	0.00																														
	R2	1	2.90	2.00																														
		2	1.30	2.10																														
		3	2.20	3.20																														
		4	2.20	2.00																														
		5	2.50	1.90																														
		6	1.90	1.60																														
		7	2.40	2.30																														
		8	3.00	2.00																														
		9	1.90	1.80																														
		10	1.00	1.50																														
		11	0.70	1.10																														
		12	0.50	1.40																														
		13	0.70	1.00																														
		14	0.50	0.40																														
		15	0.30	0.10																														
		16	0.00	0.00																														
	17	0.00	0.00																															
	18	0.00	0.00																															
	19	0.00	0.00																															
	20	0.00	0.00																															
	R3	1	1.40	2.40			80			16				1.07							1.11													
		2	1.50	2.10																														
		3	2.30	2.20																														
		4	1.20	1.70																														
		5	1.60	1.80																														
		6	2.10	2.00																														
		7	1.70	1.80																														
		8	1.50	1.60																														
		9	1.90	2.10																														
		10	1.40	1.20																														
		11	1.10	0.70																														
12		2.10	1.70																															
13		0.50	0.20																															
14		0.50	0.10																															
15		0.40	0.40																															



Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		16	0.20	0.20																	
		17	0.00	0.00																	
		18	0.00	0.00																	
		19	0.00	0.00																	
		20	0.00	0.00																	
0.5/100	R1	1	2.50	4.00	75	85.0	15	51.0	92.7	2.26	2.45	85.09	78.90	1.84	1.92	105.31	7.27	14.91	-5.31		
		2	4.50	2.80																	
		3	3.20	2.40																	
		4	4.00	2.80																	
		5	3.60	2.90																	
		6	3.50	1.90																	
		7	3.40	2.20																	
		8	3.50	3.20																	
		9	3.80	2.50																	
		10	3.10	3.60																	
	11	3.00	1.70																		
	12	3.50	2.50																		
	13	2.10	2.90																		
	14	1.20	1.10																		
	15	0.30	0.20																		
	16	0.00	0.00																		
	17	0.00	0.00																		
	18	0.00	0.00																		
	19	0.00	0.00																		
	20	0.00	0.00																		
	R2	1	2.20	3.50	95		19			2.97			2.09								
2		3.30	2.90																		
3		3.90	2.00																		
4		3.70	2.50																		
5		3.80	1.80																		
6		3.70	3.20																		
7		5.20	3.10																		
8		3.70	2.40																		
9		2.60	3.00																		
10		4.10	2.00																		
11		3.80	1.80																		
12		1.60	1.70																		
13		4.00	2.30																		
14		1.60	1.80																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
		15	3.80	2.40	85		17			2.11										
		16	3.80	2.30																
		17	3.00	1.70																
		18	0.80	1.00																
		19	0.80	0.30																
		20	0.00	0.00																
	R3	1	3.60	2.00																
		2	3.50	2.30																
		3	2.80	2.40																
		4	1.70	2.10																
		5	3.60	3.20																
		6	2.80	3.60																
		7	4.10	2.30																
		8	0.50	2.00																
		9	3.10	2.40																
		10	2.90	2.70																
		11	2.90	4.20																
		12	1.40	0.70																
		13	3.20	1.80																
		14	1.20	0.60																
1/100	R1	1	3.50	2.80	85	88.3	17	53.0	96.4	1.88	2.11	73.26	70.60	1.92	2.01	110.62	3.64	26.74		-10.62
		2	1.90	1.80																
		3	3.40	2.60																
		4	2.00	2.50																
		5	2.00	2.30																
		6	1.80	3.40																
		7	2.00	1.80																
		8	2.90	2.20																
		9	2.00	2.30																
		10	0.70	1.70																
		11	2.00	2.40																
		12	2.10	2.30																
		13	2.30	2.40																

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
		14	1.10	0.70	90			18			1.97				2.00					
		15	2.30	2.50																
		16	2.80	2.30																
		17	2.70	2.40																
		18	0.00	0.00																
		19	0.00	0.00																
	20	0.00	0.00																	
	R2	1	3.20	1.90																
		2	3.00	3.00																
		3	3.20	2.30																
		4	1.70	3.20																
		5	3.50	3.30																
		6	3.00	2.60																
		7	2.00	2.00																
		8	1.30	1.70																
		9	2.50	4.60																
		10	3.30	2.60																
		11	1.60	1.30																
		12	1.80	2.00																
		13	2.90	2.50																
		14	2.40	3.20																
	15	3.00	2.80																	
	16	0.50	0.50																	
	17	0.10	0.20																	
	18	0.30	0.20																	
	19	0.00	0.00																	
	20	0.00	0.00																	
	R3	1	3.50	3.00																
		2	2.90	2.80																
		3	2.00	2.00																
		4	2.50	4.60																
		5	3.70	1.90																
		6	2.30	2.00																
7		2.50	1.80																	
8		3.90	2.70																	
9		3.70	2.40																	
10		2.80	1.90																	
11		1.00	2.20																	
12		2.30	2.40																	

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		13	2.80	2.20																	
		14	2.80	2.50																	
		15	2.30	2.30																	
		16	3.80	2.40																	
		17	3.60	2.60																	
		18	1.10	0.80																	
		19	0.00	0.00																	
		20	0.00	0.00																	
1.5/100	R1	1	2.40	3.70	80	80.0	16	48.0	87.3	1.07	1.41	49.01	42.78	1.38	1.59	87.09	12.73	50.99	12.91		
		2	1.50	2.00																	
		3	0.50	1.00																	
		4	2.20	3.20																	
		5	2.20	2.90																	
		6	1.50	1.70																	
		7	1.90	2.60																	
		8	1.40	1.80																	
		9	0.80	2.00																	
		10	2.30	2.40																	
	11	2.40	3.00																		
	12	0.80	0.60																		
	13	0.70	0.40																		
	14	0.50	0.10																		
	15	0.20	0.10																		
	16	0.10	0.10																		
	17	0.00	0.00																		
	18	0.00	0.00																		
	19	0.00	0.00																		
	20	0.00	0.00																		
	R2	1	1.70	2.40	90		18			1.70				1.71							
2		2.60	2.80																		
3		1.20	1.40																		
4		3.00	2.50																		
5		3.40	2.30																		
6		1.00	2.70																		
7		2.20	2.40																		
8		2.30	2.00																		
9		3.30	2.10																		
10		0.50	0.60																		
11		1.40	1.40																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
		12	2.40	3.00	70			14			1.46				1.67					
		13	0.80	0.90																
		14	0.60	0.40																
		15	1.90	1.60																
		16	0.80	1.10																
		17	2.30	2.40																
		18	2.60	2.10																
		19	0.00	0.00																
	20	0.00	0.00																	
	R3	1	2.90	0.00																
		2	2.30	2.40																
		3	2.80	3.80																
		4	2.60	2.80																
		5	2.50	3.60																
		6	2.60	3.00																
		7	1.80	5.40																
		8	3.30	4.10																
		9	1.90	2.00																
		10	2.60	2.80																
		11	1.50	0.80																
12		1.30	1.80																	
13	0.70	0.40																		
14	0.30	0.50																		
15	0.00	0.00																		
16	0.00	0.00																		
17	0.00	0.00																		
18	0.00	0.00																		
19	0.00	0.00																		
20	0.00	0.00																		
2/100	R1	1	0.90	1.90	85	83.3	17	50.0	90.9	0.74	0.88	30.74	27.95	1.53	1.44	79.12	9.09	69.26	20.88	
		2	1.00	2.60																
		3	1.50	1.50																
		4	0.60	2.50																
		5	1.10	1.90																
		6	0.70	3.20																
		7	1.20	3.50																
		8	1.50	3.50																
		9	0.10	1.00																
		10	0.70	2.40																

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		11	0.50	0.50	75			15			0.54				0.92						
		12	0.90	1.30																	
		13	0.70	0.40																	
		14	0.60	2.00																	
		15	1.50	2.00																	
		16	0.80	0.30																	
		17	0.40	0.10																	
		18	0.00	0.00																	
		19	0.00	0.00																	
		20	0.00	0.00																	
	R2	1	0.70	0.30																	
		2	1.00	2.50																	
		3	1.30	2.60																	
		4	0.80	1.40																	
		5	1.30	2.00																	
		6	1.00	2.50																	
		7	0.40	1.20																	
		8	0.60	0.80																	
		9	0.50	0.40																	
		10	1.00	1.00																	
	R3	11	0.70	1.50																	
		12	0.30	0.90																	
		13	0.30	0.60																	
		14	0.60	0.40																	
		15	0.20	0.20																	
		16	0.00	0.00																	
		17	0.00	0.00																	
		18	0.00	0.00																	
		19	0.00	0.00																	
		20	0.00	0.00																	
	R3	1	1.10	2.10	90		18			1.38				1.88							
		2	2.00	1.50																	
		3	1.50	2.80																	
		4	2.10	2.10																	
		5	1.80	1.70																	
		6	1.90	3.00																	
		7	1.50	2.50																	
		8	2.00	2.50																	
		9	2.00	2.60																	

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		10	1.60	2.60																	
		11	1.00	1.60																	
		12	2.10	2.40																	
		13	1.50	1.40																	
		14	0.30	0.80																	
		15	0.60	2.10																	
		16	1.40	2.70																	
		17	2.50	2.10																	
		18	0.70	1.00																	
		19	0.00	0.00																	
		20	0.00	0.00																	
3/100	R1	1	2.40	2.70	85	70.0	17	42.0	76.4	1.38	0.91	31.73	24.23	1.75	1.03	56.68	23.64	68.27	43.32		
		2	2.80	2.50																	
		3	2.30	3.00																	
		4	1.50	2.10																	
		5	2.30	3.40																	
		6	2.00	1.90																	
		7	2.50	2.00																	
		8	1.00	1.90																	
		9	0.90	3.40																	
		10	1.80	2.80																	
	11	1.80	3.10																		
	12	1.50	2.90																		
	13	0.90	0.40																		
	14	2.10	2.00																		
	15	0.40	0.20																		
	16	1.00	0.40																		
	17	0.40	0.20																		
	18	0.00	0.00																		
	19	0.00	0.00																		
	20	0.00	0.00																		
	R2	1	1.10	1.00	60		12		0.63				0.43								
2		0.50	0.40																		
3		1.40	0.70																		
4		1.20	0.70																		
5		1.30	0.60																		
6		0.80	0.90																		
7		1.30	0.70																		
8		1.40	0.60																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)	
		9	1.10	0.60																
		10	1.00	0.90																
		11	1.20	1.10																
		12	0.20	0.40																
		13	0.00	0.00																
		14	0.00	0.00																
		15	0.00	0.00																
		16	0.00	0.00																
		17	0.00	0.00																
		18	0.00	0.00																
	19	0.00	0.00																	
	20	0.00	0.00																	
	R3	1	2.00	1.50	65		13			0.73					0.92					
		2	1.20	1.30																
		3	1.30	1.50																
		4	1.50	2.40																
		5	1.00	1.50																
		6	0.80	0.70																
		7	1.50	1.70																
		8	1.90	3.40																
9		0.10	1.70																	
10		0.70	0.40																	
11	1.70	1.50																		
12	0.50	0.50																		
13	0.40	0.30																		
14	0.00	0.00																		
15	0.00	0.00																		
16	0.00	0.00																		
17	0.00	0.00																		
18	0.00	0.00																		
19	0.00	0.00																		
20	0.00	0.00																		
5/100	R1	1	0.50	0.70	65	65.0	13	39.0	70.9	0.15	0.24	8.47	6.01	0.57	0.69	38.00	29.09	91.53	62.00	
		2	0.10	0.90																
		3	0.10	1.20																
		4	0.10	0.70																
		5	0.20	1.10																
		6	0.20	0.90																
		7	0.20	0.90																



Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		8	0.30	1.00																	
		9	0.20	0.80																	
		10	0.50	1.00																	
		11	0.20	0.50																	
		12	0.20	0.70																	
		13	0.20	1.00																	
		14	0.00	0.00																	
		15	0.00	0.00																	
		16	0.00	0.00																	
		17	0.00	0.00																	
		18	0.00	0.00																	
		19	0.00	0.00																	
	20	0.00	0.00																		
	R2	1	0.90	1.50	70		14			0.26					0.73						
		2	0.20	1.00																	
		3	0.50	1.70																	
		4	0.50	1.70																	
		5	0.20	1.30																	
		6	0.70	1.50																	
		7	0.20	1.10																	
		8	0.40	1.30																	
		9	0.40	0.30																	
		10	0.40	1.20																	
		11	0.20	1.00																	
		12	0.20	0.10																	
	13	0.20	0.50																		
	14	0.20	0.30																		
	15	0.00	0.00																		
	16	0.00	0.00																		
	17	0.00	0.00																		
18	0.00	0.00																			
19	0.00	0.00																			
20	0.00	0.00																			
R3	1	0.90	2.60	60		12			0.32					0.78							
	2	0.50	1.10																		
	3	0.20	1.20																		
	4	0.50	1.40																		
	5	0.40	1.40																		
	6	0.80	1.00																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		7	0.20	1.60																	
		8	0.30	1.40																	
		9	0.70	1.00																	
		10	0.20	0.90																	
		11	1.40	1.70																	
		12	0.30	0.30																	
		13	0.00	0.00																	
		14	0.00	0.00																	
		15	0.00	0.00																	
		16	0.00	0.00																	
		17	0.00	0.00																	
		18	0.00	0.00																	
		19	0.00	0.00																	
20	0.00	0.00																			
7/100	R1	1	0.10	0.80	50	60.0	10	36.0	65.5	0.05	0.07	2.55	1.67	0.22	0.32	17.67	34.55	97.45	82.33		
		2	0.10	0.60																	
		3	0.10	0.60																	
		4	0.10	0.30																	
		5	0.10	0.30																	
		6	0.10	0.50																	
		7	0.10	0.40																	
		8	0.10	0.40																	
		9	0.10	0.20																	
		10	0.10	0.20																	
		11	0.00	0.00																	
		12	0.00	0.00																	
		13	0.00	0.00																	
	14	0.00	0.00																		
	15	0.00	0.00																		
	16	0.00	0.00																		
	17	0.00	0.00																		
	18	0.00	0.00																		
	19	0.00	0.00																		
	20	0.00	0.00																		
	R2	1	0.10	1.00	50		10			0.05				0.28							
2		0.10	0.90																		
3		0.10	0.80																		
4		0.10	0.40																		
5		0.10	0.50																		

Dilución	Repetición	Semilla	Radícula (cm)	Hipocótilo (cm)	PG Repetición (%)	PG Dilución (%)	N° germinado Repetición	N° germinado Dilución	PGR Dilución (%)	Promedio Radícula Repetición	Promedio Radícula Dilución	CRR Dilución (%)	IG Dilución (%)	Promedio Hipocótilo Repetición	Promedio Hipocótilo Dilución	CR Hipocótilo (%)	Inhibición Germinación (%)	Inhibición Radícula (%)	Inhibición Hipocótilo (%)		
		6	0.10	1.00																	
		7	0.10	0.60																	
		8	0.10	0.20																	
		9	0.10	0.10																	
		10	0.10	0.10																	
		11	0.00	0.00																	
		12	0.00	0.00																	
		13	0.00	0.00																	
		14	0.00	0.00																	
		15	0.00	0.00																	
	16	0.00	0.00																		
	17	0.00	0.00																		
	18	0.00	0.00																		
	19	0.00	0.00																		
	20	0.00	0.00																		
	R3	1	0.40	1.10	80		16			0.12					0.47						
		2	0.10	1.10																	
		3	0.30	0.70																	
		4	0.10	0.90																	
		5	0.10	0.60																	
6		0.10	0.80																		
7		0.10	0.60																		
8		0.10	0.70																		
9		0.10	0.60																		
10		0.10	0.50																		
11	0.20	0.70																			
12	0.10	0.20																			
13	0.30	0.40																			
14	0.10	0.20																			
15	0.10	0.20																			
16	0.10	0.10																			
17	0.00	0.00																			
18	0.00	0.00																			
19	0.00	0.00																			
20	0.00	0.00																			
100/100	R1	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00		
	R2	0	0	0	0		0			0.00				0.00							
	R3	0	0	0	0		0			0.00				0.00							