

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**PRODUCCIÓN DE COMPOST CON APLICACIÓN DE
LIXIVIADOS Y EFECTO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO
DE *Lactuca sativa L* VARIEDAD *Waldmans green* EN SAN
JERÓNIMO - CUSCO**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL DE BIÓLOGO

PRESENTADA POR:

Br. NICOLÁS GERARDO CASTRO POCCORI

Br. MARÍA OLIVIA ARCE TTITO

ASESORA:

DRA. GRETA MARGOT PAIVA PRADO

CUSCO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y permitirme culminar este trabajo, A mi familia Milagros y Nicole, mis padres, Eleuterio y Timotea por su amor, paciencia y todo su inmenso e incondicional apoyo durante toda mi vida. A mis hermanos, Karine, Yessenia e Israel, un día ustedes también lo lograrán. A mis amigos los viejos, los nuevos y los de siempre; por ayudarme a ser lo que soy.

NICOLÁS GERARDO CASTRO POCCORI.

A mi madre Delia, por el amor y apoyo incondicional en todo momento, porque sin ti no hubiera llegado aquí, a mi padre Ronald por todo lo que me has dado y enseñado. A mis hermanos, Máximo, José Luis, Elvis, Hilda y Eva, por estar siempre ahí y ser parte primordial en mi vida. A mis amigos los viejos, los nuevos y los de siempre que estuvieron motivándome y ayudándome en cada momento.

MARÍA OLIVIA ARCE TTITO

AGRADECIMIENTOS

A Dios sobre todas las cosas, porque cuando creemos y perseveramos las cosas salen bien.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, nuestra Alma Mater, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Biología, por brindarnos las oportunidades y formarnos profesionalmente en sus aulas, por donde pasaron maestros de gran trayectoria.

A la Dra. Margot Paiva por su asesoramiento, aceptación, exigencia constante y sus sabios consejos.

Al Blgo. Percy Yanque, Mgt. Esther Álvarez, Dr. Efraín Molleapaza y a otros Docentes quienes contribuyeron y apoyaron con la investigación, Bibliografías, recomendaciones, paciencia, los cuales fueron necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A los funcionarios públicos de la Municipalidad Distrital de San Jerónimo: Mgt. Roberto Rojas Céspedes, Ing. Augusto Auccapure Vallenas, Dr. Víctor García.

A los amigos de toda la vida: Blgo Michael Paz Zuniga, Ing. Marco Moscoso, Sr. Cirilo Quispe Serrano, Sr Froilán Arana, Prof. Eliseo Arana Porras y a los trabajadores de la Planta de Compostaje por su apoyo incondicional, sus acertadas observaciones y su compromiso para enriquecer este trabajo.

A los compañeros y amigos de la Escuela Profesional de Biología y a todas las personas que son difíciles de nombrar, ya que son muchas, por ese granito de arena que aportaron de una u otra manera para el logro de este trabajo.

INDICE

RESUMEN.....	XII
INTRODUCCION	XIII
PROBLEMA	XIV
JUSTIFICACION	XVI
OBJETIVO.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XVIII

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes	1
1.2. Base teórica	7
1.2.1. Los Residuos solidos	7
1.2.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos.....	7
1.2.2. Los Abonos Orgánicos.	9
1.1.3. Compost.....	10
1.2.4. Lixiviados.	23
1.2.4.1. Características de los Lixiviados.	24
1.2.4.2. El secuestro y movilización de metales pesados (trazas).	25
1.2.4.3. Nutrientes en Lixiviados de Compost.	26
1.2.4.4. Tratamientos Conocidos para los Lixiviados.	27
1.2.4.5. Recirculación de los lixiviados.....	28
1.2.5. Generalidades del Cultivo de la Lechuga	29
1.2.5.1. Origen de la lechuga.	29
1.2.5.2. Condiciones agroecológicas de la lechuga	31
1.2.5.3. Variedades.	33
1.2.5.4. Tecnología del Cultivo de la Lechuga.....	34
1.2.5.5. Manejo del Cultivo	37
1.2.5.6. Principales Plagas y Enfermedades que Afectan al Cultivo.....	39

CAPITULO II AREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación.....	42
2.1.1. Política.....	42
2.1.2. Geográfica	42
2.1.3. Límites de la Planta de Compostaje	42
2.2. Características de la zona de estudio.	45
2.2.1. Geología.....	45
2.2.1.1. Grupo San Jerónimo (Eoceno medio – Oligoceno Inferior)	45
2.2.2.1. Climatodiagrama.	46

CAPITULO III MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales.....	49
3.1.1. Material Biológico.....	49
3.1.2. Materiales de Campo.....	49
3.1.3. Equipos.....	50
3.1.4. Herramientas.....	50
3.2. Metodología	51
3.2.1. Abonos orgánicos.....	52
3.2.1.1. Acondicionamiento del área para el proceso de compostaje.....	52
3.2.2. Proceso de formación de las Pilas De Compostaje.....	54
3.2.2.1. Selección de residuos orgánicos.....	54
3.2.2.2. Formación de pila de Compost.....	54
3.2.2.3. Volteo.....	55
3.2.3. Lixiviados de compost.....	56
3.2.3.1. Sistema de recolección y almacenamiento de los lixiviados.....	56
3.2.3.2. Colecta y almacenamiento de los lixiviados.....	56
3.2.3.3. Toma de muestra de lixiviados.....	57
3.2.4. Aplicación de los lixiviados al compost.....	58

3.2.4.1.	Tratamientos de las pilas de compost con el uso de los lixiviados.....	59
3.2.4.2.	Evaluación de parámetros físicos durante el proceso de compostaje. ...	60
3.2.5.	Cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> var. Waldmans green).....	65
3.2.6.	Evaluación del rendimiento de la lechuga.	71
3.2.7.	Procesamiento de la información.	74

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Producción de compost con aplicación de lixiviados.....	75
4.1.1.	Variación de la Temperatura durante el proceso de compostaje.	75
4.1.2.	Variación de la Humedad durante el proceso de compostaje.	77
4.1.3.	Variación del pH durante el proceso de compostaje.	79
4.1.4.	Producción del compost.....	80
4.2.	Concentraciones porcentuales de N, P y K en el compost producido.....	82
4.3.	Efecto del compost en la producción de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	87

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación de la temperatura en la pila de compost.	15
Figura 2. Evolución del pH durante el proceso de maduración.....	17
Figura 3. Dimensiones de una pila de compostaje.	20
Figura 4. Modalidades de volteo según número de pilas.	21
Figura 5. Sistema de aireación forzada.....	22
Figura 6. Foto y dibujo explicativo de la técnica de chimenea.	22
Figura 7. Sistema cerrado o reactor.	23
Figura 8. Morfología de la lechuga.	31
Figura 9. Mapa de ubicación.	44
Figura 10. Climatodiagrama de la Estación Granja K´ayra - UNSAAC.....	47
Figura 11. Croquis de la ubicación de las pilas para el proceso de compostaje.....	53
Figura 12. Puntos de medición de la temperatura y termómetro bimetalico.....	60
Figura 13. Puntos de medición de la humedad e higrómetro.	60
Figura 14. pHmetro tipo lapicero marca Pancellent.	61
Figura 15. Distribución de las parcelas de <i>Lactuca sativa</i>	62
Figura 16. Croquis de una parcela experimental de <i>Lactuca sativa</i>	63
Figura 17. Variación de la temperatura en las pilas de compost.	76
Figura 18. Comportamiento de la humedad en el proceso de compostaje	78
Figura 19. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje.....	79
Figura 20. Producción del compost por tratamientos.	82
Figura 21. Porcentaje de prendimiento en <i>Lactuca sativa</i>	87
Figura 22. Biomasa fresca de la lechuga.	90
Figura 23. Box Plot de la biomasa fresca de la lechuga sin datos atípicos.	90
Figura 24. Biomasa fresca de la hoja.....	92
Figura 25. Box Plot de la biomasa fresca de la hoja.....	92
Figura 26. Biomasa seca de las hojas.	93
Figura 27. Box Plot de biomasa seca de la hoja	94
Figura 28. Biomasa Seca de la lechuga sin raíz	95
Figura 29. Biomasa Seca de lechuga sin raíz.	96
Figura 30. Altura de la lechuga.	97
Figura 31. Altura de la lechuga..	98
Figura 32. combinaciones múltiples de Tukey.....	102

Figura 33. Biomasa fresca del tallo.	104
Figura 34. Box Plot de Biomasa fresca del tallo.	104
Figura 35. Biomasa seca del tallo.	105
Figura 36. Box Plot de la Biomasa seca del tallo.	106
Figura 37. Numero de hojas.	107
Figura 38. Box Plot del Número de hojas.	108
Figura 39. Test de Comparación Múltiple Pairwise	111
Figura 40. Biomasa fresca y seca de Lactuca sativa.....	113

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1. Formación de las pilas de compostaje.	55
Foto N° 2. Muestra de lixiviados de compost antes de ser analizados en laboratorio ...	58
Foto N° 3. Uso de los lixiviados en las pilas experimentales de compost.	60
Foto N° 4. Cosecha de los abonos orgánicos tratados con lixiviados.	61
Foto N° 5. Método del zigzag para la toma de muestrea de suelo.	66
Foto N° 6. Preparación de la cama almaciguera.....	67
Foto N° 7. Siembra y riego del almacigo.	67
Foto N° 8. Preparación del terreno y armado de las parcelas.....	68
Foto N° 9. Aplicación del compost a las parcelas experimentales.....	69
Foto N° 10. Surcado y trasplante de las plántulas	69
Foto N° 11. Riego de los cultivos experimentales.	70
Foto N° 12. Medición de la altura de la lechuga.	72
Foto N° 13. Número de hojas de la lechuga.	72
Foto N° 14. Biomasa de la materia fresca sin raíz.....	73
Foto N° 15. Pesado de la materia seca sin raíz.....	73
Foto N° 16. Extendido del plástico.....	127
Foto N° 17. Traslado de la materia orgánica.	127
Foto N° 18. Herramientas para el armado de las pilas.	128
Foto N° 19. Pesado del material orgánico	128
Foto N° 20. Armado de las pilas	129
Foto N° 21. Recolección de los lixiviados.	129
Foto N° 22. Instrumentos para medir temperatura, humedad y pH en el proceso de compostaje.....	130
Foto N° 23. Medición de la humedad y temperatura.....	130
Foto N° 24. Medición de la temperatura en las pilas.....	131
Foto N° 25. Medición del pH de las pilas de compost.	131
Foto N° 26. Recolección y almacenado de los lixiviados.	132
Foto N° 27. Progreso del compostaje.	132
Foto N° 28. Muestras de lixiviados para analizar en laboratorio.	133
Foto N° 29. Alimentación de las pilas de compost con lixiviados.....	133
Foto N° 30. Preparación de la cama almaciguera.....	134
Foto N° 31. Siembra de la semilla y cubierta.	134

Foto N° 32. Germinación de la semilla.	135
Foto N° 33. Crecimiento de las plántulas	135
Foto N° 34. Preparación del terreno	136
Foto N° 35. Cosecha del compost.	136
Foto N° 36. Marcado de las parcelas experimentales.....	137
Foto N° 37. Abonado de las parcelas.	137
Foto N° 38. Trasplante de las plántulas de lechuga.....	138
Foto N° 39. Riego de las parcelas experimentales.	138
Foto N° 40. Observación de las parcelas experimentales.....	139
Foto N° 41. Cosecha de las lechugas.....	139
Foto N° 42. Traslado de las muestras.	140
Foto N° 43. Pesado de lechuga.....	140
Foto N° 44. Pesado del tallo.	141
Foto N° 45. Empacado y secado en el horno.....	141
Foto N° 46. Biomasa seca de la lechuga	142
Foto N° 47. Biomasa seca de la hoja.	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros a tomar en el proceso de compostaje.....	19
Tabla 2. Concentración de nutrientes en los lixiviados de compost.....	26
Tabla 3. Características de un suelo recomendado.....	36
Tabla 4. Datos de la Estación Meteorológica Granja K´ayra – UNSAAC (2005 – 2015)	46
Tabla 5. Características del campo experimental de compostaje	54
Tabla 6. Cuadro de registro de recolección de lixiviados de compost	57
Tabla 7. Muestras de lixiviados para ser analizadas.....	58
Tabla 8. Aplicación de lixiviados en las pilas de compost.....	59
Tabla 9. Tratamiento de compost con el uso de diferentes concentraciones de lixiviados producidos.	59
Tabla 10. Detalle del diseño empleado en el cultivo de lechuga.....	64
Tabla 11. Detalle de los tratamientos empleados en las parcelas de lechuga.....	64
Tabla 12. Cantidad de abono utilizado por tratamiento de cultivos de lechuga.....	65
Tabla 13. Tratamientos utilizados en las parcelas de lechugas.	68
Tabla 14. Control de arvenses en el cultivo de <i>Lactuca sativa</i>	71
Tabla 15. Productividad del compost	81
Tabla 16. Resultados físicos y químicos del suelo	82
Tabla 17. Concentración porcentual de N, P, K de los lixiviados.....	83
Tabla 18. Análisis Físico químico de los diferentes tratamientos de compost.....	84
Tabla 19. Absorción de nutrientes para <i>Lactuca sativa</i>	86
Tabla 20. Porcentaje de prendimiento en <i>Lactuca sativa</i>	87
Tabla 21. Características de la biomasa fresca y seca de la lechuga.	88
Tabla 22. Prueba de normalidad y homogeneidad	88
Tabla 23. Análisis de varianza Paramétrico – ANOVA.....	89
Tabla 24. Cuartiles de la biomasa fresca de la lechuga.	90
Tabla 25. Cuartiles de la biomasa fresca de la hoja.....	92
Tabla 26. Cuartiles de la biomasa seco de la hoja.	94
Tabla 27. Cuartiles de la biomasa seca de la lechuga.....	96
Tabla 28. Cuartiles de la altura de la lechuga.....	98
Tabla 29. Análisis comparativo de Tukey para biomasa fresca total	99
Tabla 30. Análisis comparativo de Tukey para Biomasa fresca de la hoja.	100

Tabla 31. Análisis comparativo de Tukey para biomasa seca de la hoja.	100
Tabla 32. Análisis comparativo de Tukey para Biomasa seca de la lechuga.	101
Tabla 33. Análisis comparativo de Tukey para la altura de la lechuga.	101
Tabla 34. Resultados del test de Kruskal.....	103
Tabla 35. Cuartiles de la biomasa fresca del tallo.	104
Tabla 36. Cuartiles de la biomasa seca del tallo.....	106
Tabla 37. Cuartiles del número de hojas de la lechuga.	108
Tabla 38. Comparación Múltiple de Pairwise de la biomasa fresca del tallo.....	109
Tabla 39. Comparación Múltiple Pairwise Test. De la biomasa seca del tallo.	109
Tabla 40. Comparación Múltiple Pairwise del número de hojas.....	110
Tabla 41. Biomasa fresca y seca de <i>Lactuca sativa</i>	113
Tabla 42. Registro de parámetros físicos y químicos de las pilas.	143
Tabla 43. Biomasa fresca y seca de <i>Lactuca sativa</i> , por tratamientos y bloques.	147

RESUMEN

La presente investigación se realizó entre los meses de Junio de 2018 a Enero de 2019 con el objetivo de evaluar la producción y concentraciones porcentuales de N, P, K del compost con el uso de diferentes concentraciones de lixiviados (25%, 50% y 100%) y su efecto en el rendimiento de *Lactuca sativa*. Se aplicó la metodología del compostaje propuesto por la FAO (2013), para el tratamiento de los residuos orgánicos y el uso de lixiviados a diferentes concentraciones con cuatro (4) tratamientos, Compost con lixiviado al 25% (C1), Compost con lixiviado al 50% (C2), Compost con lixiviado al 100% (C3) y Compost testigo (C4) y tres repeticiones haciendo un total de doce (12) unidades experimentales, para la obtención de la producción y concentración porcentual de Nitrógeno, Fosforo y Potasio del compost. En cuanto al rendimiento de *Lactuca sativa* se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) adaptado al estudio, con un total de cinco (5) tratamientos, Parcelas con C1 (T1), Parcelas con C2 (T2), parcelas con C3 (T3), Parcelas con C4 (T4), Parcelas testigo (T5) y tres repeticiones que dan un total de quince (15) unidades experimentales en un área de 54m², Los resultados obtenidos fueron procesados en el paquete estadístico de ANOVA, Tukey, Kruskal, Parwise, y el programa estadístico R y Past. La producción de compost en C3 fue de 44.5kg, C2 con 39.7kg, C1 con 37.5kg y C4 con 37kg, mientras que las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio fue mayor en C3 con N=1.92%, P₂O₅ =2.16 % y K₂O =0.7, por otro lado el rendimiento de *Lactuca sativa L* variedad *Waldmans green* para la biomasa fresca fue mayor para el tratamiento T3 con una mediana de 362gr y la biomasa seca de T3 con una mediana de 13gr. El proceso de compostaje muestra una mayor producción y concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el tratamiento C3, así mismo el rendimiento fue mayor en el tratamiento T3.

INTRODUCCION

Debido al crecimiento demográfico, se ha elevado los problemas ambientales y uno de ellos y el más preocupante es la generación de residuos sólidos y al mismo tiempo la declinación de la calidad de vida de la población, a lo que se suma la mala disposición de estos residuos orgánicos, generando un impacto negativo en el medio ambiente.

El tratamiento de los residuos orgánicos mediante el proceso de compostaje permite obtener abono orgánico (compost) ya que estos son beneficiosos para la recuperación de suelos, controla la erosión, mejora la estructura del suelo y actúa como esponja que retiene agua. (APROLAB, 2007).

El inadecuado manejo de los lixiviados que son generados durante el proceso de compostaje puede ser motivo de preocupación ambiental ya que este líquido contamina los recursos agua, aire y suelo, pero un manejo adecuado de estos lixiviados permite aprovecharlos como biol (abono líquido) para el fortalecimiento foliar y mejorar las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio del compost, así mismo mejora el rendimiento en hortalizas de tallo corto como la lechuga (*Lactuca sativa*).

La falta de interés y el conocimiento verdadero de los nutrientes contenidos en los lixiviados provenientes de los residuos orgánicos permite una mala disposición de estos contaminando así los recursos de suelo, aire y agua el cual es motivo del presente trabajo de investigación realizar un manejo adecuado de estos aprovechando así los nutrientes que contienen para mejorar la calidad de compost como así también la producción de hortalizas de tallo corto.

PROBLEMA

En la actualidad la Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos del distrito de San Jerónimo no cuenta con un manejo adecuado de los lixiviados generados durante el proceso de compostaje, por lo que estas son vertidas a los terrenos donde se encuentra la planta, contaminando así el suelo debido a su contenido de pH ácido, perjudicando su fertilidad, contaminando el agua por la presencia de microorganismos patógenos que perjudica la salud del hombre y el aire debido a la sublimación de estos que liberan gases como el metano, CO₂, amoníaco, ácido sulfídrico y azufre, por lo que se requiere de otros métodos para el tratamiento y uso adecuado de estos lixiviados.

El uso excesivo de fertilizantes químicos en los suelos, ocasionan pérdidas de fertilidad y limitación en el cultivo y producción de hortalizas de tallo corto, por las que se requiere grandes cantidades de Nitrógeno, Fosforo y Potasio para su producción, haciendo que los agricultores recurran al uso excesivo de fertilizantes como la urea, el fosfato diamónico, para mejorar el rendimiento de hortalizas de tallo corto, como consecuencia se produce la contaminación del suelo y la planta por elementos tóxicos que son perjudiciales para la salud humana.

El problema identificado permite plantear las siguientes interrogantes, con la finalidad de aportar una solución y dar una alternativa a la agricultura saludable.

Problema general

¿Cuánto será la producción y concentración porcentual de N, P, K del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviados (25%, 50% y 100%).

Problemas específicos

- ¿Cuánto será la producción de compost con la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviados (25%, 50%, 100%) procedentes de residuos orgánicos?
- ¿Cuánto será la concentración porcentual del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en los diferentes tratamientos de compost con la aplicación de lixiviados?
- ¿Cuánto será el rendimiento de *Lactuca sativa L* variedad *Waldmans green* con diferentes tratamientos de compost?

JUSTIFICACION

El inadecuado manejo de los lixiviados de la planta de compostaje del distrito de San Jerónimo, trae problemas ambientales ya que tienen un alto poder contaminante, comprometiendo los recursos suelo, agua y aire el-Fadel et al (1996), debido a este mal manejo se da un acelerado empobrecimiento del suelo orientados a la producción de hortalizas, así mismo por el uso indebido de agroquímicos que provocan la salinización de suelos, generando la baja producción de alimentos saludables.

El desarrollo del presente trabajo permitirá a las autoridades involucradas a contar con una herramienta técnica, y en la toma de decisiones respecto al adecuado proceso de compostaje y la aplicación adecuada de los lixiviados para mejorar la producción y las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio del compost, reduciendo y/o evitando la contaminación de los recursos suelo, agua y aire del distrito de San Jerónimo, la aplicación de lixiviados mejora la calidad del compost permitiendo un mayor rendimiento en cultivos tradicionales como hortalizas, maíz, papa, haba, forestales y entre otros.

OBJETIVO

a) GENERAL

Evaluar la producción de compost con la aplicación de lixiviados y efecto en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa L* variedad *Waldmans green*.

b) ESPECIFICOS

1. Evaluar la producción de compost con la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviados (25%, 50%, 100%).
2. Analizar las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio de los diferentes tratamientos de compost.
3. Determinar el rendimiento de *Lactuca sativa L* variedad *Waldmans green* con la aplicación de diferentes tratamientos de compost.

HIPÓTESIS

a) Hipótesis General

La aplicación de lixiviados (25%, 50% y 100%) en el compost obtenido a partir de residuos orgánicos mejoran la producción y concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio del compost.

b) Hipótesis Específicas

1. Diferentes concentraciones de lixiviados (25%, 50% y 100%) influyen directamente en la producción del compost.
2. Las aplicaciones de diferentes concentraciones de lixiviados influyen directamente en los porcentajes de Nitrógeno, Fosforo y Potasio del compost.
3. Diferentes tratamientos de compost a partir de residuos orgánicos influyen en el rendimiento de *Lactuca sativa* variedad *Waldmans green*.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Hernández R. (1996). En su investigación “Efecto de la Recirculación de Lixiviados en Sistemas de Composteo” concluye que la velocidad de degradación es mayor en una muestra a la cual se recirculan los lixiviados que una a la cual no se realice dicha recirculación. Esto confirma la hipótesis establecida al inicio de la investigación.

La velocidad de degradación es mayor al recircular un volumen determinado con un 100 % de lixiviados comparado con una recirculación de 0% de éstos, sin embargo, la velocidad es aún mayor cuando el volumen recirculado contiene un 50 % de lixiviados, por lo tanto, no necesariamente, a una mayor concentración en los lixiviados se obtiene una mayor velocidad de degradación. Deberá existir una concentración óptima a la cual el incremento en la velocidad es el máximo.

También menciona que la recirculación de lixiviados no altera el patrón de comportamiento normal para la temperatura y el pH

Mamani E. (2006) En su estudio “Efecto de la Aplicación de Abonos en el Cultivo de Lechuga Suiza (*Valerianella locusta*) en Walipinis de la Localidad de Ventilla” concluye que la incorporación de abonos orgánicos específicamente el estiércol 50% de ovino y 50% de bovino, ejerce una influencia en el rendimiento de producto comercial. Frente al resto de los abonos como el compost y humus de lombriz californiana, que mostraron rendimientos bajos.

Así mismo los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio se presentaron en función a las cantidades aplicadas siendo el estiércol con altos porcentajes de N-P-K, seguido por el compost que al final de la cosecha fueron absorbidos por el cultivo.

Rojas P. & Zeledón V. (2007). En su investigación “Efecto de Diferentes Residuos de Origen Vegetal y Animal en Algunas Características Física, Química y Biológica del Compost Hacienda las Mercedes, Managua” determino que las mezclas tienen bajo contenido de nitrógeno, están por debajo del 2%, rango comercialmente aceptable y gran contenido de carbono; los resultados obtenidos en fósforo están entre el rango óptimo de 0.15 y 1.5 %. Todos los tratamientos aportan micro elementos tales como Fe, Cu, Mn, y Zn los cuales son de gran importancia para el desarrollo normal de los cultivos.

También menciona que todos los tratamientos tienen una relación carbono/nitrógeno alta, las que varían entre 79:1 a 60:1

Losada J. (2009) En su trabajo “Caracterización de los Lixiviados Generados en el Proceso de Compostaje Provenientes de Residuos Orgánicos de Plaza de Mercado y su uso como Complemento Nutricional Para Cultivos Hidropónicos” determina que el proceso de compostaje con mayor generación de lixiviado fue el compostaje de verduras con un valor de 12L de un volumen de residuos orgánicos de 86.21L y se generó menor cantidad de lixiviado en el compost de almidones con un valor de 8.9L de un volumen de residuos sólidos de 86,21 L. asimismo la medida de pH tomada en los lixiviados que se generaron muestra una tendencia a mantener un pH básico durante todo el proceso con un valor promedio de 8,14.

Así mismo en los resultados de laboratorio se encontró que el lixiviado generado en el compostaje de almidones tiene mayor contenido de macro-nutrientes (N, P, K) con respecto a las concentraciones de la solución comercial (NUTRIPONIC) de 68.18 % de N, 131.46 % de P y 42.14 % de K y cuyas concentraciones promedio fueron 150 ppm, 58.5 ppm y 88.5 ppm respectivamente. Mientras que el lixiviado del compost de verduras contiene los menores porcentajes de efectividad con respecto a las concentraciones de la

solución comercial (NUTRIPONIC) con valores de 11.36 % de N, 4.94% de P y 9.24 % de K.

Guato C. (2015) En su investigación “Evaluación del Efecto del Compost Generado en la Empresa Publica Mancomunada de Aseo Integral Patatepelileo “Emmait-Ep” en La Producción Limpia, en el Rendimiento de dos Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa*)” concluye que al realizar las aplicaciones de compost en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), determinó que la dosis de compost más adecuada para mejorar el rendimiento fue la dosis D1 (17,00 kg/m² de compost); la misma que produce el peso de 1,14 kg a diferencia de la dosis D3 (25,44 kg/ m² de compost) que a pesar de ser la dosis más alta de compost, produjo el menor peso del repollo con promedio de 0,99 kg.

Imbaquingo V. (2013) En su estudio “Análisis Productivo y Económico del Cultivo de Lechuga (*Lactuca Sativa*) Mediante la Aplicación de Tres Niveles de Compost, en la Parroquia San Pablo, Provincia Imbabura” concluye que la lechuga en los diferentes tratamientos experimentados ha obtenido alturas adecuadas desde la germinación hasta su madurez, esto se debe al gran aporte del abono orgánico compost en los tratamiento que fue aplicado, pero en el que no fue aplicado tuvo un gran retraso ante los demás tratamientos.

Así mismo menciona que la lechuga ha obtenido el peso de acuerdo al nivel de compost aplicado, así como se puede decir que mayor concentración de compost ayuda a la producción de lechuga proporcionando grandes volúmenes de peso a la planta.

También menciona que el T4 cuya dosis era de 20th/ha tuvo un mayor tamaño y producción de (568.8kg) frente a los demás, pero en el que no fue aplicado compost tuvo un gran retraso ante los demás y en cuanto a los pesos se puede decir que a mayor concentración de compost mayor producción de lechuga.

Antecedentes Nacionales

Mendoza M. (2012) en su trabajo “Propuesta de Compostaje de los Residuos Vegetales Generados en la Universidad de Piura, determina que el tratamiento 2 (pila 3) fue el que registró mayor porcentaje de ramillas degradadas (36,7%) durante los dos meses que duró el proceso de compostaje. Comparando este porcentaje de degradación con el obtenido en el tratamiento 0 (pila 1), el cual fue de 22,19% de ramillas degradadas, se observa la efectividad de la dosis de microorganismos eficaces aplicada en el tratamiento 2, asimismo, el tratamiento 2 registró el valor de pH más cercano al neutro (7,39). En cuanto a la relación carbono/nitrógeno muestra 24,9 y 27,8 ayudando a establecer la culminación del proceso. También menciona si la relación es muy baja, nos indica que la composta se ha mineralizado excesivamente, y si es muy alta, puede indicar que no se ha descompuesto suficientemente.

Gonzales R. (2013) En su trabajo “Influencia de Musgo Descompuesto *Sphagnum* y tres abonos orgánicos en el Cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) En Condiciones de Acobamba” indica los promedios hojas/planta en los tratamientos T4, T3, T5, T2 y T1 una diferencia altamente significativa en forma descendiente con promedios de 16.58; 16.05; 15,47; 14,93 y 9,28 respectivamente a los 60 días después del trasplante.

También menciona que el suelo luego del período vegetativo del cultivo seguirá conservando sus características físicas, químicas y biológicas debido al uso de los abonos orgánicos.

Rafael A. (2015) En su investigación “Proceso de Producción y Aplicación del Producto Microorganismos Eficaces en la Calidad de Compost a Partir de la Mezcla de tres Tipos de Residuos Orgánicos, Sapallanga – Huancayo” determina que el proceso de producción y aplicación del producto “Microorganismos Eficaces” influye en la calidad del compost aumentándola con un proceso mecanizado y una dosificación máxima (10%

de EM). De la evaluación con las normativas se obtuvo que el 1° y 2° lugar fueron para el compost de proceso mecanizado con máxima y mínima dosificación respectivamente siendo ambos de calidad “A” u optima, apto para el uso agrícola. De igual manera el penúltimo y último lugar fue para los compost con proceso mecanizado sin dosificación (0% de EM) y el de proceso tradicional sin dosificación (0% de EM) resultando de Calidad “B” y con aptitudes para parques y jardines.

Ortiz & Gonzales (2015) en su estudio “tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del mercado central virgen de Fátima Huaraz- Ancash, optimizando el proceso de compostaje” concluye que la producción de compost con un inóculo es más eficiente que el convencional y EM, tanto en los factores de tiempo: G-1 (42 días), C-EM (48 días) y C-C (54 días); calidad nutricional: inóculo (MO 40%, N 1,85%, P₂O₅ 1,94%, K₂O 0,80%); EM (MO 38%, N 1,6%, P₂O₅ 1,6%, K₂O 0,7%); convencional (MO 36,50%, N 1,70%, P₂O₅ 1,70%, K₂O 0,60%).

Robles M. (2015) en su trabajo “Evaluación de Parámetros de Temperatura, pH y Humedad para el Proceso de Compostaje en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado” determina que obtuvo 0.3 Kg de compost ensacado por cada kilogramo de residuo sólido orgánico utilizado en la ruma inicial, generando 25.7 Kg de Residuos que no se llegaron a descomponer del total, en 43 días. También menciona que al finalizar el proceso de compostaje el pH alcanzado a los 43 días fue de 7.4. Los rangos de temperatura fueron de 28.4°C a 30.6°C (Etapa de latencia), 30.6°C a 42.2°C (Etapa mesotérmica I), 42.2°C a 75.3°C (Etapa termogénica) y por ultimo descendió hasta alcanzar los 41.1 °C (Etapa mesotérmica II). La humedad relativa no fue estable, pero esta se mantuvo en un rango de 70% y 80%.

Antecedentes Locales

Cardeña N. (2012) En su trabajo “Efecto de tres Tipos de Biol y Dos densidades de Siembra en el Cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa L.* var. Great Lakes) En Condiciones del Centro Agronómico - Kayra” llego a las siguientes conclusiones:

Sobre los efectos de los tratamientos en el rendimiento foliar de materia fresca y seca de la lechuga, fue superior para peso de materia fresca sin raíz la combinación distancia/planta 0.30m x Biol 03 con 1.17 Kg, la Distancia/planta 0.30m con 0.88 Kg y el Biol 03 con 1.05 Kg.; para peso de materia fresca con raíz la combinación Distancia/planta 0.30m x Biol 03 con 1.22 Kg, la Distancia/planta 0.30m con 0.91 Kg y el Biol 03 con 1.09 Kg.; para peso de materia seca con raíz la combinación distancia/planta 0.30m x Biol 03 con 0.44 Kg, la Distancia/planta 0.30m con 0.33 Kg y el Biol 03 con 0.40 Kg Observándose la superioridad estadística de la Distancia/planta de 0.30m y el Biol 03 (33% de estiércol de vacuno+33% de biol reciclado+33% de agua) frente al resto de las variables en estudio.

Cumpa E. (2016) En su investigación “Respuesta del Cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) Al uso de Abonos Orgánicos en el Sector la Balsa, Santa Ana – La Convención – Cusco” indica que se utilizó 200 kilos/ha de cada abono en la cual se aplicó en una sola oportunidad, obteniéndose como resultado en número de hojas con el compost 14,73t/ha y una altura de 5,27 cm donde afirma que estos abonos orgánicos si influyen sobre el número de hojas en la planta de lechuga.

También menciona que el tratamiento T1 (guano de isla) presento la mayor altura de planta, seguido por el tratamiento T2 (humus de lombriz), así mismo se evaluó el número de hojas por planta, determinándose que el tratamiento T1 registro el mayor número y por consiguiente dicho tratamiento también registro el mayor rendimiento de plantas de lechuga de 19.94 t/ha, seguido por el tratamiento T2 (humus de lombriz) con 17.62 t/ha.

1.2.Base teórica

1.2.1. Los Residuos solidos

Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia, disposición final, esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales (MINAM, 2000).

En su acepción más sencilla y en general los residuos son partes que quedan de un todo, de un cuerpo, luego que han sufrido un proceso de transformación natural o artificial que puede modificar o no sus características físico-químicas y estructurales iniciales. En términos estrictamente físicos, los residuos son consecuencia de la transformación de la materia y la energía (OPS, 1999).

1.2.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos

Para los efectos de esta Ley y sus reglamentos, los residuos sólidos se clasifican según su origen en:

1. Residuo domiciliario
2. Residuo comercial
3. Residuo de limpieza de espacios públicos
4. Residuo de establecimiento de atención de salud
5. Residuo industrial
6. Residuo de las actividades de construcción
7. Residuo agropecuario

8. Residuo de instalaciones o actividades especiales

Al establecer normas reglamentarias y disposiciones técnicas específicas relativas a los residuos sólidos se podrán establecer subclasificaciones en función de su peligrosidad o de sus características específicas, como su naturaleza orgánica o inorgánica, física, química, o su potencial reaprovechamiento (MINAM, 2000).

a) Residuos Orgánicos

Son todos aquellos provenientes de origen biológico, vegetal o animal, que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de tratamiento y disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden reaprovecharse como mejoradores de suelo y fertilizantes (compost, humus, abono, entre otros) (OPS, 1999).

1.2.1.2. Valorización de los residuos sólidos.

Formas de valorización

Constituyen operaciones de valorización material: la reutilización, reciclado, compostaje, recuperación de aceites, bio-conversión, entre otras alternativas que, a través de procesos de transformación física, química, u otros, demuestren su viabilidad técnica, económica y ambiental (MINAM, 2017).

Constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros.

Valorización de los residuos orgánicos municipales

Las municipalidades deben valorizar, prioritariamente, los residuos orgánicos provenientes del mantenimiento de áreas verdes y mercados municipales, así como, de ser factible, los residuos orgánicos de origen domiciliario.

Los programas de parques y jardines de las municipalidades son beneficiarios prioritarios del compost, humus o biochar producido con los residuos orgánicos que se generan a partir del servicio de limpieza pública. En caso de excedentes estos podrán ser destinados a donación en general o intercambio con otras municipalidades (MINAM, 2017).

1.2.2. Los Abonos Orgánicos.

1.1.2.1. Descripción de los abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos son materiales de origen natural vegetal o animal, en contraposición a los fertilizantes de industrias de síntesis. La calidad de los abonos orgánicos depende de sus materias primas y de su proceso de preparación.

Borrero (2008) Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol, purín); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); **compost** preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados.

1.1.2.2. Ventajas de los abonos orgánicos.

APROLAB (2007) El compost presenta las siguientes ventajas:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.

- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

1.1.3. Compost.

Álvarez (2006) “La producción del compost se vienen realizando desde tiempos inmemorables ya que la naturaleza produce humus esporádicamente. Así, los agricultores de diferentes culturas desde la antigüedad han emulado esta forma de producir humus por parte del medio natural descomponiendo restos orgánicos”

NCh2880, Chile (2013) El compostaje, composta o mantillo es “Producto inocuo y libre de efectos fitotóxicos que resulta del proceso de compostaje. Esta constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras.

Puede ser almacenado, sin alteraciones ni tratamientos posteriores, bajo condiciones adecuadas ambientales”

Córdova (2006). El compostaje es un proceso que supone una serie de transformaciones de los residuos orgánicos, mejorando las propiedades físicas y químicas del material original, aumenta la fertilidad potencial y simultáneamente la cantidad de humus estable.

1.1.3.1. Compostaje.

El compostaje se define como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (FAO, 2013)

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (FAO, 2013).

Álvarez (2006) El compostaje se define como una “descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termófilas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio”.

1.1.3.2. Fases del Proceso De Compostaje

FAO (2013) el proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura:

1. **Fase Mesófila I:** En esta parte del proceso la temperatura de la pila de compostaje sube rápidamente desde la temperatura ambiente hasta los 40°C; los microorganismos meso filios se alimentan de proteínas y azúcares que son consumidos rápidamente; predominan las bacterias; el pH baja debido a la producción de ácidos orgánicos, alrededor de 5.0 a 5.5.
2. **Fase Termófila o de higienización:** Esta etapa se caracteriza por la presencia de altas temperaturas, por encima de los 40° C. Los microorganismos termotolerantes continúan la transformación del material orgánico. Predominan los hongos termófilos y Actinomyces. Por encima de los 65° C, las bacterias que forman esporas preponderan y los hongos mueren. En esta fase, la celulosa y la hemicelulosa son transformadas. El pH de la pila sube a causa del consumo de los ácidos orgánicos por parte de los microorganismos y por la transformación del nitrógeno en amoníaco,

estando entre 8 y 9, mientras se da la producción de iones, como los de potasio, magnesio y calcio.

3. **Fase de mesofila II:** En esta etapa se dá un descenso paulatino de la temperatura a 40°C y los microorganismos mesófilos se reactivan. Las bacterias y los hongos transforman otra parte de la celulosa, como la lignina y la lignoproteína y la presencia de microorganismos e invertebrados. El pH vuelve a descender.
4. **Fase de maduración:** En esta etapa la temperatura de la pila disminuye Continuamente hasta asemejarse a la del ambiente. Se produce la madurez o el enfriamiento del compost. Hay una disminución de las poblaciones de microorganismos y el pH del compost terminado puede oscilar entre valores de 7 y 8.

1.2.3.3. Parámetros durante el proceso de compostaje

a) Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)

La relación C:N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de Carbono (C) sobre el contenido de Nitrógeno (N) de los materiales a compostar.

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1 (FAO, 2013)

OPS (1999). La relación C/N expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes. Favorecerá un buen crecimiento y reproducción.

Gilbert & Wendell (2008) Una proporción ideal C: N esta alrededor de 25 a 35. Razones más altas inhiben el crecimiento de los microorganismos, ralentizando la descomposición. Razones más bajas aceleran la tasa de descomposición, pero pueden causar pérdida de

nitrógeno en forma de amoníaco y rápido agotamiento del oxígeno disponible lo que conduce a los malos olores típicos de situaciones anaerobias citado por (Soriano, 2016).

Richard (1992) La relación C/N es determinante para la formación de compost, ya que el carbono es fuente de energía y el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento celular de los microorganismos citado por (Santibañez, 2002). Una alta relación C/N retarda el proceso y una muy baja impide la descomposición, por lo que se considera que una relación de 30/1 es favorable para el desarrollo de los microorganismos, citado por (Soto, 2002)

Jaramillo & Zapata (2008) Una relación C/N de 20 a 35 es la adecuada al inicio del proceso, pero si esta relación es muy elevada, se disminuye la actividad biológica porque la materia orgánica a compostar es poco biodegradable por lo que la lentitud del proceso no se deberá a la falta de nitrógeno sino a la cantidad de carbono.

La relación óptima C/N inicial está comprendida entre 25-35. Si es superior a 35, el proceso de fermentación se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Si es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco. Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir, reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno.

b) Estructura y tamaño de los residuos orgánicos

OPS (1999) Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (Ejemplo: Excretas), otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general.

(Jaramillo & Zapata, 2008), el tamaño de partículas no debe ser ni muy fina ni muy gruesa, porque si es muy fina se obtiene un producto apelmazado, lo que impide la entrada de aire al interior de la masa y no se llevara a cabo una fermentación aerobia completa. Si

las partículas son muy grandes, la fermentación aerobia tendrá lugar solamente en la superficie de la masa triturada. Aunque el desmenuzamiento del material facilita el ataque microbiano, no se puede llegar al extremo de limitar la porosidad, es por ello que se recomienda un tamaño de partícula entre 1 y 5 cm.

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm (FAO, 2013).

c) Temperatura del proceso de compostaje

Navarro (2006) Cuando el material se está compostando pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbológica. Al inicio la pila aumenta rápidamente la temperatura por el compostaje de los materiales que se degradan más fácilmente, se mantiene así por un corto tiempo y luego comienza a enfriarse. Al voltear la pila se facilita la entrada de aire, se trae al interior los materiales del exterior, y la pila se vuelve a calentar. Es deseable alcanzar condiciones termófilas (entre 40 y 90°C), ya que se necesitan altas temperaturas para destruir patógenos que pudieran encontrarse en la pila, ya que de lo contrario se podría producir compost infectado e infectar el lugar donde se vaya a disponer, citado por (Soriano, 2016).

FAO (2013) El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente.

Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

Jaramillo & Zapata (2008), Las fases mesófila y termófila del proceso, tienen un intervalo óptimo de temperatura. Se ha observado que las velocidades de crecimiento se duplican aproximadamente con cada subida de 10 °C de temperatura, hasta llegar a la temperatura

óptima. En la Figura 1 se muestra un área de color rojo, es el lugar donde se alcanzan temperaturas más altas, a partir de este nivel se empiezan a eliminar microorganismos patógenos dándose el proceso de higienización ayudados adicionalmente por antibióticos producidos por algunos microorganismos que favorecen su eliminación. Hacia los 70 °C se inhibe la actividad microbiana por lo que es importante la aireación del compost para disminuir la temperatura y evitar la muerte de los microorganismos. Este ciclo se mantiene hasta el agotamiento de nutrientes disminuyendo los microorganismos y la temperatura.

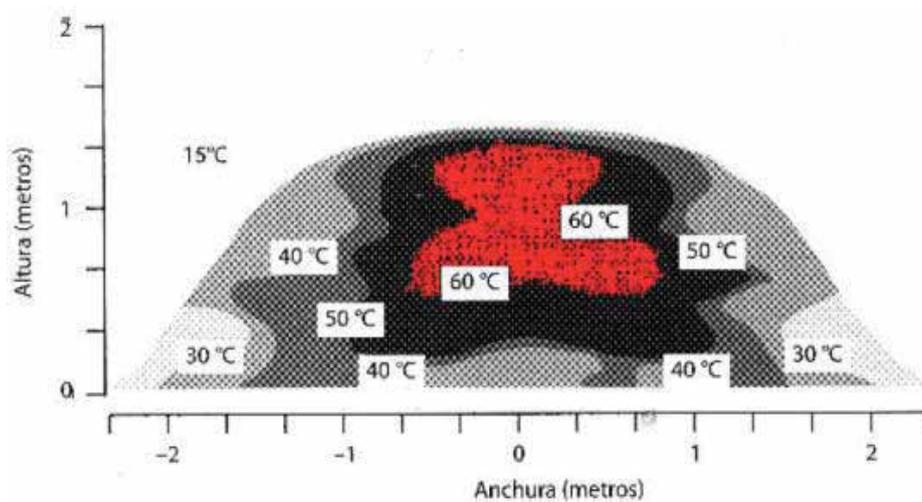


Figura 1. Variación de la temperatura en la pila de compost.

Fuente: Jaramillo y Zapata (2008).

d) Humedad del proceso de compostaje

OPS (1999) El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable tal es el caso de las excretas y estiércoles, donde el contenido en humedad está íntimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50% necesariamente debemos buscar la forma de que el material pierda humedad antes de conformar las pilas o camellones.

Jaramillo & Zapata (2008). En el compostaje es importante evitar la humedad elevada ya que cuando está muy alta, el aire de los espacios entre partículas de residuos se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio. Por otro lado, si la humedad es muy baja disminuye la

actividad de los microorganismos y el proceso se retarda. Se consideran niveles óptimos de humedades entre 40% – 60%, estos dependen de los tipos de material a utilizar.

FAO (2013) La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad se encuentra por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua satura los poros e interfiere en la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

e) pH del proceso de compostaje

Álvarez (2006) El pH en la fase ácido génica, se da una gran producción de CO₂ y liberación de ácidos orgánicos. El descenso de pH favorece el crecimiento de hongos (cuyo crecimiento se da en el intervalo de 5.5 - 8) y el ataque a lignina y celulosa. Durante la fase termófila se pasa a una liberación de amoníaco como consecuencia de la degradación de aminos procedentes de proteínas y bases nitrogenadas y una liberación de bases incluidas en la materia orgánica, resultado de este proceso se da una subida en el pH y retoman su actividad las bacterias a pH 6 – 7.5 (fase de alcalinización). Tras este incremento del pH se da una liberación de nitrógeno por el mecanismo anteriormente citado y que es aprovechado

por los microorganismos para su crecimiento, dando paso a la siguiente fase de maduración. Finalmente se da una fase estacionaria de pH próximo a la neutralidad en la que se estabiliza la materia orgánica y se dan reacciones lentas de policondensación.

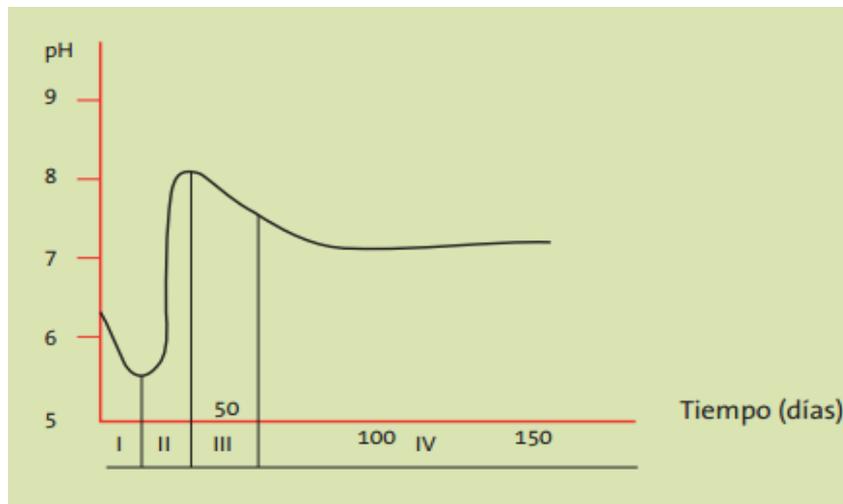


Figura 2. Evolución del pH durante el proceso de maduración.

Fuente: Álvarez (2006).

FAO (2013) El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0 - 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

f) Aireación de proceso de compostaje

FAO (2013) El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte

o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H_2S) o metano (CH_4) en exceso.

La aireación es necesaria para proporcionar oxígeno suficiente a los microorganismos aeróbicos, y así estos puedan estabilizar los residuos orgánicos (Santibañez, 2002).

La aireación se puede lograr por medio de distintos métodos tales como el volteo periódico o la inserción de tubos perforados en las pilas de compost.

Existe otro método más eficiente, basado en la aireación forzada impulsada por una bomba a través de tubos, pero se debe tener cuidado en que la aireación no sea excesiva ya que se pierde calor y se produce un gasto innecesario de energía.

En tanto que un déficit produce un estado anaeróbico que limita la descomposición (Santibañez, 2002).

Tabla 1. Parámetros a tomar en el proceso de compostaje.

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

Fuente: FAO (2013)

1.2.3.4. Sistemas de compostaje

OPS (1999) Existen varios sistemas de compostaje, no obstante el objetivo de todos es además de transformar los residuos orgánicos en compost, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas esporas).

a) Sistema abierto o en pilas.

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1m³ o superior), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje.

En función del manejo de las pilas en planta (espacio, tecnificación, tiempo de retención), existe una amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma, la disposición y el espacio entre ellas (FAO, 2013).

Parvas, camellones o pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. A los sistemas donde se procesa el material mediante la conformación de estas estructuras se le denomina Sistema en Pilas (OPS, 1999).

Tamaño de la pila o volumen en compostaje

En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan (FAO, 2013).

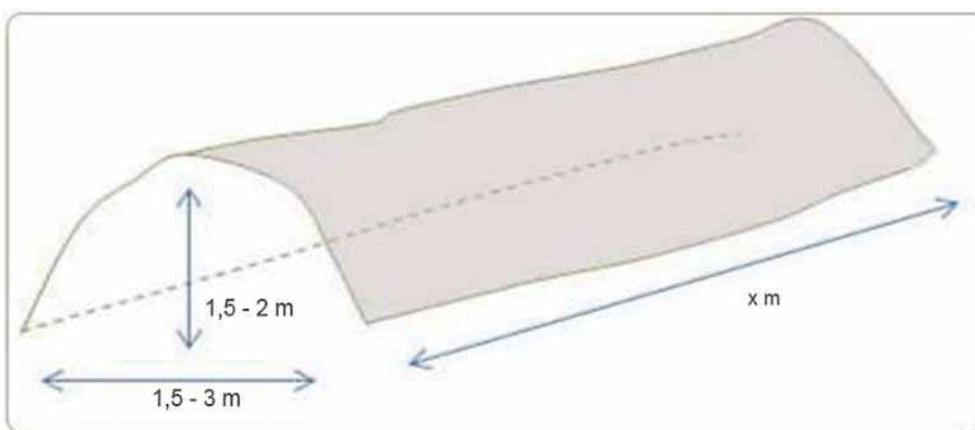


Figura 3. Dimensiones de una pila de compostaje.

Fuente: FAO (2013)

En el momento de estimar las dimensiones de la pila de compostaje, se debe tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO₂ (FAO, 2013).

De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en:

- **Sistemas de pilas móviles.** Pilas dinámicas, es cuando la aireación y homogeneización se realiza por remoción y reconfiguración de las parvas (OPS, 1999).

Volteo Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones

climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (véase punto siguiente, control de temperatura, humedad y pH) (FAO, 2013).

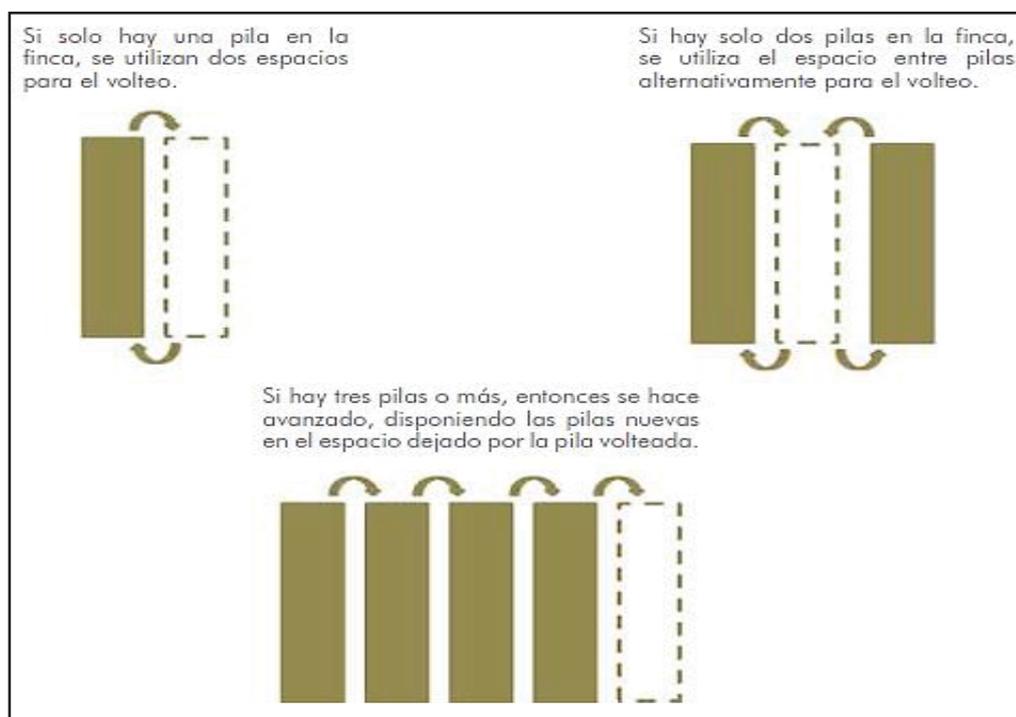


Figura 4. Modalidades de volteo según número de pilas.

Fuente: FAO (2013)

- **Sistema de pilas Estáticas** o pilas estáticas, es cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje (métodos Beltsville y Rutgers), que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas (OPS, 1999).

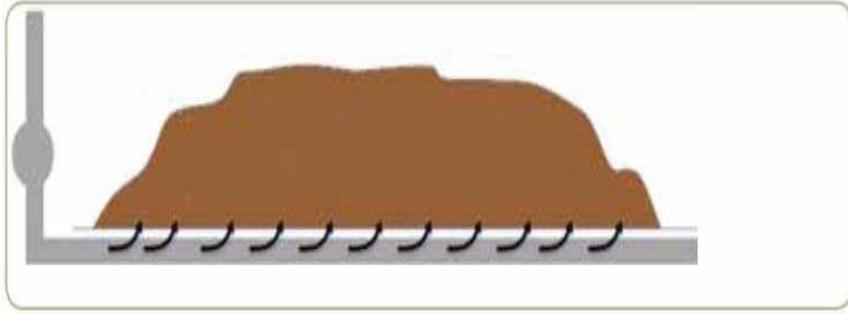


Figura 5. Sistema de aireación forzada.

Fuente: FAO (2013)

- **Técnica de chimenea.**

Chimenea. Durante la formación de la pila es común la colocación de un madero de al menos 20 cm de diámetro y 1,5 metros de altura. Cuando la pila ya se ha formado, este palo se retira y el espacio abierto por el madero actúa como chimenea, mejorando así la circulación del aire en la pila.



Figura 6. Foto y dibujo explicativo de la técnica de chimenea.

Fuente: FAO (2013).

b) Sistemas Cerrados o Reactores

FAO (2013) La técnica del recipiente tiene una serie de características que favorecen su replicación: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones,

aves), y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales de la finca.

Este tipo de sistemas, permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales (OPS, 1999).

La finalidad de esta metodología es acelerar el proceso de transformación, con una tasa de procesado de hasta una semana frente a los sistemas tradicionales (Álvarez, 2006).



Figura 7. Sistema cerrado o reactor.

Fuente: Álvarez (2006).

1.2.4. Lixiviados.

McCarthy & Zachara (1989) El lixiviado de compost es el líquido que sale del compost cuando el agua del riego, la precipitación (lluvia o nieve), o la escorrentía se filtra a través del compost. La naturaleza química y física del lixiviado de compost es de importancia clave a medida que el lixiviado migra hacia el subyacente. Suelos y aguas subterráneas, o Fluye como agua hacia cuerpos de agua superficiales. El lixiviado de compost lleva especies disueltas y materiales en partículas suspendidos en el líquido, como coloides y Partículas más grandes. Se han suspendido materiales orgánicos e inorgánicos en forma de coloides.

Implicado en la movilización de contaminantes orgánicos e iones inorgánicos tóxicos de metales pesado, citado por (Chatterjee, 2013).

Chatterjee (2013). El lixiviado inicial de pilas de compost activo o compost fresco a menudo es amarillento, marrón claro o de color marrón oscuro debido a la materia orgánica disuelta y en partículas

En el proceso de compostaje se generan lixiviados que pueden producir olores ofensivos y afectar cuerpos de agua. Estos contienen concentraciones importantes de nutrientes para el suelo tales como Nitrógeno, Fósforo, Potasio que son elementos esenciales para el desarrollo de las plantas también denominadas macro-nutrientes. Adicionalmente con esto se puede dar un valor agregado a las comunidades con una solución económicamente viable y ambientalmente sostenible (Losada, 2009).

1.2.4.1. Características de los Lixiviados.

El-Fadel et al (1996) Los lixiviados tienen un alto poder contaminante, contienen una serie de características contaminantes principales, es decir, alto contenido de Materia Orgánica, alto contenido de Nitrógeno y Fósforo, presencia abundante de patógenos y sustancias tóxicas, como metales pesados y constituyentes orgánicos. Las características físico-químicas de un lixiviado dependen de una serie de factores, citado por (Reyes, 2015), tales como:

La antigüedad y forma de explotación del vertedero.

La naturaleza y la cantidad de los residuos almacenados.

La climatología del lugar o la época del año considerada.

Su composición es bastante compleja y variable, pudiendo ser sus componentes clasificados en cuatro grandes categorías (Christensen et al, 2001).

1. Materia orgánica disuelta, expresada en forma de parámetros generales como Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Carbono orgánico total (COT).
2. Componentes inorgánicos (Cl⁻, SO₄²⁻, N-NH₃, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺).
3. Metales pesados (Fe, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn).
4. Compuestos xenobióticos, como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs o PAHs, por sus siglas en inglés), Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX, Adsorbable Organic Halogens) y fenoles.

1.2.4.2. El secuestro y movilización de metales pesados (trazas).

La materia orgánica disuelta en el lixiviado de compost puede absorber y movilizar efectivamente metales pesados.

Christensen T. H. (1984) Realizaron un estudio en 17 columnas de lisímetro que contenían compostas de diferentes edades y longitudes de columna, y monitoreado para detectar 7 metales pesados (Cd, Ni, Co, Zn, Cu, Pb y Cr) en el lixiviado durante un período de 30 meses. Se aplicaron precipitaciones simuladas semanalmente, que ascendieron a 680mm/año. Se encontró que el lixiviado inicial excedía en los estándares de concentración para todos los metales para el agua, pero las concentraciones disminuyeron rápidamente dentro de los primeros 6 a 18 meses después de 18 meses (lixiviado de 450 mm) solo se encontró que el Ni supera las concentraciones permitido en los estándares de agua potable.

En el primer año, las cantidades de metales de lixiviados fueron las siguientes (como porcentaje del contenido original): Ni (1.9%), Co (1.3%), Cu (0.7%), Zn (0.4%), Cd (0.21%), Cr (0.1%) y Pb (0.07%). Curiosamente, las cantidades de los metales pesados de lixiviados solo se correlacionaron moderadamente con el origen del compost, la edad del compost o la profundidad de empaque de la columna del lisímetro, citado por (Chatterjee et al, 2013).

1.2.4.3. Nutrientes en Lixiviados de Compost.

Muchas de las especies químicas que se filtran fuera del compost, ya sea en forma disuelta o en partículas, son nutrientes vegetales. La materia orgánica disuelta y particulada en el lixiviado de compost es una fuente importante de C, H, N, O y P (Christensen T. H. 1983). Estudió la lixiviación de nutrientes a partir de compost de 3 y 12 meses hechos de partes iguales de desechos sólidos municipales y aguas residuales lodo. El autor informó que la cantidad contenida era de 100 a 400 mg / L de NH_4^+ (ion amonio) durante los primeros 100 a 300 mm de lixiviado. Las concentraciones de NO_3 (nitrato) fueron de 100 a 700 mg/l en las 200mm iniciales de lixiviado, seguido de una disminución en las concentraciones, y luego por otro aumento en NO_3 concentraciones en las posteriores 300 a 800 mm de lixiviado. Estos resultados indican que los lixiviados de compost pueden contener cargas considerables de nitrógeno (en forma de NH_4^+ o NO_3) (Chatterjee et al, 2013).

Tabla 2. Concentración de nutrientes en los lixiviados de compost.

Nutrient	Fracción acumulada de lixiviados		
	0–100 mm (mg/L)	100–200 mm (mg/L)	> 200 mm (mg/L)
Na	600–2100	50–600	0–400
K	200–1800	100–1200	40–700
Ca	250–1100	100–600	70–400
Mg	60–400	30–270	10–200
Mn	0.1–1.3	0.1–0.6	0–0.5
Fe	0.8–14	2–4	0.5–3.8
Cl	500–2500	40–800	0–500
SO_4^{2-}	180–1400	100–650	0–300
	0–100 mm	>100 mm	
PO_4^{3-}	1.2–17.5 [†]	2.2–32.7 [†]	
BO_3^{3-}	0.7–5.0 [†]	0.7–5.0 [†]	
F^-	0.3–22.7 [†]	1.6–67.7 [†]	

Fuente: Christensen T. H. (1983)

La lixiviación del Fósforo del compost es generalmente menos pronunciada que la de otros iones inorgánicos, Christensen T. H. (1984) Descubrió que la lixiviación del Fósforo era dos órdenes de magnitud menor que la del Sodio, Potasio y Calcio, todos los cuales

estaban presentes en porcentajes iniciales similares (por unidad de peso de materia seca) en el compost. Donde el Fósforo se retuvo mejor con los compost más maduros es decir mayor a tres meses (> 3 meses) en comparación con el compost menos maduro , menor a tres meses (<3 meses), citado por (Chatterjee et al, 2013).

Materia orgánica disuelta y coloidal

Chatterjee et al (2013) El proceso de compostaje convierte parte de la Materia Orgánica original en ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Estos componentes pueden estar presentes en el lixiviado de compost tanto en forma disuelta como en forma de partículas (es decir, coloidal). La estructura química exacta de la materia orgánica coloidal y disuelta difiere según el tipo de materia prima y las condiciones de compostaje y la edad. Los ácidos húmicos y fúlvicos no son moléculas individuales, sino que están formados por conjuntos de moléculas más pequeñas, que se mantienen unidas por enlaces de hidrógeno e interacciones hidrófobas.

1.2.4.4. Tratamientos Conocidos para los Lixiviados.

Todo el líquido contaminante generado en el relleno sanitario debe tratarse antes de ser vertido en un cuerpo de agua, superficial o subterráneo, utilizando procesos de reconocida viabilidad técnica, recirculación de lixiviados, evaporación de lixiviados, tratamiento conjunto con las aguas residuales, tratamiento biológico aeróbico, tratamiento biológico anaeróbico, sistema de membrana (bio-reactor con membrana y osmosis inversa), proceso biológico biomebrana, tratamiento fisicoquímico, etc.

RAS (2000) En el proceso de tratamiento deben tenerse en cuenta explícitamente los siguientes aspectos:

- Toxicidad a microorganismos en caso de usarse procesos biológicos de tratamiento.
- Formación de precipitados en tuberías, canales, válvulas, bombas, tanques, y en general en toda la obra. Debe preverse la operación considerando que se van a formar dichas incrustaciones. Debe considerarse la posibilidad de remover los iones incrustantes.
- Formación de espumas. Se debe prever la forma de operación y el rendimiento para que aun en el caso de que se formen se garantice el cumplimiento de calidad en el efluente.
- Variabilidad de las características del lixiviado en el tiempo. Deben preverse que las características físico-químicas y biológicas del lixiviado cambian extremadamente durante la vida útil de la planta. Se debe prever la flexibilidad de operación y rendimiento para todo el período de diseño y cerramiento del relleno sanitario.
- El proceso debe cumplir con las calidades del agua al verter de tal forma que se garanticen los usos del agua, en el cuerpo receptor, que han sido asignados para éste. Las normas de calidad para el cuerpo receptor de acuerdo a los usos, serán las estipuladas por el Decreto 1594 de 1984 reglamentario de la Ley 9ª en cuanto a usos del agua y vertimiento de residuos líquidos o aquel que lo modifique o sustituya, (Corena L. 2008).

1.2.4.5. Recirculación de los lixiviados.

La recirculación de los lixiviados se ha propuesto desde hace varios años como una alternativa para su tratamiento.

Giraldo (2002) Menciona que la recirculación de lixiviados se conoce su uso como la tecnología del relleno biorreactor, que en la actualidad se está estudiando en detalle en los Estados Unidos con apoyo de la EPA para elucidar varias preguntas que aún persisten sobre el proceso. Se pretende utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. Al recircular los lixiviados se logran un aumento en la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez genera un aumento de la tasa de producción

de gas metano en el relleno. Una vez los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta, y al aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado. De esta manera se logra una reducción significativa tanto de la DBO como de los metales que finalmente son arrastrados por el lixiviado. Usualmente se considera que el nivel de tratamiento alcanzado es el de pretratamiento, siendo necesario algún tipo de tratamiento posterior que dependerá de los requisitos de los permisos de vertimiento en cada caso, citado por (Corena L. 2008).

1.2.5. Generalidades del Cultivo de la Lechuga

1.2.5.1. Origen de la lechuga.

Blancard & Lot H. (2005) Menciona dos fuentes de información. Según la primera, la lechuga apareció bajo diversas formas, correspondiéndose cada una de ellas con una roseta de hojas sobre un tallo corto. La mayor parte se parece a una lechuga representada en pinturas de tumbas egipcias que se remontan hasta alrededor de 2500 años antes de Cristo, en la Cuarta dinastía. Este tipo de lechuga se cultiva aún en nuestros días en Egipto y parece ser la variedad más antigua utilizada para la alimentación humana. La otra fuente nos conduce todavía más cerca de la domesticación de la lechuga, pero es menos clara a medida que nos remontamos en el tiempo. Un tipo de lechuga conocida como lechuga de semillas de aceite se parece intensamente a la lechuga silvestre, pero presenta características de domesticación. De esta forma, la domesticación de la lechuga habría sido realizada en el valle del Nilo o en la región del Tigris y el Éufrates, que se corresponden con las zonas de diversidad máxima de las especies adventicias de *Lactuca* y de formas emparentadas

Clasificación Taxonómica

Según Cronquist (1992) La lechuga presenta la siguiente taxonomía.

Reino: Plantae

Subreino: Embryobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub clase: Asteridae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Lactuca*

Especie: *Lactuca sativa L.*

Descripción Botánica.

Valencia (1995) Indica que la lechuga es una planta herbácea, anual y bianual, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Se reporta que las raíces principales de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 cm, citado por (Cardeña, 2012).

López (1994) Menciona que:

- La raíz no llega nunca a sobrepasar los 30 cm de profundidad, es pivotante corta y con ramificaciones.
- Las hojas de la lechuga son lisas, sin peciolo (sésiles), arrosetadas, ovales, gruesa, enteras y las hojas caulinares son semiamplexicaules, alternas, auriculado-abrasadoras, el extremo puede ser redondo o rizado.
- Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar el tallo es pequeño y no se ramifica sin embargo cuando existen altas temperaturas (mayor de 26°C y días largos el tallo se alarga hasta 1.20 m. de

longitud, ramificándose el extremo y presentado cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia .

- La inflorescencia esta se constituye de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y de color amarillo.
- Las semillas, son largas (4 - 5mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas, cabe mencionar que la semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) para inducir a la germinación.
- El Fruto, de la lechuga es aquenio, seco, y oblongo

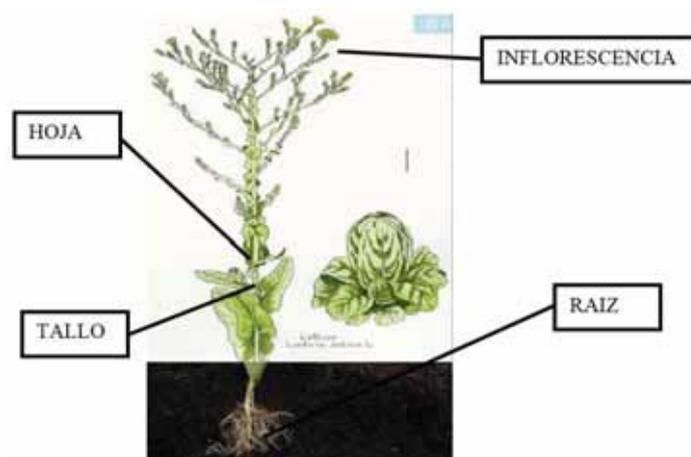


Figura 8. Morfología de la lechuga.

1.2.5.2. Condiciones agroecológicas de la lechuga

a) Temperatura

FAO (2006) Es una hortaliza típica de climas frescos. Los rangos de temperatura donde la planta crece en forma óptima, están entre los 15°C y los 18°C, con temperatura máximas de 21°C a 24°C y mínima de 7°C. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo

floral y la calidad de la lechuga se deteriora rápidamente, debido a la acumulación de látex amargo en su sistema vascular.

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18 y 20°C, en fase de crecimiento el cultivo requiere temperaturas entre 14 y 18°C por el día y 5 a 8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12°C por el día y 3 a 5°C por la noche, como temperatura máxima puede soportar hasta los 30°C y como mínima hasta -6°C. Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir como alguna carencia. Los suelos deben ser ligeros, arenosos-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6.7 y 7.4 (SIAP, 2012).

b) Humedad relativa

Sánchez (2004) El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve.

La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan.

c) Suelo y altitud

El nombre suelo se deriva de la palabra latina SOLUM, que significa piso o superficie de la tierra, campo. La definición del suelo es compleja y sufre diferentes acepciones de acuerdo a la actividad que se le dedique y desde el punto de vista que se pretende.

Sánchez (2004) Refiere que los suelos preferidos por la lechuga son ligeros, arenosos limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6.7 – 7.4. En los suelos humíferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar.

Este cultivo, en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que este seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbre del cuello. Se adapta a 1800 msnm – 2800 msnm.

d) Luminosidad

Valadez (1997) La lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperiodo largo (más de 12 horas luz), acompañado de altas temperaturas (mayores de 26°C), emite el tallo floral; al respecto son más sensibles las lechugas foliares que las de cabeza. En cuanto a la intensidad de la luz, el cultivo es exigente en alta luminosidad para un mejor desarrollo del follaje en volumen, peso y calidad, dado que estas plantas exigen mucha luz y se ha comprobado que su escasez causa que las hojas sean delgadas y que en múltiples ocasiones las cabezas sean flojas y poco compactas. Se recomienda considerar este factor para establecer una densidad de población adecuada y para evitar el sombreado de plantas entre sí. No es conveniente sembrar en épocas de invierno, con alta nubosidad y poca radiación solar, citado por (DURPA, 2016).

1.2.5.3. Variedades.

Giaconi & Escaff (1995) refieren que las variedades de lechuga se pueden agrupar en cuatro tipos bastante definidos: de hojas o de amarra; repolladas o de cabeza, cos o romana y de cortar. Además se pueden clasificar en variedades de verano y de invierno, aunque no son tan definidas como las anteriores debido a cierto grado de adaptación a una estación u otra mostrado por algunas variedades, citado por (Cardeña, 2012).

- **Lechugas repolladas o de cabeza (*Lactuca sativa L. var. capitata*):** Dentro de este tipo se tiene de hojas suaves o lisas (Trocadero, White Boston y española) y de hojas

crespas (Great Lakes, Imperial), también existiendo variedades mejor adaptadas para cada zona y clima particular.

- **Lechugas Cos o romana (*Lactuca sativa L. var. longifolia*):** Dentro de las variedades de verano se encuentran Blanca de Paris y Corsaro. Para variedades de invierno se tienen Roja y verde de invierno.
- **Lechugas de cortar:** Tienen limitada importancia aun a nivel de huerto casero, porque las hojas que se cortan, a semejanza de la acelga y de la espinaca, son de inferior calidad en textura, comparadas con las lechugas de cultivo tradicional.
- **Lechugas de hojas o amarra (*Lactuca sativa L., var. Great Lakes*):** La denominación "de amarra" se presta a confusión, la amarra es eventual y se practica mucho menos en la actualidad. Dentro de las variedades de verano se tiene: Milanesa, Gallega de verano y Crespa Simpson. Dentro de las variedades de invierno están Gallega de invierno, Parker y francesa.

1.2.5.4. Tecnología del Cultivo de la Lechuga

a) Producción de plántulas

Semillero

DURPA (2016) El cultivo de la lechuga se puede realizar por siembra directa o por trasplante. La siembra directa no es recomendable debido a la fuerte competencia de las arvenses y al ataque de enfermedades. La multiplicación de la lechuga se debe hacer siempre con planta en cepellón, obtenida en semilleros. Serrano (1996). La temperatura óptima de germinación está entre 15 y 20 °C; la semilla de lechuga no germina por debajo de 3 a 5 °C en el suelo, ni por encima de 25 a 30 °C. La temperatura óptima de un semillero es 15 °C en el día y 9 °C en la noche.

La multiplicación de la lechuga se hace por medio de plántulas obtenidas en el almácigo bajo condiciones protegidas. Jaramillo & Díaz (2006) Es común que se produzcan los

semilleros en bandejas de diversos tamaños de celdas, en icopor, polietileno laminado o en plástico rígido, con volúmenes de sustrato de 3 a 8 cm³, lo cual depende de la variedad, del tipo de sustrato utilizado y del tamaño final requerido de la planta, citado por (DURPA, 2016).

Cardeña (2012) Una vez transcurridas los 30 - 40 días después de la siembra, la lechuga será plantada cuando tenga 5 a 6 hojas verdaderas y una altura de 8cm, desde el cuello del tallo hasta las puntas de las hojas

b) Preparación del terreno

El sistema radicular de la lechuga no es muy profundo; sin embargo, requiere de una preparación adecuada de suelo para lograr una textura suelta que facilite el trasplante y establecimiento del cultivo. Se da bien en suelos francos arenosos y francos arcillosos con suficiente contenido de materia orgánica, bien drenados, con buena retención de humedad debido a que el sistema radicular de la lechuga no es muy extenso y el 96% de la parte comestible es agua; suelos profundos, con topografía plana o con pendientes inferiores a 30%, (DURPA, 2016).

Pereyra (2004) En primer lugar, se procederá a la nivelación del terreno especialmente en caso de zonas encharcadas, seguidamente se procederá al surcado y por último la acaballadora, citado por (Cardeña, 2012).

Vasquez C. (2015) El suelo debe prepararse convenientemente con una remoción de capas superficiales y la incorporación de enmiendas orgánicas para el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, esto con la finalidad de lograr un desarrollo radicular superficial de buena calidad, seguidamente se realiza el zarcado y por último se forman las camas.

Tabla 3. Características de un suelo recomendado.

PARÁMETROS	VALORES
pH	6.5 -7.5
Relación C/N	10
Materia Orgánica %	2,5 - 3
Nitrógeno %	9
Fosforo %	3.91
Potasio %	15.84
Textura	Franco arenoso

Fuente: Lee & Escobar (2000)

c) **Trasplante**

DURPA (2016) El trasplante es el paso de las plántulas del semillero al sitio definitivo. Las plántulas se llevan a campo cuando hayan adquirido determinado desarrollo. Como norma general se puede tomar el número de hojas, 3 a 4 bien formadas; es decir, cuando la plántula tenga entre ocho y diez centímetros, lo cual generalmente se alcanza 25 a 30 días después de la germinación,

Vallejo & Estrada (2004) Los trasplantes se deben hacer en las primeras horas de la mañana, en suelo húmedo, asegurando que el sistema radicular de las plantas provenientes de las bandejas de propagación tenga buena humedad.

d) **Distancias y densidades de plantación**

La distancia entre plantas es variable y depende de diversos factores: arquitectura de la planta, variedad o híbridos empleados, pendiente del terreno condiciones físicas y de fertilidad del suelo, humedad relativa y luminosidad, entre otros.

Serrano (1996) El marco de plantación depende de la envergadura que alcance la variedad; en el caso de variedades de tamaño pequeño se pueden plantar hasta 18 plantas por metro cuadrado, sembrando en eras o en llano total a distancias de 25 cm por 25 cm o en

caballón a una distancia de 50 cm entre caballones y dos hileras por planta por caballón, separadas 25 cm entre sí, citado por (DURPA, 2016).

1.2.5.5. Manejo del Cultivo

a) Abonamiento

DURPA (2016) Las cifras promedio de extracción de nutrientes para un cultivo de lechuga cuyos rendimientos oscilan en 45 t/ha son: 100 kg de N/ha, 50 kg de fósforo como P_2O_5 , 250 kg de potasio como K_2O , 51 kg de calcio como CaO y 22 kg de magnesio como MgO. Se recomienda aplicar los fertilizantes edáficos en dos dosis, la primera dosis tres días antes del trasplante y la segunda 20 días después

Morales et al (2012) Manifiestan que del 60-65% de todos los nutrientes son absorbidos en el periodo de formación del cogollo de la lechuga y estas se deben suspender al menos 1 semana antes de la recolección. El aporte de estiércol en el cultivo de lechuga se realiza a razón de 3kg/m², citado por (Huallpa, 2017).

Remedí S. (2002) La deficiencia de nitrógeno en la lechuga provoca disminución del crecimiento y vigor de las plantas, hojas de tamaño pequeño, color verde pálido, tallo hueco y coloración oscura en el xilema. El exceso de nitrógeno provoca gran desarrollo vegetativo, aumento del tamaño de hoja, retraso del acogollado, y mayor sensibilidad al ataque de hongos patógenos como los del genero *Botrytis*.

Huallpa (2017) La deficiencia de fosforo en la lechuga provoca un color verde oscuro, el desarrollo se reduce, el tamaño de las hojas disminuye, las hojas más viejas adquieren un aspecto bronceado y en casos extremos las plantas no logran acogollar

b) Riego

El suelo debe regarse abundantemente según la temperatura del ambiente, las semillas tardan entre siete a quince días en germinar a causa de temperaturas más altas se debe realizar riegos más frecuentes.

Lee & Escobar (2000) El cultivo de la lechuga, como la mayoría de las hortalizas, demanda altos consumos de agua. La duración y frecuencia de los riegos depende del estado de crecimiento del cultivo. El suelo se debe llevar hasta capacidad de campo antes o inmediatamente después del trasplante. La capacidad de campo se define como la máxima cantidad de agua que el suelo puede contener sin llegar a inundarse y sin que haya pérdidas de agua hacia el subsuelo citado por (DURPA, 2016).

Fundación Natura (1991) Los mejores sistemas de riego en el cultivo de la lechuga es riego por goteo. Así mismo existen otras maneras de regar, como el riego por gravedad y el riego por aspersión, pero cada vez más en recesión, aunque el riego por surcos permite incrementar el nitrógeno en un 20%. Los riegos se darán de manera frecuente y con poca cantidad de agua, procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial, para evitar podredumbres del cuello y de la vegetación que toma contacto con el suelo. Es recomendable el riego por aspersión en los primeros días post trasplante, para conseguir que las plantas se establezcan bien, citado por (Gonzales, 2013).

c) Deshierbe

Siempre que las arvenses estén presentes será necesario su control, pues este cultivo no admite competencia con ellas. Este control debe realizarse de manera integrada procurando minimizar el impacto ambiental de las operaciones.

Suquilanda (2003). Se debe tener en cuenta en el periodo próximo a la recolección de arvenses, pueden sofocar a la lechuga creando un ambiente propicio al desarrollo de enfermedades que invalida el cultivo, además la virosis se pueden ver favorecidas por la presencia de alguna arvenses.

d) Cosecha de la lechuga.

Las Lechugas no se deben almacenar, se sacan directo del huerto o de los maceteros en el momento que se quieran consumir. La duración del cultivo suele ser de 20 a 65 días dependiendo de la época del año (Huerto Urbano, 2012).

Altieri & Litorians (1997) La madurez está basada en la compactación de la cabeza. Una cabeza compacta es la que requiere de una fuerza manual moderada para ser comprimida, es considerada apta para ser cosechada. Una cabeza muy suelta está inmadura y una muy firme o extremadamente dura es considerada sobre madura. Las cabezas inmaduras y maduras tienen mucho mejor sabor que las sobre maduras y también tienen menos problemas en post cosecha. Lo más frecuente es el empleo de sistemas de recolección mixtos que racionalizan la recolección a través de los cuales solamente se cortan y acarrear las lechugas en campo, para ser confeccionadas posteriormente en almacén citado por (Gonzales, 2013).

1.2.5.6. Principales Plagas y Enfermedades que Afectan al Cultivo

Lee & Escobar (2000) Este manejo se basa en varias facetas que incluyen el control cultural, el mecánico, físico, climático, biológico y químico. La base de un control integrado es el monitoreo. Detectar temprano la presencia de plagas o enfermedades es importante para un control eficiente y eficaz, citado por (DURPA, 2016).

a) Plagas

Las especies de insectos que son económicamente importantes en los cultivos de lechugas pertenecen fundamentalmente a cuatro órdenes (INIA, 2017):

- Hemiptera.
- Lepidoptera.
- Diptera.
- Thysanoptera.

Estos insectos pueden ser importantes y causar daños de diferentes formas. Por ejemplo, de manera indirecta por su capacidad de transmitir virus y otros organismos que causan enfermedades. En este grupo se incluyen a los pulgones o áfidos (Hemiptera) y a los trips (Thysanoptera).

Otros insectos causan daño directo al alimentarse de las lechugas, en este grupo están las moscas minadoras (Díptera), que minan el follaje, y los gusanos medidores (Lepidóptera), que se alimentan mordiendo el follaje, mientras que áfidos succionan los jugos de las plantas y trips que raspan el follaje para alimentarse (INIA, 2017).

Cardeña (2012). Menciona que la lechuga es atacada por las siguientes plagas:

- MINADORES (*Liriomiza trifoli* y *Liriomiza huidobrensis*) forman galerías en las hojas, si el ataque de la plaga es muy fuerte la planta queda debilitada.
- MOSCA BLANCA (*Trialeurodes vaporarum*) produce una mezcla que deteriora las hojas, dando lugar a un debilitamiento general de la planta.

b) Enfermedades

Para que ocurra una enfermedad es necesario que existan en forma simultánea tres factores fundamentales, un hospedero susceptible, un medio ambiente favorable y un agente causal, si alguno de estos factores no está presente, no ocurrirá la enfermedad (INIA, 2017).

Según, Cardeña (2012) Menciona las siguientes enfermedades:

MILDIU VELLOSO (*Bremia lactucae*).

En el haz de las hojas aparecen unas manchas de un centímetro de diámetro, y en el envés aparece un micelio veloso, las manchas llegan a unirse unas con otras y se tornan de color pardo. Los ataques más importantes de esta plaga se suelen dar en otoño y primavera, que es cuando suelen presentarse periodos de humedad prolongada, además los conidios del hongo son transportados por el viento dando lugar a nuevos ataques.

ESCLEROTINIA (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Se trata de una enfermedad principalmente del suelo, por tanto las tierras nuevas están exentas de este parásito o con infecciones leves, la infección se empieza a desarrollar sobre los tejidos cercanos al suelo, pues la zona del cuello de la planta es donde se inician y permanecen los ataques. Sobre la planta produce un marchitamiento lento en las hojas, iniciándose en las más viejas, y continúa hasta que toda la planta queda afectada. En el tallo aparece un micelio algodonoso que se extiende hacia arriba en el tallo principal.

CHUPADERA (*Rhizoctonia, Fusarium, Pythium*)

Causa la muerte de las plántulas por estrangulamiento en la base del tallo, originados por lesiones de cualquiera de los 3 tipos de hongos que viven en el suelo. Su aparición está condicionada por una excesiva humedad ambiental, provocada por un incorrecto manejo del riego, suelos con poco drenaje o siembras demasiado densas.

CAPITULO II

AREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación

2.1.1. Política

Región	: Cusco
Provincia	: Cusco
Distrito	: San Jerónimo
Sector	: Comunidad Campesina de Pico Orcompugio (Planta de Compostaje)
Latitud	: 13.5447 13° 32' 41" Sur
Longitud	: 71.8839 71° 53' 2" Oeste
Altitud	: 3354m

2.1.2. Geográfica

La Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos se ubica dentro de la comunidad campesina de Pico Orcompugio, geográficamente se localiza en el borde oeste de la cordillera Oriental de los Andes, hacia el sector sur este. Se ubica a 14 Km de la capital de la provincia de Cusco.

2.1.3. Límites de la Planta de Compostaje

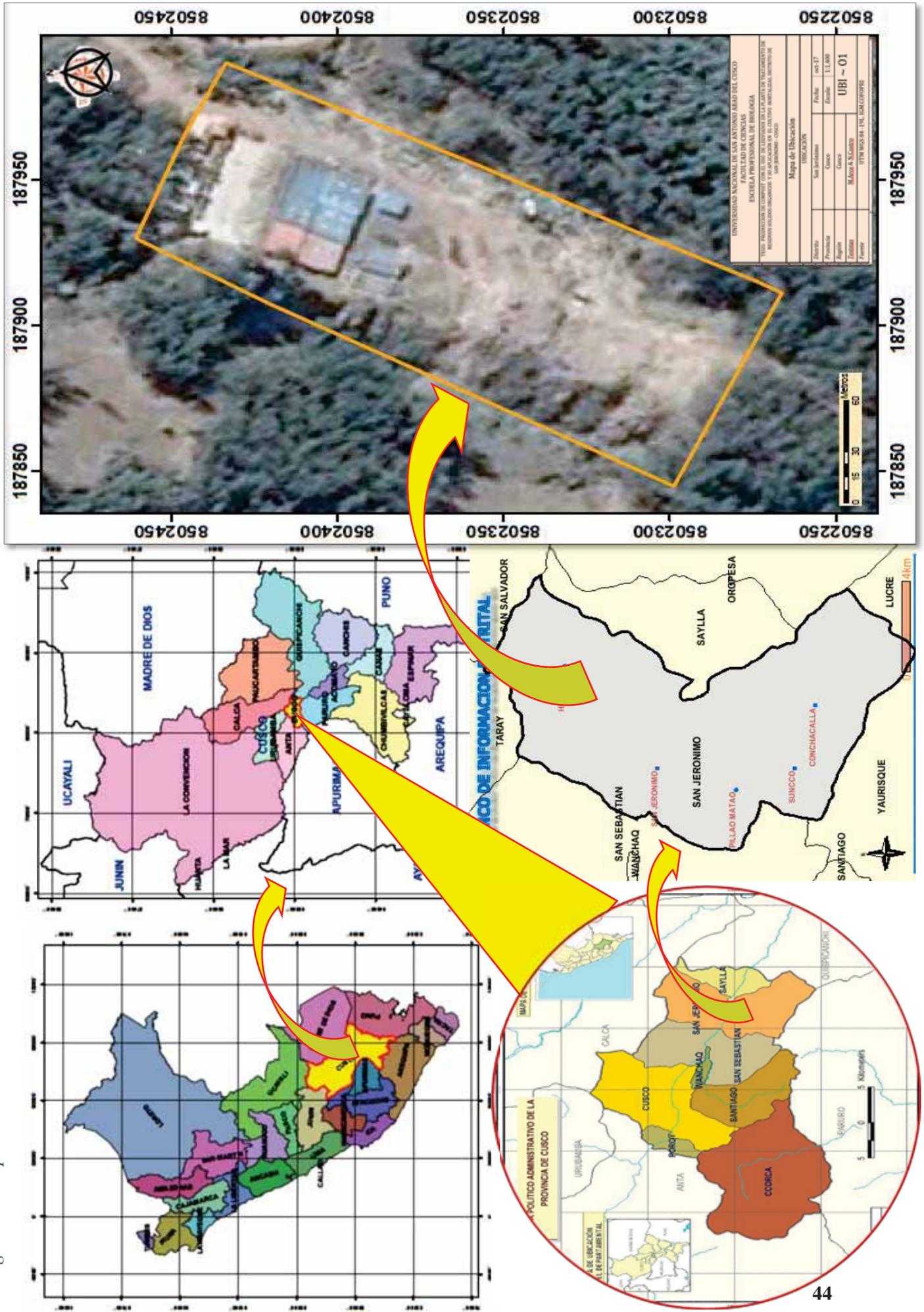
La Planta de Compostaje cuenta con un área de 7,000 m² y se encuentra a 2.5 kilómetros de la plaza del Distrito de San Jerónimo y limita:

- ✓ El norte con la quebrada de Pucaccata
- ✓ El sur con el predio Ccoricalle
- ✓ El este con la quebrada de Pucaccata
- ✓ El Oeste con la quebrada Purgatorio

2.1.4. Accesibilidad

Existe solo una vía de acceso para poder llegar a la Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos (Compostaje), desde la ciudad de Cusco donde se recorre unos 45 minutos hasta la plaza del distrito de San Jerónimo, luego se inicia por la trocha carrozable de Huaccoto, por unos quince (15) minutos hasta el kilómetros 2.5 en vehículo.

Figura 9. Mapa de ubicación.



2.2. Características de la zona de estudio.

2.2.1. Geología

Carlotto et al. (2011) La zona de estudio perteneciente al distrito de San Jerónimo, afloran diferentes unidades litológicas, caracterizadas por presentar afloramientos de rocas sedimentarias y en menor proporción rocas volcánicas e intrusivas, la edad de estas varía entre el Mesozoico y Cenozoico.

2.2.1.1. Grupo San Jerónimo (Eoceno medio – Oligoceno Inferior)

Es una gruesa serie roja de origen continental de más de 6000 m de espesor que aflora ampliamente en la zona de estudio. Está conformado por las formaciones K'ayra y Soncco que tienen espesores de 3000 m y 1500 m, respectivamente. Estas forman un conjunto que esta principalmente constituido por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial y de edad eocena inferior oligocena inferior (Carlotto et al., 2011).

- a. **Formación K'ayra:** Según Carlotto et al. (2011). Constituye el basamento rocoso del área de evaluación, y dado que estas se encuentran alteradas, deformadas, falladas, fracturadas y diaclasadas, producto de la tectónica regional. Litológicamente presenta areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas; siendo la parte media a superior más gruesa y compuesta por areniscas, microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcitas. Hacia el tope la formación acaba con facies arenosas. Dadas las características litológicas y a sus condiciones geomecánicas. Esta formación presenta, en algunos sectores, intensa erosión por cárcavas.

2.2.2. Clima

El distrito de San Jerónimo cuenta con un clima semiseco y frío. La temperatura media anual es de 12.8°C, máxima de 22.8°C y mínima de -1°C, mientras que la precipitación anual es 693.5mm. La temporada de lluvias se inicia en noviembre y concluye en marzo,

época en que las montañas se cubren de verde. En invierno hace frío en la noche y la temperatura aumenta considerablemente desde las primeras horas de la mañana hasta el mediodía. Entre junio y julio son comunes las “heladas” (frío intenso) en las que se han reportado nevadas muy ocasionales. De manera general se distinguen dos estaciones climáticas: la estación de lluvias, de noviembre a marzo y la estación de secano, de abril a octubre.

2.2.2.1. Climatodiagrama.

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por el SENAMHI Cusco, a través de la Estación Meteorológica Agrícola Principal (MAP) K'ayra, Código 120607 (2015). Las características son altitud 3219 m. ubicada en el Centro Agronómico K'ayra - Cusco, cuya ubicación geográfica es 13° 33' 24" Latitud Sur y 71° 52' 30" Longitud Oeste.

Datos de la Estación MAP Granja K'ayra

- Departamento: Cusco -Latitud:13° 33' 24"
- Provincia: Cusco - Longitud: 71 °52' 30"
- Distrito: San Jerónimo -Altitud: 3219 m.s.n.m

Tabla 4. *Datos de la Estación Meteorológica Granja K'ayra – UNSAAC (2005 – 2015)*

Mes	Precipitación total anual (mm/mes)	temperatura promedio
Julio	10.3	10.2
Agosto	4.6	11.5
Setiembre	16.1	13.4
Octubre	19.1	13.5
Noviembre	37.5	14.7
Diciembre	155.9	14.6
Enero	151.3	13.7
febrero	140.9	12.6
Marzo	66.7	13.8
Abril	70.8	12.8
Mayo	16.4	11.7
Junio	3.9	11
Promedio	693.5	12.8

Fuente: SENAMHI (2018)

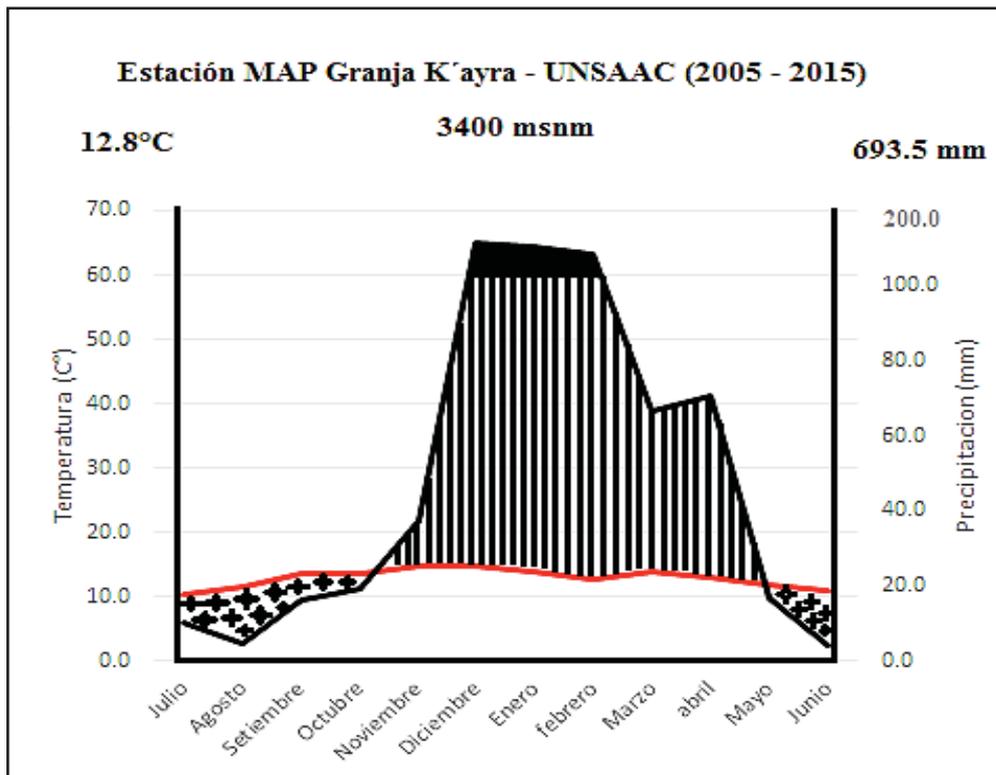


Figura 10. Climatodiagrama de la Estación Granja K'ayra - UNSAAC

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10, se observa la precipitación representada por la línea negra donde la época de lluvias se da entre los meses de Noviembre a Marzo, alcanzando un máximo valor en el mes de Diciembre con 155.9mm y una mínima en Junio con 3.9mm que corresponde a la época de secas entre los meses de abril a octubre, haciendo una precipitación total anual de 693.5mm.

Por otro lado la línea roja, corresponde a la temperatura, alcanzando un máximo valor en Noviembre con 14.7°C y mínima en Julio con 10.2°C haciendo un promedio anual de 12.8°C.

Flora

La vegetación herbácea y arbustiva, ocupa una extensión de 43.57 hectáreas que representa el 0.49%, y se encuentra principalmente en la quebrada Huanacaure del distrito.

En la flora se encuentran especies nativas y exóticas entre ellas tanto arbórea, arbustiva, herbácea y pajonal que se citan a continuación, (ECSR – MDSJ, 2016).

Vegetación herbácea: *Rumex crispus.*, *Calamagrostis rigida.*, *Stipa jaravaichu.* *Plantago rigida.*, *Grindelia boliviana*, *Salvia oppositiflora.*, *Muehlenbeckia sp.*, *Calceolaria sp.*, *Oenothera rosea.*, *Satureja boliviana*, *Poa sp.*

Vegetación arbustiva: *Barnadesis horrida.*, *Kageneckia lanceolata.*, *Baccharia sp.*, *Baccharis odorata.*, *Cantua buxifolia.*, *Colletia spinosissima.*, *Senna birostris.*, *Agerentina pentlandiana*, *Ambrosia arborescens.*

Vegetación arbórea: *Escallonia resinosa*, *Polylepis incana*, *Buddleja incana*, *Alnus acuminata*, *Salix humboldtiana*, *Populus nigra*, *Pinus radiata*, *Cupressus macrocarpa*, *Eucalyptus globulus*, *Pyrus communis*, *Pyrus malus*, *Prunus serotina*, entre otros.

Pajonal: Las especies que mejor tipifican los pajonales son: *Belloa schultzei*, *Deyeuxia rigida*, *Distichlis humilis*, *Gnaphalium polium*, *Hypochaeris taraxacoides*, *Luzula racemosa*, *Oenothera acaulis*, *Poa humillima*, *Stipa ichu*, *Werneria nubigena*, *Werneria caespitosa*.

Fauna

Debido a la extensión territorial y a la diversidad y variedad de vegetación tanto nativa como exótica, se tiene una fauna variada representada por (ECSR – MDSJ, 2016):

- **Anfibios y reptiles:** *Rhinella spinolosus.*, *Gastroteca marsupiata*, *Liolaemus sp.*, *Proctoporus bolivianus*, *tachimenis peruviana.*
- **Aves:** *Metropelia sp.* *Nothoprocta ornata*, *Zenaida auriculata*, *Colibri coruscans*, *Colaptes rupicola*, *Turdus chiguaco*, *Carduelis magellanica*, *Vanellus resplendens*, *Falco femoralis*, *Zonotrichia capensis*, etc.
- **Mamíferos:** *Mus musculus*, *Cavia tschudii.*

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Material Biológico.

- ✓ Materia orgánica (residuos sólidos orgánicos).
- ✓ Lixiviados
- ✓ Semillas de lechuga (*Lactuca sativa* var. Waldmans green).

3.1.2. Materiales de Campo.

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Lápiz, lapiceros
- ✓ Plumón indeleble
- ✓ Guantes, barbijo.
- ✓ Botas
- ✓ Agua destilada
- ✓ Botellas plásticas de 650ml, rotuladas para el lixiviados
- ✓ Bolsas plásticas rotuladas para el compost
- ✓ Bolsas de papel
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Wincha
- ✓ Saquillos de arpillera
- ✓ Jarra medidora de 500ml
- ✓ Plástico doble
- ✓ Señales (tratamientos de *Lactuca sativa*)
- ✓ Neveras portátiles.
- ✓ Estacas de madera

- ✓ Hilo nylon

3.1.3. Equipos.

- **Equipos de campo**

- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Termómetro bimetálico (longitud de barilla 30 cm, Rango de medición de 0°C a 110°C)
- ✓ GPS
- ✓ pHmetro tipo lapicero *Pancellent* (resolución de pH es 0.01ph, Precisión \pm 0.01pH)
- ✓ Higrómetro ML3 SM150T, PR2 (analógico y SDI-12) rango de 0 -80%
- ✓ Balanza eléctrica de 0 a 400 kilos, balanza gramera.

- **Equipos de gabinete**

- ✓ Calculadora
- ✓ Cuaderno de apuntes
- ✓ Impresora
- ✓ Computadora (laptop)
- ✓ Bibliografía especializada
- ✓ Paquete estadístico: R, Past, ArcGis, Excel.
- ✓ Triángulo de Holdridge

3.1.4. Herramientas

- ✓ Pico
- ✓ Pala
- ✓ Trinche
- ✓ Balde de 25 litros
- ✓ Cilindro de 208 litros.

- ✓ Zaranda de 1.6cm de diámetro
- ✓ Machete
- ✓ Manguera de 20 metros con diámetro de 1/8 pulgadas,

3.2. Metodología

Tipo de Investigación

El tipo de investigación científica es Básico, Carrasco (2005). Busca ampliar y profundizar el caudal de conocimientos científicos existentes, en el proceso de compostaje, los lixiviados y el rendimiento en *Lactuca sativa*, además busca un propósito aplicativo a largo plazo.

Diseño de Investigación

El Diseños de la investigación es Experimental. Carrasco (2005). Considerando los tratamientos (C1, Compost con lixiviado al 25%, C2, Compost con lixiviado al 50%, C3, Compost con lixiviado al 100% y C4, Compost testigo) donde en la primera fase de la investigación se identificó la productividad y las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio así también se evaluaron los parámetros más importantes, Temperatura (°C) ,Humedad,(%) y pH , para cada tratamiento se realizó tres repeticiones haciendo un total de doce unidades experimentales.

En la segunda fase del proyecto se determinó el rendimiento de la lechuga en los tratamientos (T1, parcelas con C1, T2, parcelas con C2, T3, parcelas con C3, T4, parcelas con C4, T5, parcelas testigo) donde el diseño fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 5 tratamientos y 3 repeticiones haciendo un total de quince unidades experimentales en un área de 54m².

La información cuantitativa obtenida durante el trabajo de campo fue procesada utilizando la prueba de ANOVA, Tukey, kruskal y Parwise, con el programa estadístico “R” y “Past”

3.2.1. Abonos orgánicos.

El compost fue obtenido mediante un proceso aeróbico realizando volteos constantes con ayuda de herramientas, instalados en un espacio de la Planta de Compostaje, el periodo del proceso de compostaje fue de 96 días.

3.2.1.1. Acondicionamiento del área para el proceso de compostaje.

Se acondiciono un espacio de la Planta de Compostaje que presenta techo, piso de cemento y una pendiente, en seguida se procedió con el extendido del plástico con el fin de evitar la pérdida de lixiviados, y para su evacuación se utilizó un tubo de ½ pulgada atada al plástico, que permitió el recojo de los lixiviados a un balde de 25 litros, el líquido drenado servirá a su vez en el proceso de compostaje, el área acondicionada abarco 12 pilas de 500 kilos cada una, con techo para la protección de los rayos del sol, (Chatterjee et al, 2013) menciona que la luz solar reducen la actividad microbiana y la precipitación directa provoca un exceso de humedad disminuyendo el tiempo de descomposición.

CROQUIS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE Y UBICACIÓN DE LAS PILAS.

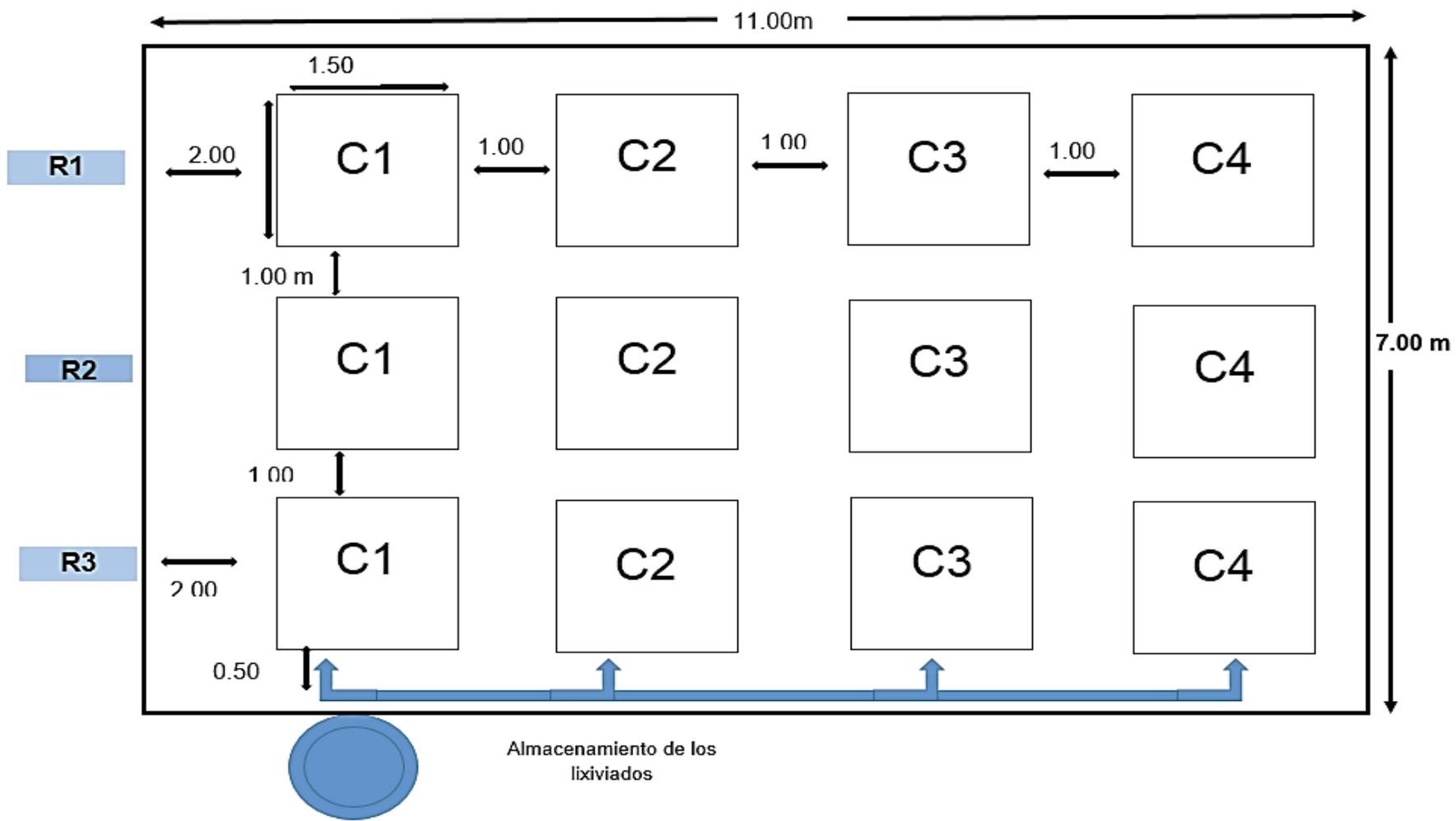


Figura 11. Croquis de la ubicación de las pilas para el proceso de compostaje.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a las necesidades del investigador

3.2.2. Proceso de formación de las Pilas De Compostaje.

3.2.2.1. Selección de residuos orgánicos.

Los residuos orgánicos (frutas y verduras) provenientes del mercado Vinocanchón fueron acopiados en un horario de 3:00 pm hasta las 7:00 pm dado que la selección de estos fueron en la fuente, es decir cada puesto o stand entrega sus residuos seleccionados listos para recoger y trasportarlos a la Planta de Compostaje.

3.2.2.2. Formación de pila de Compost.

Esta labor consistió en el armado de las 12 pilas en montones triangulares para obtener una óptima estructura del montón y una composición equilibrada del compost con una masa de 500 kilos cada una, cuyas medidas fueron: 1.5m de largo, 1.5m de ancho y 1.2m de altura bajo techo.

Tabla 5. Características del campo experimental de compostaje

Detalles del campo experimental	Detalles de las pilas de compost
Numero de pilas	12
Numero de tratamientos	4
Numero de repeticiones	3
Medidas pila	Largo: 1.5m, ancho: 1.5m y altura 1.2m
Distancia entre pilas:	1m
Área de trabajo	77m ²

Fuente: elaboración propia

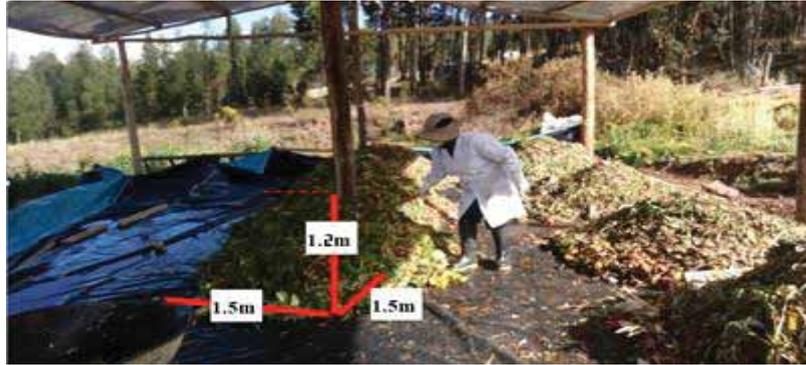


Foto N° 1. Formación de las pilas de compostaje.

3.2.2.3. Volteo.

Los volteos se realizaron una vez por semana, esta operación tiene la finalidad de incorporar oxígeno a las pilas y de esta manera acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica el volteado inicio el 03 de julio del 2018 en promedio de tres meses durante todo el proceso:

- ~ 03 de julio del 2018
- ~ 10 de julio del 2018
- ~ 17 de julio del 2018
- ~ 24 de julio del 2018
- ~ 31 de julio del 2018
- ~ 07 de agosto del 2018
- ~ 14 de agosto del 2018
- ~ 21 de agosto del 2018
- ~ 28 de agosto del 2018
- ~ 04 de septiembre del 2018
- ~ 11 de septiembre del 2018
- ~ 18 de septiembre del 2018

3.2.3. Lixiviados de compost.

Chatterjee et al (2013) el lixiviado inicial de las pilas de compost activos o compost fresco son a menudo amarillento, debido a la materia orgánica disuelta y partículas presentes, el lixiviado de compost es similar al extractos de compost.

3.2.3.1.Sistema de recolección y almacenamiento de los lixiviados.

Se realizó el extendido del plástico, antes del armado de las pilas, exactamente en el área de recepción de la Planta de Compostaje, esta presenta una pendiente que permite que los lixiviado se concentren en un costado y con ayuda de un tubo de ½ pulgada de diámetro fue conducido a un balde de 25 litros, luego de llenado el balde se procedió a ser almacenado en un cilindro de 208 litros por lo que fueron necesarios dos por la cantidad de lixiviados recolectados. Cabe mencionar que los tachos se encontraban protegidos de los rayos solares, totalmente cerrados y solo fueron abiertos para realizar los tratamientos y para la extracción de muestras para el laboratorio.

3.2.3.2.Colecta y almacenamiento de los lixiviados.

Desde el inicio hasta el final del proceso de compostaje se fue colectando los lixiviados en un cilindro de 208 litros, se muestra el registro de colecta y el total de lixiviados almacenados en el cilindro.

Tabla 6. Cuadro de registro de recolección de lixiviados de compost

DÍA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	FECHA DE RECOLECCION	LIXIVIADOS (Litros)
Traslado	25/06/2018	64.5
Armado	26/06/2018	56.5
1	27/06/2018	52.5
2	28/06/2018	57.5
3	29/06/2018	35.5
4	30/06/2018	28.0
5	01/07/2018	23.0
7	03/07/2018	25.0
9	05/07/2018	23.0
12	08/07/2018	23.5
14	10/07/2018	20.0
17	13/07/2018	23.5
21	17/07/2018	22.5
25	21/07/2018	21.5
29	25/07/2018	17.5
34	30/07/2018	17.0
39	04/08/2018	17.5
45	10/08/2018	15.5
50	15/08/2018	15.0
58	23/08/2018	14.5
64	29/08/2018	12.5
69	03/09/2018	10.0
75	09/09/2018	8.5
80	15/09/2018	7.5
84	19/09/2018	5.5
TOTAL		612

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3. Toma de muestra de lixiviados.

Se realizó el muestreo en una sola oportunidad, el tipo de muestreo fue puntual de cada concentración, la cantidad solicitada por el laboratorio fue de 650ml por muestra de lixiviado representado en la tabla 7.

Tabla 7. Muestras de lixiviados para ser analizadas

Tratamiento	Concentración del lixiviado	Combinación de muestra (ml Lix + ml Agua)	Cantidad Lixiviado (ml)	Cantidad total (ml)
Lixiviado 1	25%	162.5ml lixiviados + 487.5ml agua	162.5	650
Lixiviado 2	50%	325ml lixiviados + 325ml agua	325	650
Lixiviado 3	100%	650ml lixiviados + 0 ml agua	650	650
Total			1,137.5	1,950.0

Fuente: elaboración propia.

Las muestras se envasaron en botellas debidamente rotuladas y esterilizadas e inmediatamente fueron transportadas en neveras portátiles al laboratorio de Análisis Químico de la UNSAAC, para el análisis de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, el 25 de Julio del 2018 y se contó con los resultados el 10 de agosto del 2018.



Foto N° 2. Muestra de lixiviados de compost antes de ser analizados en laboratorio

3.2.4. Aplicación de los lixiviados al compost.

Realizada la evacuación de los lixiviados al balde de 25 litros que estuvieron cerradas, almacenadas y puestas bajo sombra con el fin de evitar cualquier alteración en su composición estas fueron aplicadas a las pilas en seis oportunidades tal y como muestra la tabla 8.

Tabla 8. Aplicación de lixiviados en las pilas de compost

N°	DÍA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	FECHAS DE APLICACION	LIXIVIADOS (litros)
1	26	22/07/2018	26.25
2	31	27/07/2018	26.25
3	38	03/08/2018	26.25
4	44	09/08/2018	26.25
5	54	19/08/2018	26.25
6	65	30/08/2018	26.25
total			157.5

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.1. Tratamientos de las pilas de compost con el uso de los lixiviados.

La alimentación de las pilas de compost se dieron con el uso de lixiviados, realizado en diferentes tratamientos como se muestra en la tabla 9, el uso de los lixiviados tenía el propósito de mantener la humedad en las pilas de compost.

Tabla 9. Tratamiento de compost con el uso de diferentes concentraciones de lixiviados producidos.

Tratamiento Clave	Concentración de lixiviados	N° Pilas	Combinación por Aplicación (lt Lix + lt Agua)	Cantidad de Lixiviado por tratamiento (lt)	Cantidad total aplicada (lt)
C1	lixiviado al 25%	3	1.25 lt lixiviados + 3.75 lt agua	3.75	5
C2	lixiviado al 50%	3	2.5 lt lixiviados + 2.5 lt agua	7.5	5
C3	lixiviado al 100%	3	5 lt lixiviados + 0 lt agua	15	5
C4	Testigo	3	0 lt lixiviados + 5 lt agua	0	5
Total		12		26.25	20

Fuente: Elaboración Propia.



Foto N° 3. Uso de los lixiviados en las pilas experimentales de compost.

3.2.4.2. Evaluación de parámetros físicos durante el proceso de compostaje.

- **Temperatura:** la medición de la temperatura se realizó en forma directa a la mitad de la altura de la pila en dos puntos extremos para sacar un promedio, la medición se hizo durante el proceso de compostaje, con el uso de un termómetro bimetálico.

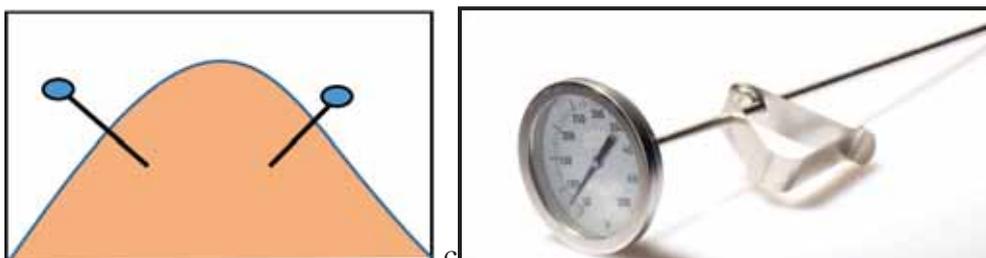


Figura 12. Puntos de medición de la temperatura y termómetro bimetálico.

- **Humedad:** La medición de la humedad se realizó todo los días de forma directa en dos puntos de las pilas, con el uso de un higrómetro (medidor de humedad) marca HH2.

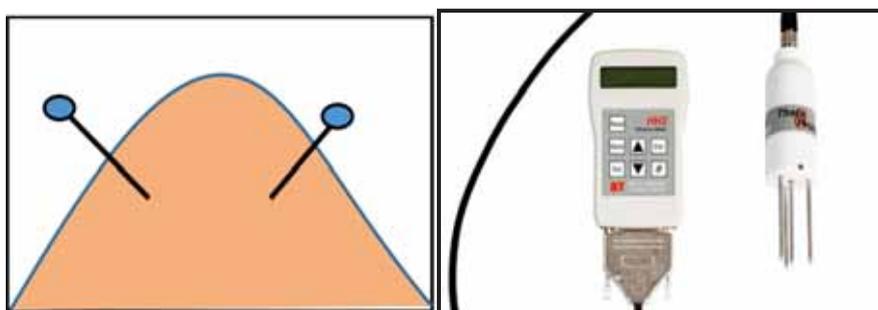


Figura 13. Puntos de medición de la humedad e higrómetro.

- pH:** La medición del pH se realizó, Arana et al. (2012). Usando la dilución 1/10 (10gramos de muestra y 90ml de agua destilada, extrayendo el material de la parte central de la pila con ayuda de guantes de látex, con el uso de un pHmetro tipo lapicero marca Pancellent así mismo se usó la solución para constatar la calibración del equipo.

$$\text{Dilución } 1/100 = \frac{1 \text{ ml Dilución } 10^{-1}}{1 \text{ ml Dilución } 10^{-1} + 9 \text{ ml Diluyente}} \Rightarrow 10 \text{ ml de dilución } 1/100 \text{ ó } 10^{-2}$$



Figura 14. pHmetro tipo lapicero marca Pancellent.

Compost final.

Una vez realizado el manejo y los procesos adecuados de los residuos orgánicos, se obtuvo el compost final que es un material oscuro, olor a tierra mojada. La cosecha del compost se realizó el 05 de octubre del 2018, para esto se utilizó una pala, malla con dimensiones de 1.6cm, FAO (2013) saquillos y una balanza; el tiempo transcurrido desde la instalación hasta la cosecha fue de 102 días equivalente a 3 meses con 10 días para el compost con diferentes concentraciones de lixiviados.



Foto N° 4. Cosecha de los abonos orgánicos tratados con lixiviados.

Croquis de del Diseño Completamente Al Azar (DCA) de las parcelas de *Lactuca sativa*

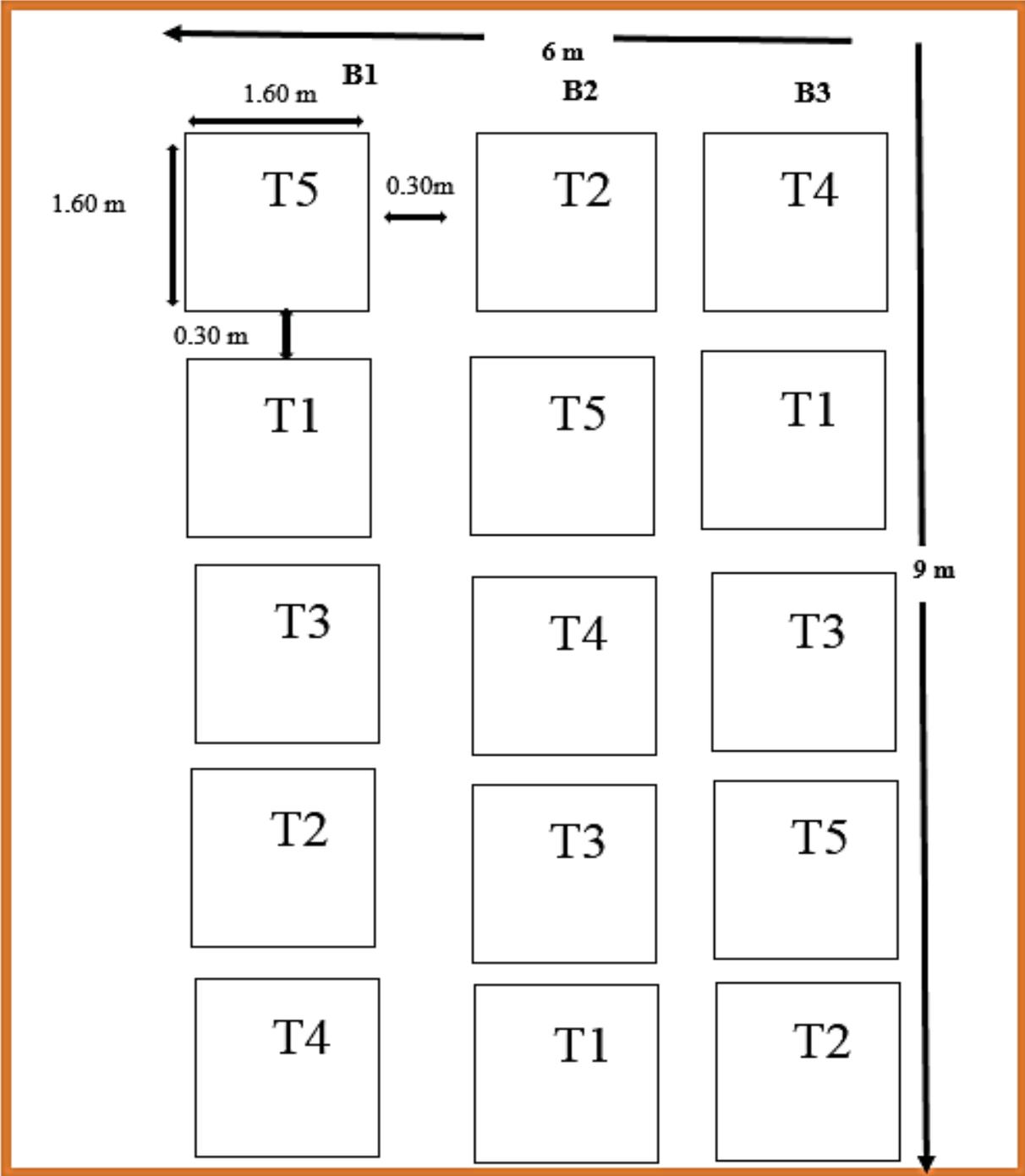


Figura 15. Distribución de las parcelas de *Lactuca sativa*.

Fuente: Elaboración propia

Croquis de una parcela de lechuga

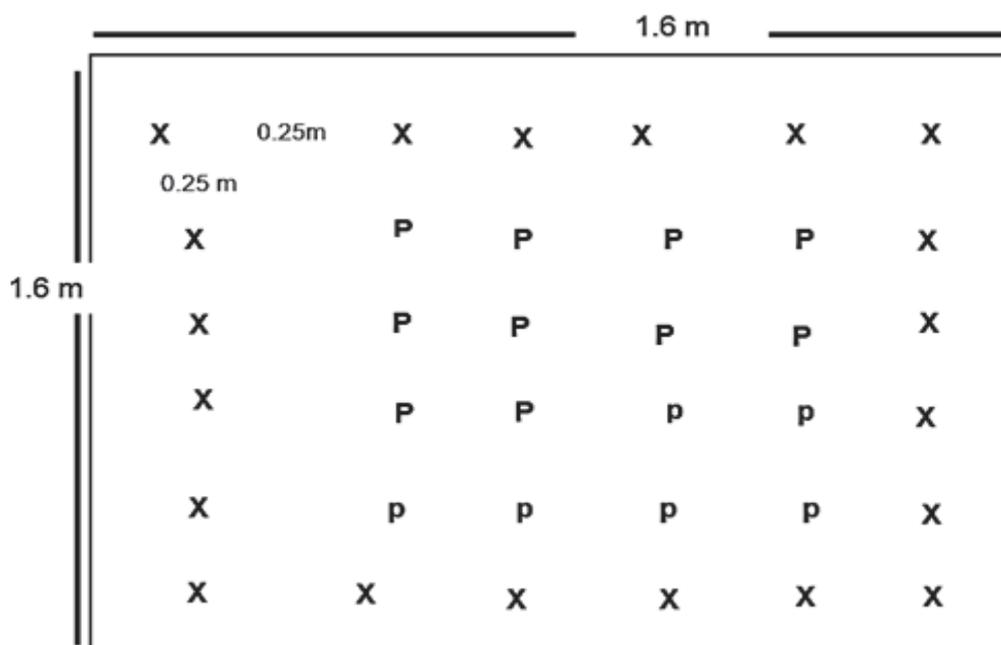


Figura 16. Croquis de una parcela experimental de *Lactuca sativa*.

Fuente: Elaboración propia.

Detalles:

- X: Plantas efecto borde
- P: plantas evaluadas
- Distanciamiento entre plantas: 0.25 m
- Distanciamiento entre surcos: 0.25 m
- Ancho de la parcela: 1.6 m
- Largo de la parcela: 1.6 m

Tabla 10. Detalle del diseño empleado en el cultivo de lechuga.

DETALLE DEL DISEÑO EMPLEADO	
Numero de parcelas	15
Numero de tratamientos	5
Numero de repeticiones	3
Área de una parcela	2.56 m ²
Área total de las parcelas	54 m ²
Distancia entre surcos	0.25 cm
Distancia entre plántulas	0.25 cm
Numero de plántulas por surco	6
Numero de surcos por parcela	6
Numero de plántulas por parcela	36

Fuente: Elaboración propia

Tratamientos empleados en las parcelas de *Lactuca sativa*.

Tabla 11. Detalle de los tratamientos empleados en las parcelas de lechuga.

DETALLE DEL DISEÑO EMPLEADO					
Clave	Tratamiento	Compost	Repeticiones (R)	Compost por parcela kg (C)	Compost por tratamiento (kg) (R x C)
T1	Tratamiento 1	Compost al 25 %	3	7.68	23.04
T2	Tratamiento 2	Compost al 50 %	3	7.68	23.04
T3	Tratamiento 3	Compost al 100 %	3	7.68	23.04
T4	Tratamiento 4	Compost testigo	3	7.68	23.04
T5	Tratamiento 5	Sin Compost	3	0	0
TOTAL			15	30.72	92.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Cantidad de abono utilizado por tratamiento de cultivos de lechuga.

TRATAMIENTOS	Cantidad de abono por plántula	Cantidad de abono por parcela (36 plántulas)	Cantidad de abono total (15 parcelas)	Cantidad de abono (kg/ha)
Cantidades por tratamiento	213.3 gr	7.680 kg	23.040 kg	30,000 kg/ha

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. *Waldmans green*)

El cultivo de *Lactuca sativa* se realizó en el fitotoldo (malla raschel) de la Planta de Compostaje del distrito de San Jerónimo.

Toma de muestra del suelo

El muestreo de suelo se realizó el 27 de septiembre del 2018 antes de la preparación con la finalidad de conocer la fertilidad del suelo.

Para el muestreo se utilizó el método del Zig-Zag obteniéndose un total de 5 submuestras de un kilo las mismas que fueron mezcladas en un balde de plástico, para luego obtener una muestra homogénea y representativa de un kilo, la muestra se tomó hasta una profundidad de 20cm (requerido por cultivo de *Lactuca sativa*), la cual fue trasladada en un bolsa debidamente rotulada al laboratorio de Análisis Químico de la UNSAAC.

La muestra fue llevada el 27 de septiembre y los resultados el día 05 de octubre del 2018.

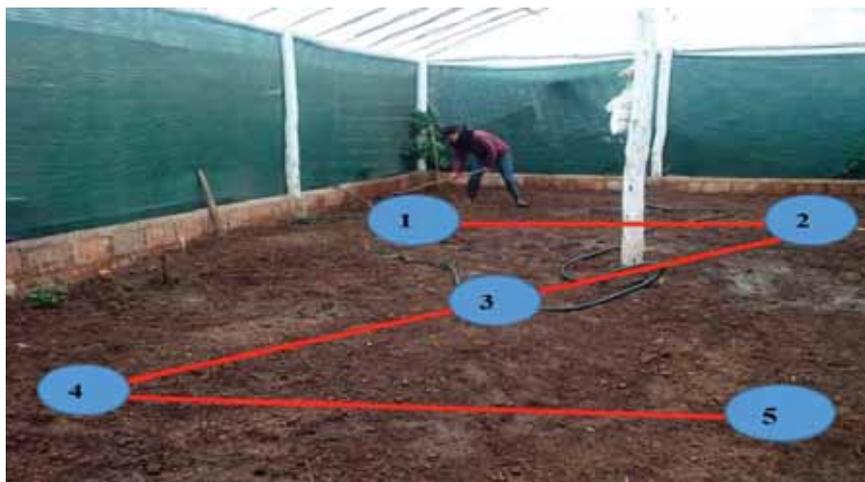


Foto N° 5. Método del zigzag para la toma de muestra de suelo.

Preparación de la cama Almaciguera.

Para la instalación del almacigado se preparó la cama, que fue a un costado del campo experimental y se preparó de la siguiente manera.

Las dimensiones de la cama almaciguera fueron de 1.5m de largo, 1m de ancho y 0.25 m. de profundidad con una ligera pendiente para que pueda drenar del riego.

Una vez ubicado y replanteado el terreno del almacigado fue removido y limpiado evitando que dificulten la siembra, luego se procedió a hacer la mezcla de tierra agrícola con tierra negra en una proporción de 33 % de tierra agrícola, 33 % de tierra negra y 33 % de humus según Cardeña (2012). Se realizó el 10 de noviembre del 2018, como se muestra en la foto 6.



Foto N° 6. Preparación de la cama almaciguera

Siembra del Almacigo

Teniendo las condiciones adecuadas de la cama almaciguera y las semillas de *Lactuca sativa* variedad Waldman's Green (lechuga orgánica), se procedió a la siembra el 12 de noviembre del 2018, utilizando el método del voleo, se cubrió la cama almaciguera con paja para mantener la humedad, el riego, fue de manera oportuno y necesaria, la germinación se observó a partir del cuarto día y permaneció durante 36 días. Este trabajo se llevó a cabo dentro del área experimental (fitotoldo).



Foto N° 7. Siembra y riego del almacigo.

Preparación del Terreno.

La preparación del suelo se realizó con el uso de herramientas manuales, el removido se hizo a una profundidad de 20 cm (capa arable).

Una vez listo el terreno se procedió a la medición de los bloques, las unidades experimentales y la incorporación del compost de (3 kg/m²) con dos semanas de anticipación para su asimilación y posterior tratamiento en *Lactuca sativa* var. Waldmans green.



Foto N° 8. Preparación del terreno y armado de las parcelas

Tratamientos en *Lactuca sativa*.

Tabla 13. Tratamientos utilizados en las parcelas de lechugas.

N°	Código	Detalles
1	T1	Abonadas con C1 (compost con lixiviados al 25%)
2	T2	Abonadas con C2 (compost con lixiviados al 50%)
3	T3	Abonadas con C3 (compost con lixiviados al 100%)
4	T4	Abonadas con compost testigo C4
5	T5	Sin abono, parcela testigo

Fuente: Elaboración propia



Foto N° 9. Aplicación del compost a las parcelas experimentales

Trasplante de las plántulas de lechuga.

La operación del trasplante se efectuó cuando las plántulas alcanzaron entre 12 a 19 cm de altura con 3 a 5 hojas verdaderas, las distancias fueron de 25 cm entre hileras y 25 cm entre plantas, sumando 36 plántulas por parcela y 540 plantas de *Lactuca sativa var. Waldmans green* en todo el área experimental.



Foto N° 10. Surcado y trasplante de las plántulas

Riego del cultivo de lechuga.

El riego se realizó por aspersión manual de manera suave evitando que las gotas logren encharcar el terreno, este fue de manera inter diaria de acuerdo a los requerimientos del cultivo con la ayuda de una manguera.



Foto N° 11. Riego de los cultivos experimentales.

Porcentaje de prendimiento

Una vez realizada el trasplante de *Lactuca sativa var. Waldmans green* a campo experimental se observó el prendimiento de estas, la cual se evaluó mediante un conteo directo, el número total de lechugas prendidas en cada una de las parcelas, el mismo que se realizó una semana después del trasplante y se expresó en porcentaje (%).

Control de Arvenses.

El control de arvenses o buenazas se realizó de forma manual, en dos ocasiones; la primera a los 15 días después del trasplante en campo y la segunda a los 30 días, para evitar la competencia de nutrientes.

Tabla 14. Control de arvenses en el cultivo de *Lactuca sativa*.

Nombre común	Nombre científico	Familia
Nabo	<i>Brassica campestris</i>	Brassicaceae
Trébol carretilla	<i>Medicago hispida</i>	Fabaceae
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Poaceae
Llaqué o lengua de vaca	<i>Rumex cuneifolios</i>	Poligonaceae

Fuente: elaboración propia.

Control de plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo no se presentaron plagas ni enfermedades.

Cosecha.

La cosecha se realizó manualmente el 26 de Diciembre del 2018, cuando ya alcanzaron la madurez comercial, se tomaron 10 muestras de cada parcela de forma aleatoria, sin tomar en cuenta el efecto borde, haciendo un total de 150 lechugas las cuales fueron transportadas desde el campo experimental en bolsas debidamente etiquetadas al laboratorio de Ecología de E.P. Biología de la UNSAAC.

3.2.6. Evaluación del rendimiento de la lechuga.

Para la evaluación se consideró los siguientes aspectos:

1. **Altura de planta.**- Se realizó la medición con cinta métrica desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más alta.



Foto N° 12. Medición de la altura de la lechuga.

2. **Número de hoja.**- El conteo de hojas se realizó de forma manual hasta llegar a la última hoja.



Foto N° 13. Número de hojas de la lechuga.

3. **Peso de materia fresca sin raíz-** Las lechugas fueron pesadas de forma individual.



Foto N° 14. Biomasa de la materia fresca sin raíz

4. **Biomasa de materia seca sin raíz.-** Es la biomasa seca de la lechuga después de ser sometida a una estufa a 108°C durante 48 horas. Para lo cual cada muestra fue debidamente etiquetada.



Foto N° 15. Pesado de la materia seca sin raíz.

3.2.7. Procesamiento de la información.

Los datos obtenidos fueron sometidos a la prueba de normalidad y homogeneidad de ellas las que presentaron una distribución normal fueron sometidas a pruebas paramétricas (ANOVA), mientras las que no presentaron una distribución normal se sometieron a pruebas no paramétricas (*Kruskal*), al 5% de probabilidad de error, para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. En caso de que se encuentre diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación de medias, con el test de *Tukey* a 0.05 de probabilidad de error.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Producción de compost con aplicación de lixiviados.

Integra el seguimiento de parámetros importantes, temperatura, humedad y pH, de las pilas de compost con aplicación de lixiviados durante el proceso de compostaje.

4.1.1. Variación de la Temperatura durante el proceso de compostaje.

La figura 17, muestra el comportamiento de la temperatura en los tratamientos C1, C2, C3 y C4 durante el proceso de compostaje donde se observa lo siguiente:

El tratamiento C1, muestra la temperatura inicial con un valor de 18.5 °C en su fase mesofila I y rápidamente se incrementó hasta alcanzar 56°C siendo esta su máxima temperatura en su fase termofila lo cual garantiza la eliminación de microorganismos y otros contaminantes, luego pasando por su fase mesofila II y maduración hasta que el valor de la temperatura fue de 18.8°C.

El tratamiento C2, muestra la temperatura inicial de 18 °C en su fase mesofila I rápidamente hasta alcanzar una temperatura máxima de 55°C de la fase termófila, luego la temperatura desciende, pasando por la fase mesofila II y maduración hasta que el último registro de la temperatura tiene un valor de 18.2 °C.

El tratamiento C3 muestra una temperatura inicial de 19 °C en la fase mesofila I hasta llegar a una temperatura máxima de 60 °C en su fase termófila, después desciende, pasando por la fase mesofila II y maduración llegando hasta 18.5 °C .

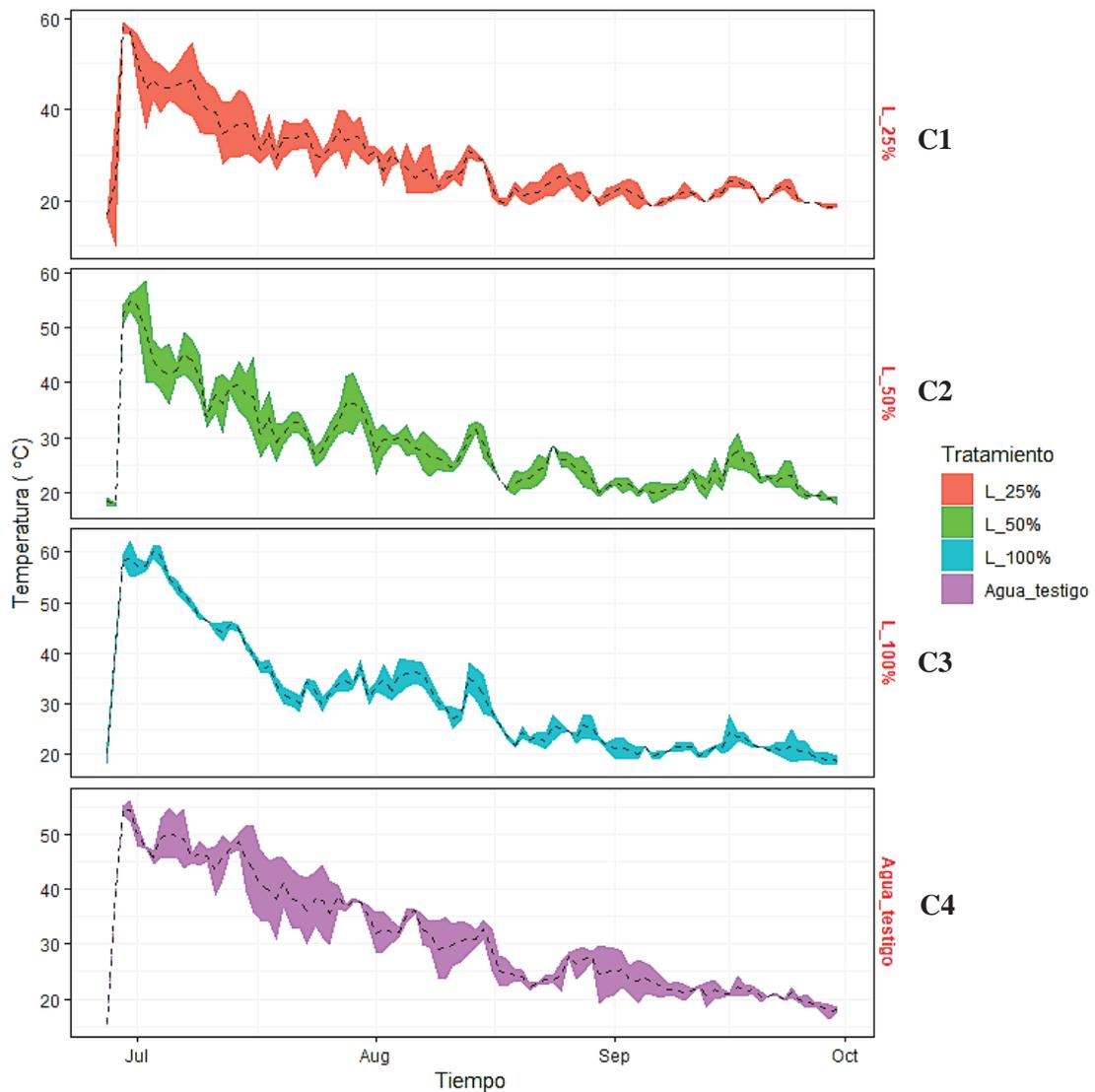


Figura 17. Variación de la temperatura en las pilas de compost.

El tratamiento C4: presenta una temperatura inicial de 18.5 °C en su fase mesofila I hasta llegar a una temperatura máxima de 54.5°C en su fase termófila después desciende, pasando por la fase mesofila II y maduración llegando hasta 18 °C.

Finalmente se observa en la figura 17 la variación de la temperatura durante el proceso de compostaje de los tratamientos C1, C2, C3 y C4 tuvieron una temperatura inicial de 18°C a 19°C en la fase mesofila I, en la fase termófila C3 muestra un mayor valor con 60°C, y C4 menor valor con 54.5°C, al culminar el proceso los cuatro tratamientos presentaron temperaturas entre 18°C a 19°.

Robles M. (2015). Se encontró diferencia significativa teniendo una temperatura inicial con 28.4 °C en el armado de la pila hasta alcanzar una temperatura máxima de 75.3 ° C. y a los 42 días de culminar el proceso compostaje este presento una temperatura de 42 °C, mientras que en la presente investigación se observa una temperatura inicial 18°C cercano a la temperatura ambiental y rápidamente en la segunda semana alcanza una máxima de hasta 60°C, culminado el proceso de compostaje a los 96 días se observó una temperatura de entre 18°C a 19°C, probablemente por el material orgánico inicial, el tiempo del proceso, la diferencia de climas y la alimentación con lixiviados que influyeron.

4.1.2. Variación de la Humedad durante el proceso de compostaje.

La humedad está estrechamente relacionada con la oxigenación y la temperatura.

En la figura 18, muestra la humedad durante el proceso de compostaje de los tratamientos C1, C2, C3 y C4, donde se registró una humedad inicial de 50% en las pilas, alcanzando una humedad máxima a los tres días de C1: 57%, C2:62%, C3:56% y C4:55%, descendiendo en el transcurso del proceso por lo que fue necesario mantener la humedad con el uso de los lixiviados, FAO (2013). La humedad durante el proceso de compostaje es de 40% a 60%, cabe mencionar que durante el transporte y armado de las pilas se tuvo una mayor pérdida de la humedad, al culminar el proceso de compostaje se apreció una humedad de C1 con 27%, C2 con 32%, C3 con 35%, C4 con 31% (anexo 3)

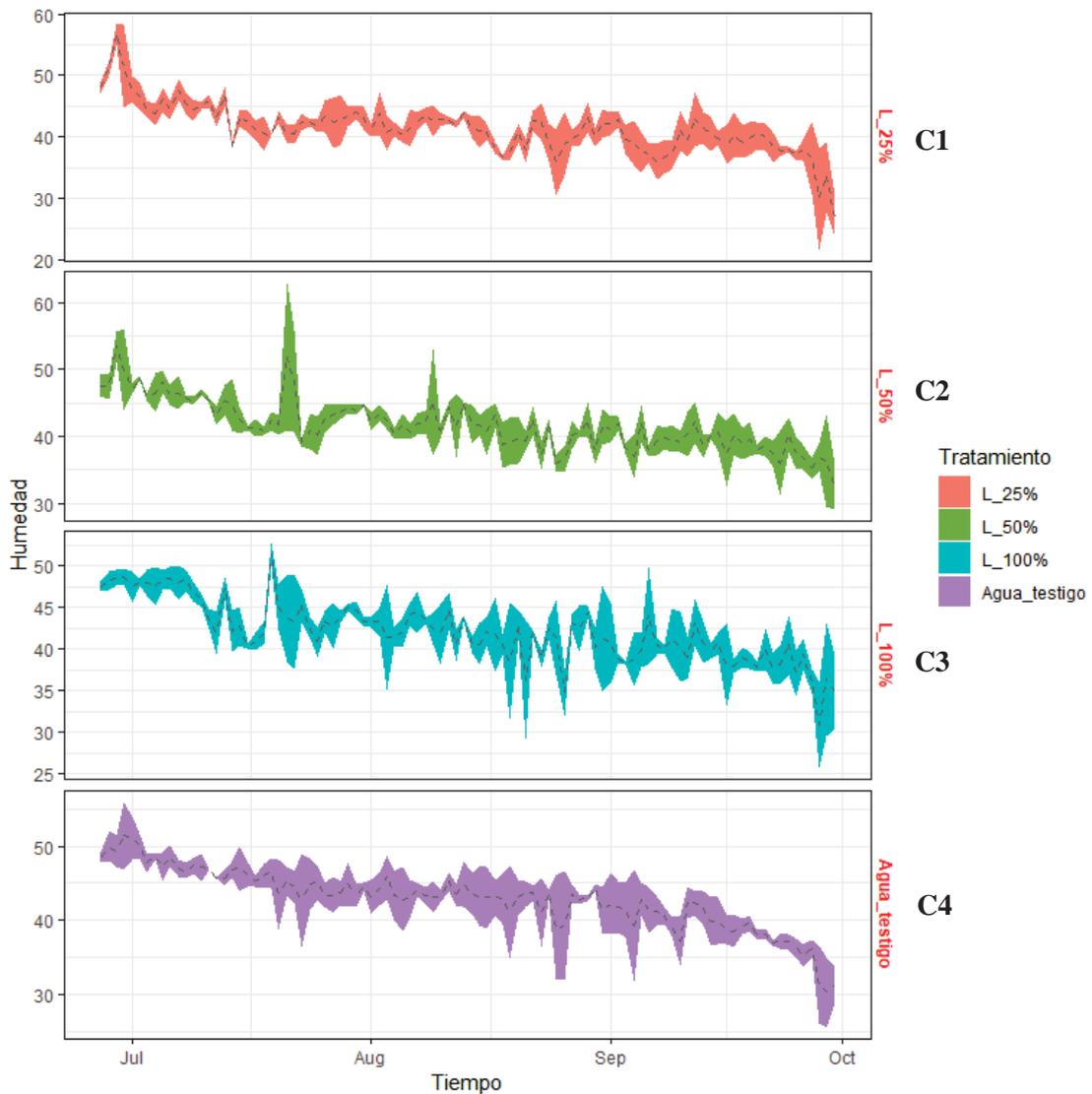


Figura 18. Comportamiento de la humedad en el proceso de compostaje

Robles Mitma (2015). Se mostró un margen entre 70% a 80% y culmina su proceso de compostaje con una humedad de 80%, mientras que en la presente investigación la humedad inicial fue de 50% aumentando al tercer día a 62% por la deshidratación del material orgánicos y al culminar el proceso de compostaje con una humedad de C1 con 27%, C2 con 32%, C3 con 35%, C4 con 31%. Esta se debe a que el material orgánico al inicio entra en deshidratación elevando la humedad en las pilas y se pierde la humedad por acción de los volteos y las elevadas temperaturas.

4.1.3. Variación del pH durante el proceso de compostaje.

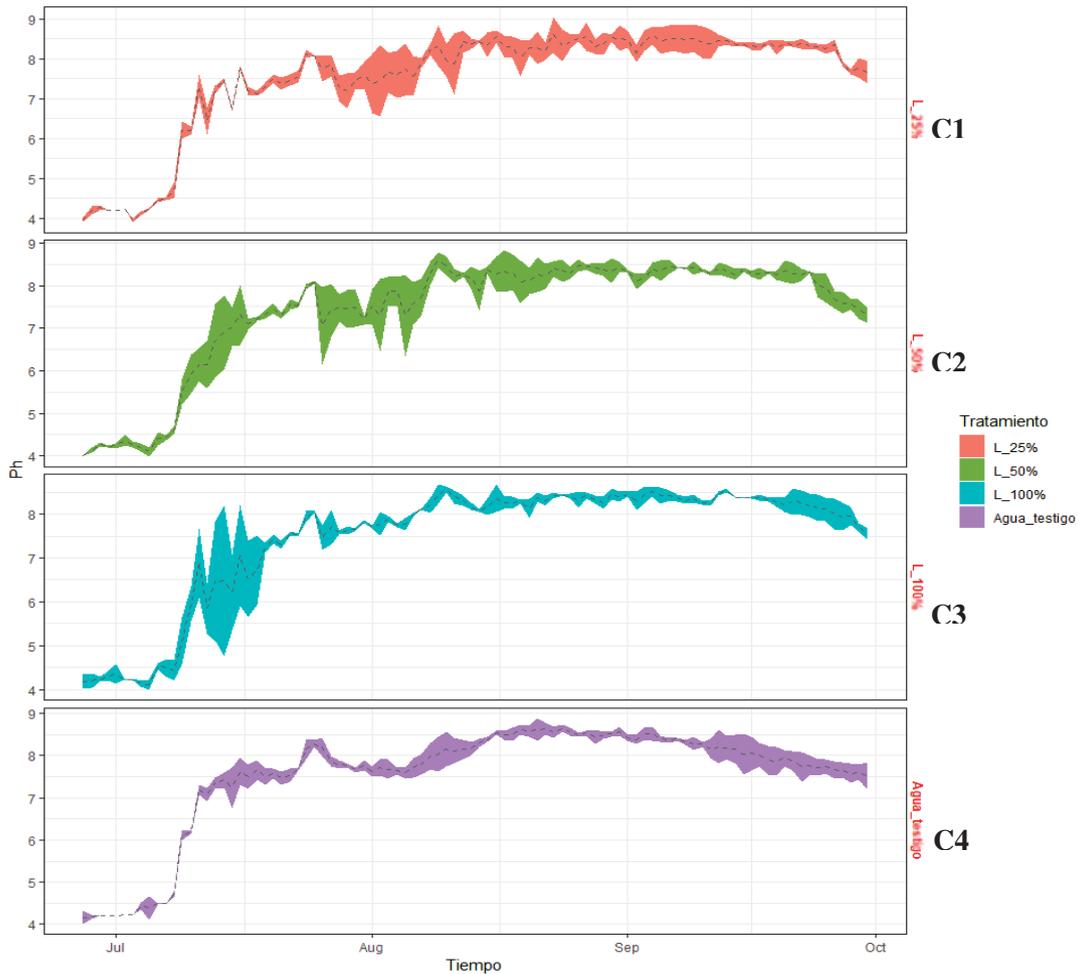


Figura 19. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje.

La figura 19 muestra el pH durante el proceso de compostaje de los tratamientos C1, C2, C3 y C4, donde se observa:

El tratamiento C1 muestra un pH ácido al inicio del proceso con un valor de 3.97, luego se incrementó paulatinamente durante los posteriores 77 días hasta alcanzar un pH alcalino con 8.9, el pH en los últimos 20 días se mantuvo cercano a la neutralidad con un valor de 7.6.

El tratamiento C2 muestra un pH ácido al inicio con un valor de 4, luego se incrementó paulatinamente durante los posteriores 77 días hasta alcanzar un pH alcalino con 9, el pH en los últimos 20 días se mantuvo cercano a la neutralidad con un valor de 7.3.

El tratamiento C3 muestra un pH ácido al inicio con un valor de 4, luego se incrementó paulatinamente durante los posteriores 73 días hasta alcanzar un pH alcalino con 8.5, al culminar el proceso de compostaje el pH muestra un valor cercano a la neutralidad con 7.5.

El tratamiento C4 muestra un pH ácido al inicio con un valor de 4, luego se incrementó paulatinamente durante los posteriores 70 días hasta alcanzar un pH alcalino con 8.6, el pH en los últimos 20 días se mantuvo cercano a la neutralidad con un valor de 7.5.

Robles Mitma (2015). No se encontró diferencia significativa mostrando un pH inicial de 5.4 luego incremento paulatinamente durante los posteriores 20 días hasta alcanzar su punto máximo de pH a 8.1, para que los últimos 13 días descienda hasta un punto 7.4, mientras que en la presente investigación se observa un pH inicial de 4 alcanzando un punto máximo de alcalinidad a los 70 días de 8 a 9 de pH culminando el proceso con un pH de 7.3 a 7.6.

Hernandez (1996), En su investigación efecto de la recirculación de lixiviado en sistema de composteo donde menciona que la recirculación de los lixiviados no altera el patrón de comportamiento normal de 4.5 a 8.5 para el pH, mientras que en la presente investigación se observa un pH de 4 a 9.

4.1.4. Producción del compost.

La tabla 15. Muestra la productividad en el momento de la cosecha de los diferentes tratamientos de compost donde el peso inicial y el peso final de las pilas son similares en los cuatro tratamientos, mientras que la cosecha muestra una diferencia significativa.

Tabla 15. *Productividad del compost*

BLOQUE	C1		C2		C3		C4	
	Peso de inicial	Peso final	Peso inicial	Peso final	Peso inicial	Peso final	Peso inicial	Peso final
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Bloque 1	500	52.0	500	54	500	52.2	500	51
Bloque 2	500	53	500	53	500	54.3	500	51.5
Bloque 3	500	53	500	52	500	53	500	55.5
total	1500	158	1500	159	1500	159	1500	158
porcentaje	10.5%		10.6%		10.6%		10.5%	
Cosecha	C1 (Kg)	cosecha	C2 (Kg)	cosecha	C3 (Kg)	cosecha	C4 (Kg)	cosecha
Compost	158	37.5	159	39.7	159	44.5	158	37
Porcentaje	23.7%		25.0%		28.0%		23.4%	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa la cantidad de cosecha del compost, donde C3 muestra un mayor valor con 44.5 kg debido a que fueron tratados con lixiviados al 100% de concentración, seguido de C2 con 39.7 kg, C1 con 37.5 kg y finalmente C4 con 37kg.

En la figura 20, se observa los tratamientos de compostaje C1, C2, C3 y C4 tuvieron un mismo peso inicial de 1500 kg representado por la barra azul, mientras que su peso final después del proceso de compostaje NO muestran una diferencia significativa, C1 con 158kg. C2 con 159 kg. C3 con 159 kg y C4 con 158 kg representados por las barras color naranja. Así mismo, la línea roja muestra la cosecha (zarandeo) del compost donde C3 muestra un mayor valor con 44.5 kg y con un mínimo valor en C4 con 37 kg.

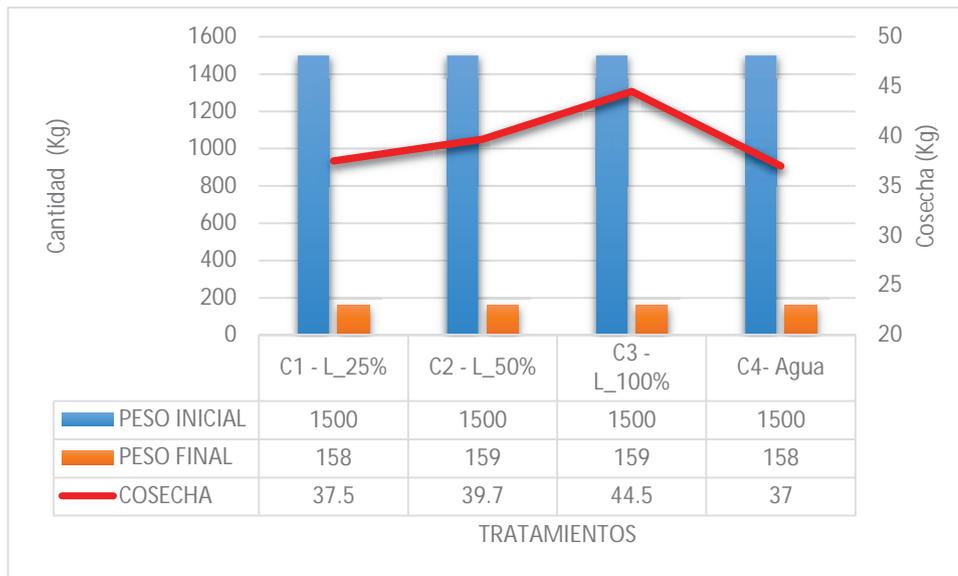


Figura 20. Producción del compost por tratamientos.

Robles M. (2015), donde inicio con 822 kilos de residuos orgánicos y culmino el compostaje con 246.6 kilos de compost y la cosecha con 25.7 kilos representado un 10.4% del peso final, mientras que en la presente investigación se inició con 1500 kilos por tratamiento y se obtuvo un peso final de 159 kilos en C3 con una cosecha de 44.5 kilos que representa un 28% del peso final.

4.2. Concentraciones porcentuales de N, P y K en el compost producido.

Las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fósforo y Potasio fueron analizados en el laboratorio de Análisis Químico de la UNSAAC. Las muestras analizadas fueron: Suelo, lixiviados y compost.

Tabla 16. Resultados físicos y químicos del suelo

ANÁLISIS DE FERTILIDAD						
N°	CLAVE	pH	M.O.	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
1	M-1	8.33	5.4%	0.262%	0.0075%	0.0514%
ANÁLISIS MECÁNICO						
N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL	
1	M-1	68%	28%	4%	franco arenoso	

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Químico - UNSAAC.

En la tabla 16 muestra los resultados del análisis de suelo antes de ser sometidas a los diferentes tratamientos con compost, con un pH de 8.33 ligeramente alcalino, Nitrógeno con 0.262%, Fósforo con 0.0075% y Potasio con 0.0514%, según Lee & Escobar (2000) menciona son bajos debido a que no cumplen con los requerimientos que la lechuga necesita para su desarrollo adecuado, por otro lado presenta una clase textural franco arenoso con arena 68%, limo 28% y arcilla 4% .

Concentraciones porcentuales de N, P, K, de los lixiviados

Tabla 17. Concentración porcentual de N, P, K de los lixiviados

Parámetros	Lixiviado al 25 %	Lixiviado al 50%	Lixiviado al 100%
N %	0.2	0.38	0.66
P₂O₅ %	0.15	0.34	0.55
K₂O %	1.1	1.92	3.55
pH	5.2	5	4.5

Fuente: Elaboración. Laboratorio de Análisis Químico - UNSAAC

De acuerdo a los datos obtenidos de la tabla 17, se observa que las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, aumentan desde 0.2% a 0.38% y 0.66% conforme aumenta la concentración de los lixiviados desde 25%, 50% y 100% respectivamente.

Las concentraciones porcentuales de fósforo aumentan desde 0.15% a 0.34% y 0.55% conforme aumenta la concentración de los lixiviados desde 25%, 50% y 100% respectivamente.

Las concentraciones porcentuales de potasio aumentan desde 1.1% a 1.92% y 3.55% conforme aumenta la concentración de los lixiviados desde 25%, 50% y 100% respectivamente.

Por otro lado el pH presenta valores de 5.2, 5 y 4.5

Concentraciones porcentuales de N, P, K, del compost

La tabla 18 muestra los análisis de laboratorio de los diferentes tratamientos de compost C1, C2, C3 y C4 donde se evaluó las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, relación C/N, porcentaje de Materia Orgánica y pH, se realizó una comparación con los rangos de los parámetros que indican la FAO 2013.

Tabla 18. Análisis Físico químico de los diferentes tratamientos de compost.

PARAMETROS	Rangos	C1	C2	C3	C4
	FAO-2013	(L_25%)	(L_50%)	(L_100%)	(Agua)
N %	0,3 % - 1,5%	1,82	1.88	1.92	1.78
P ₂ O ₅ %	0,1% - 1,0%	2.02	2.07	2.16	1.65
K ₂ O %	0,3 % - 1,0%	0,46	0.56	0.7	0.55
Relación C/N	10:1 - 15:1	22.6	21.22	19.62	24.1
Materia orgánica %	> 20	36.6	38.4	37.2	38.1
pH	6,5 - 8,5	7.5	7.6	7.35	7.5

Fuente: Elaboración propia. Laboratorio de Análisis Químico - UNSAAC

Donde C3 presenta mayores concentraciones porcentuales de N, P, K en comparación a los demás tratamientos y según los rangos de la FAO-2013.

La concentración porcentual de Nitrógeno obtenido en C3 tratados con lixiviados al 100% de concentración presento un valor de 1.92% mientras que la FAO, (2013) menciona valores de 0.3 a 1.5%, donde se observa una superioridad al rango establecido por la FAO.

La concentración porcentual de Fósforo de C3, tratados con lixiviados al 100% de concentración, presento un valor de 2.16%, mientras que la FAO (2013) muestra valores de 0.1 a 1.0%. Así mismo el Potasio obtenido en C3, presento un valor con 0.7% mientras que la FAO, (2013) muestra valores de 0.3 a 1%, esto es debido al uso de lixiviados en diferentes concentraciones en el proceso de compostaje, donde se observó que, a mayor

concentración de lixiviados, mayores son las concentraciones porcentuales de Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

Según Ortiz & Gonzalez (2015) En su investigación tratamiento de residuos orgánicos, se encontró una ligera diferencia significativa en su análisis químicos de laboratorio para el compost tradicional (sin tratamiento) donde obtuvo N=1.7%, P=0.75% y K=0.49%, mientras que la presente investigación en el análisis químico del compost testigo (sin tratamiento) se obtuvo N=1.78% P₂O₅=0.165% K₂O=0.55%.

Cantidad de aplicación del compost.

La tabla 19 muestra la cantidad aplicada de compost a las parcelas en kilos por metro cuadrado (kg/m²) de acuerdo a la absorción de nutrientes de *Lactuca sativa* y con los resultados obtenidos de la concentración porcentual de N, P y K, la aplicación fue en una cantidad de 3kg/m², donde se utilizó 7.68 kg de compost por parcela, para acercarnos a los niveles propuestos por Lee & Escobar, (2000) N=9%, P₂O₅=3.91% y K₂O =15.84%.

Donde T3 muestra concentraciones porcentuales de N, P y K cercanos a la propuesta por Lee & Escobar con Nitrógeno de 6,022%, Fosforo con 8.463% y Potasio con 2.151%.

Tabla 19. Absorción de nutrientes para *Lactuca sativa*.

Tratamiento	caracteres	N %	P₂O₅ %	K₂O %
T1	3 kg/m ² compost	5.46	6.06	1.38
	suelo	0.262	0.0075	0.0514
	Total 1	5.72	6.067	1.431
T2	3 kg/m ² compost	5.64	6.21	1.68
	suelo	0.262	0.0075	0.0514
	Total 2	5.902	6.217	1.731
T3	3 kg/m ² compost	5.76	8.46	2.1
	suelo	0.262	0.0033	0.0514
	Total 3	6.022	8.463	2.151
T4	3 kg/m ² compost	5.34	4.95	1.65
	suelo	0.262	0.0075	0.0514
	Total 4	5.602	4.95	1.701
T5	suelo	0.262	0.0075	0.0514
	Total 5	0.262	0.0075	0.0514

Fuente: Elaboración propia de acuerdo al Laboratorio de la UNSAAC.

Una menor cantidad de 2kg/m² de compost mostraría deficiencia de nitrógeno, produciendo plantas cortas, hojas más pequeñas, hojas sin brillo, hojas inferiores amarillas, decoloración, caída de las hojas, Floración prematura y baja producción, por el contrario a una mayor cantidad de 4kg/m² mostraría un exceso de fosforo lo cual produciría hojas delgadas, desarrollo de clorosis en hojas nuevas y quemaduras en las puntas, disminución de la cosecha, deficiencias en micronutrientes de Zinc, Hierro, calcio y magnesio, las puntas de las raíces presentan una muerte regresiva, Remedí de Souza, (2002).

4.3. Efecto del compost en la producción de *Lactuca sativa*.

Porcentaje del prendimiento

La tabla 20 muestra el prendimiento de *Lactuca sativa*, donde T3 presento un mayor porcentaje con 94.4%; T2 con 90.7%; T1 con 89.8%; T4 con 79.6% y T5 con un menor porcentaje de prendimiento de 76.9%

Tabla 20. Porcentaje de prendimiento en *Lactuca sativa*.

bloque	T1	T2	T3	T4	T5
bloque 1	31	34	32	27	26
bloque 2	33	28	34	24	26
bloque 3	33	36	36	35	31
total	97	98	102	86	83
PRENDIMIENTO	89.8%	90.7%	94.4%	79.6%	76.9%

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 muestra el número de lechugas, habiéndose trasplantado 36 plántulas al inicio en cada parcela haciendo un total de 108 plántulas por tratamiento, el prendimiento muestra el número de lechugas que prendieron en cada parcela donde T3 con 102 lechugas presento un mayor porcentaje de prendimiento con 94.4% a diferencia de los demás tratamientos

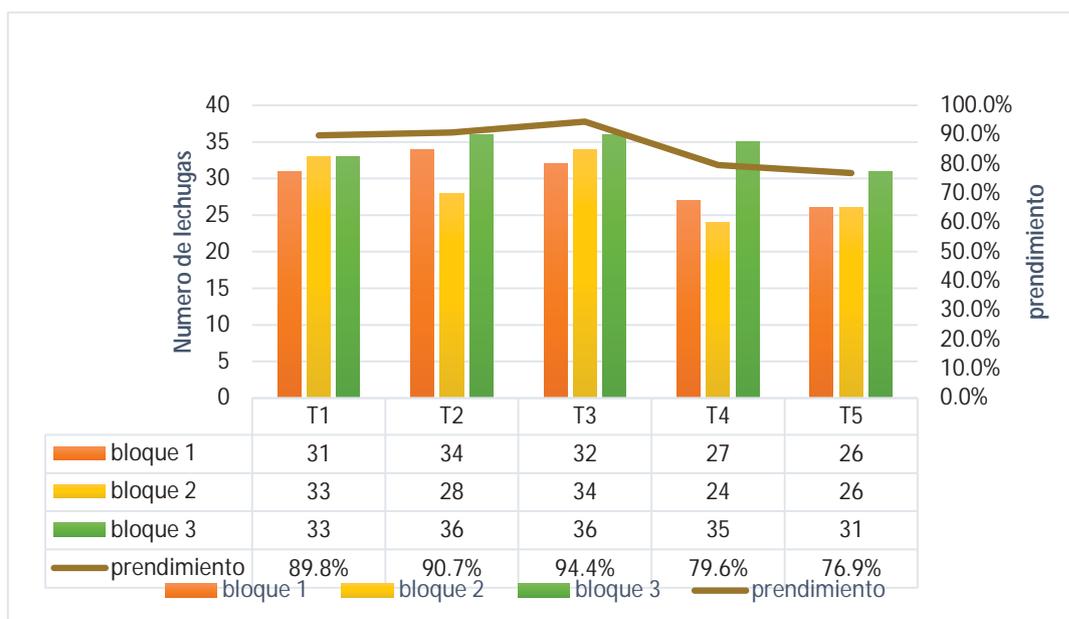


Figura 21. Porcentaje de prendimiento en *Lactuca sativa*.

Biomasa fresca y seca de *Lactuca sativa*

La tabla 21, muestra la biomasa fresca y seca de *Lactuca sativa*, posterior a la cosecha, como: peso fresco total, peso seco total, peso fresco de hoja, peso seco hoja, peso fresco tallo, peso seco tallo, número de hojas, altura y biomasa. Donde se aprecia que T3 (parcelas con compost tratados al 100% de concentración de lixiviado), resalta sobre los demás tratamientos en las características antes mencionadas.

Así mismo se aprecia los valores de T4 (parcela abonada con compost testigo tratado con agua) presentan valores bajos en comparación a los demás tratamientos.

Tabla 21. Características de la biomasa fresca y seca de la lechuga.

N°	Biomasa fresco total (gr)	Biomasa fresco hoja (gr)	Biomasa seco hoja (gr)	Biomasa fresco tallo (gr)	Biomasa seco tallo (gr)	Biomasa seco total (gr)	Numero de hojas	Altura de lechuga (cm)
T1	246.4	225.2	8.1	21.2	1.9	10.0	19	23.9
T2	253.2	230.0	8.1	23.2	1.9	10.0	20	23.9
T3	364.2	327.0	10.3	37.2	3.1	13.4	24	27.5
T4	225.0	204.5	6.9	20.5	1.7	8.6	19	24.3
T5	195.8	180.3	6.6	15.5	1.3	7.9	19	23.7

Fuente: Elaboración propia.

Normalidad y homogeneidad de varianza

Tabla 22. Prueba de normalidad y homogeneidad

N°	Características	Test de normalidad	Test de varianza
1	Altura	normal	Homogénea
2	Numero de hojas	not_normal	Heterogénea
3	biomasa fresca total	normal	Homogénea
4	biomasa fresca de hojas	normal	Homogénea
5	biomasa fresca de tallo	not_normal	Homogénea
6	biomasa seca total	normal	Homogénea
7	biomasa seca de hojas	normal	Homogénea
8	biomasa seca de tallo	not_normal	Homogénea

Fuente: Elaboración propia con el uso del programa “R”

La tabla 22 muestra los resultados de la prueba de normalidad y homogeneidad de varianza de las características: Altura, Biomasa fresca total, Biomasa fresca de las hojas, Biomasa seca total, Biomasa seca de las hojas, las cuales presentaron una Distribución Normal y Varianza Homogénea entre los diferentes tratamientos, por lo que todas estas características serán evaluadas con pruebas paramétricas **ANOVA**.

Mientras las características: Número de hojas, Biomasa fresca y Biomasa seca del tallo; presentaron una Distribución No Normal. En este caso se utilizó la prueba **no paramétrica de Kruskal**.

Análisis de Varianza Paramétrico - ANOVA

Tabla 23. Análisis de varianza Paramétrico – ANOVA

carácter	p.value	ANOVA
Biomasa fresca lechuga	0.0000000	diff_means
Biomasa fresca de hojas	0.0000000	diff_means
Biomasa seca de hojas	0.0001874	diff_means
Biomasa seca lechuga	0.0000069	diff_means
Altura	0.0007908	diff_means

De la tabla 23, se aprecia el resultado de la prueba ANOVA donde se puede ver que al menos uno de los tratamientos presenta una media diferente a la de los demás tratamientos en todas las características evaluadas con un nivel de confianza al 95%. Todos los “p” valor < 0.05.

a) biomasa fresca sin raíz de la lechuga.

La figura 22, muestra las Medias del peso fresco de la lechuga sin raíz, donde T3 (parcelas con compost que fueron alimentadas con lixiviados al 100% de concentración) presento un mayor valor con 364.2gr/unidad; Seguido de T2 con 253.2gr/unidad; T1 con 246.4gr/unidad; T4 con 225gr/unidad y T5 la parcela testigo con 195.8gr/unidad.

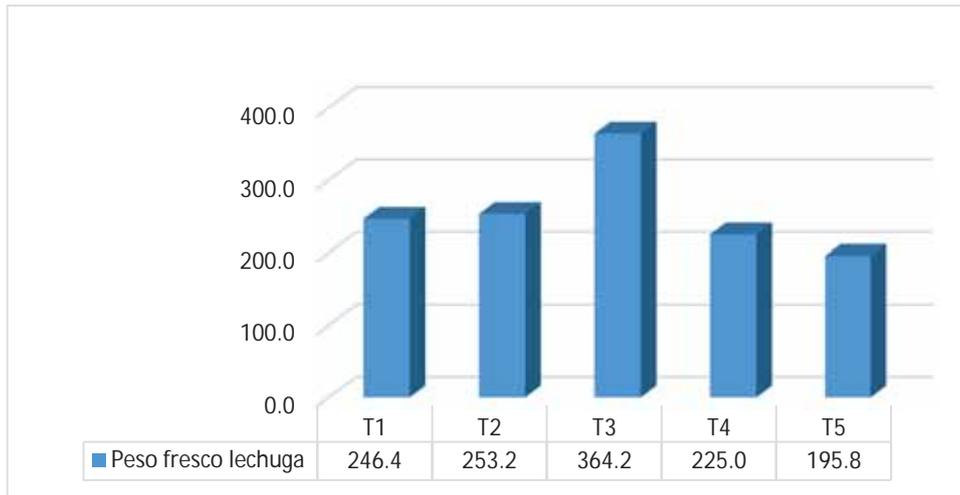


Figura 22. Biomasa fresca de la lechuga.

Boxplot de la biomasa fresca de la lechuga

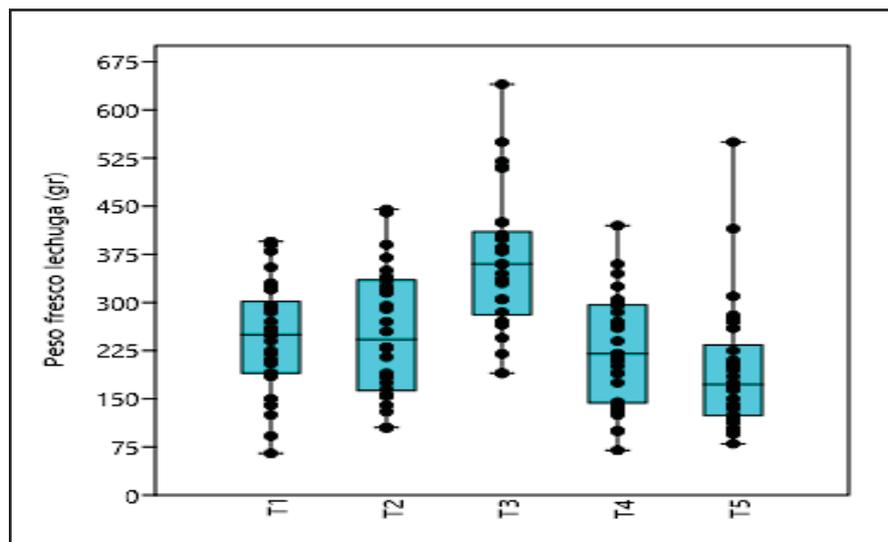


Figura 23. Box Plot de la biomasa fresca de la lechuga sin datos atípicos.

Tabla 24. Cuartiles de la biomasa fresca de la lechuga.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	65	105	190	70	80
Q1	194	168	290	153	128
Mediana	250	243	360	220	173
Q3	295	333	404	293	221
Max	395	445	640	420	550
RIC	101	165	114	140	93.8
N	30	30	30	30	30

La figura 23, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir el rendimiento de la biomasa fresca de la lechuga en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte inferior de la caja entre Q1 (290gr/unidad) y la mediana con (360gr/unidad) y el valor extremo alto aparece hacia la parte superior a partir de la mediana hasta Q3 con (404gr/unidad) por otro lado a asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1 y el bigote superior disminuye; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a disminuir.

Por otro lado el Box Plot muestra el avance del 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 o mediana (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

b) Biomasa fresca de las hojas.

La figura 24, muestra la media de la biomasa fresca de las hojas, donde T3 (parcelas con compost que fueron alimentadas con lixiviados al 100% de concentración) presenta un mayor valor con 327gr/unidad; continuado de T2 con 230gr/unidad; T1 con 225.2gr/unidad; T4 con 204.5gr/unidad y con una menor media T5 con 180.3gr/unidad.

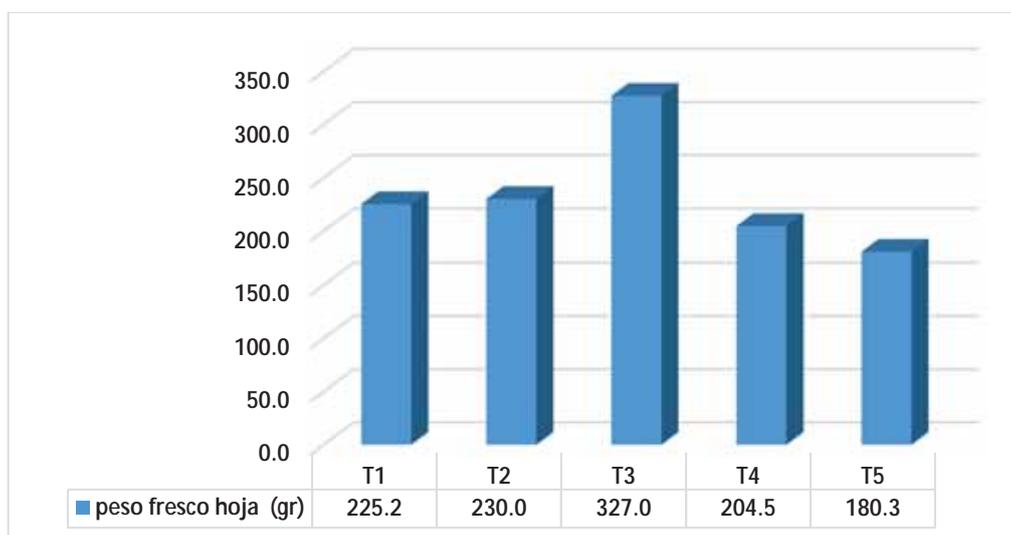


Figura 24. *Biomasa fresca de la hoja.*

Box plot de biomasa fresca de la hoja

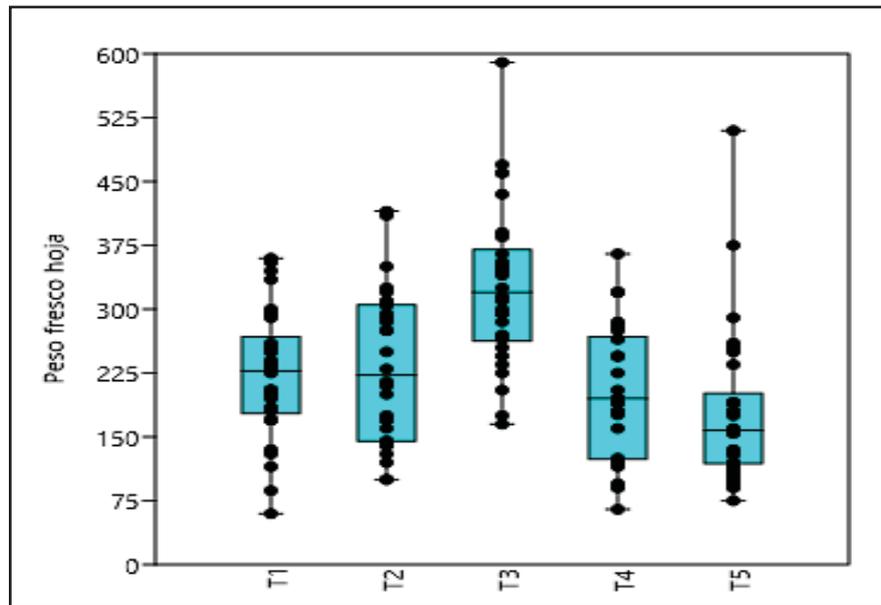


Figura 25. Box Plot de la biomasa fresca de la hoja.

Tabla 25. Cuartiles de la biomasa fresca de la hoja.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	60	100	165	65	75
Q1	181	149	266	134	120
Mediana	228	223	320	195	158
Q3	259	303	363	265	190
Max	360	415	590	365	510
RIC	77.5	154	96.3	131	70
N	30	30	30	30	30

La figura 25, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo la biomasa fresca de la hoja en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte inferior de la caja, entre Q1 (266gr/unidad) y la mediana con (320gr/unidad), por otro lado la asimetría tiende a disminuir ligeramente cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1 y el bigote superior disminuye; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a disminuir.

Por otro lado el Box Plot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

c) Biomasa seca de la hoja

La figura 26, muestra la media de la biomasa seca de la hoja, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) presenta un mayor valor con 10.3gr/unidad; seguido de T2 con 8.1gr/unidad; seguido de T1 con 8.1 gr/unidad; seguido de T4 con 6.9gr/unidad y con una menor media T5 con 6.6gr/unidad.

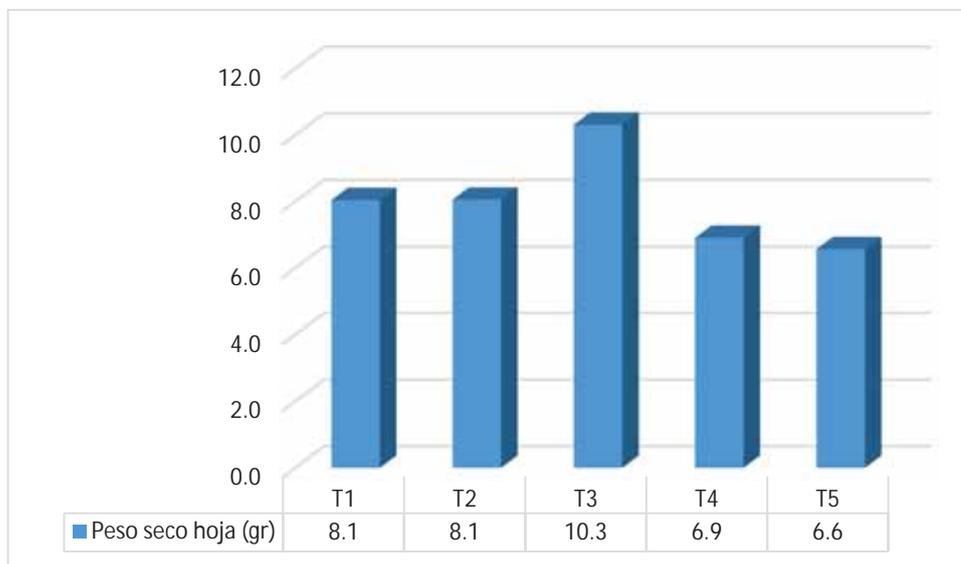


Figura 26. Biomasa seca de las hojas.

Box plot de la biomasa seca de la hoja

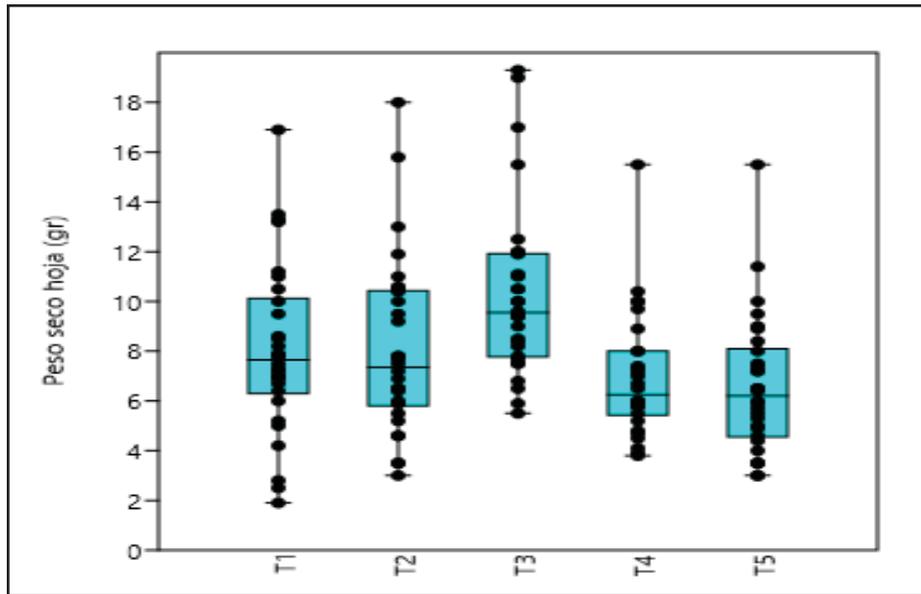


Figura 27. Box Plot de biomasa seca de la hoja

Tabla 26. Cuartiles de la biomasa seca de la hoja.

cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	1.9	3	5.5	3.8	3
Q1	6.48	5.9	7.9	5.58	4.68
Mediana	7.65	7.35	9.55	6.25	6.2
Q3	9.88	10.3	11.7	7.85	7.88
Max	16.9	18	19.3	15.5	15.5
RIC	3.4	4.4	3.8	2.28	3.2
N	30	30	30	30	30

La figura 27, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir la biomasa seca de la hoja en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte superior de la caja, entre la mediana con (9.55gr/unidad) y Q3 con (11.7gr/unidad), por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote; T1, la mediana se aproxima más a Q1 y el bigote inferior disminuye; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a disminuir sustancialmente.

Por otro lado el Boxplot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

d) Biomasa seca de la lechuga sin raíz

La figura 28, muestra la media del biomasa seca de la lechuga sin raíz, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) presenta un mayor valor con 13.4gr/unidad; continuado de T2 con 10gr/unidad; T1 con 10gr/unidad; T4 con 8.6gr/unidad y una menor media de T5 con 7.9 gr/unidad.

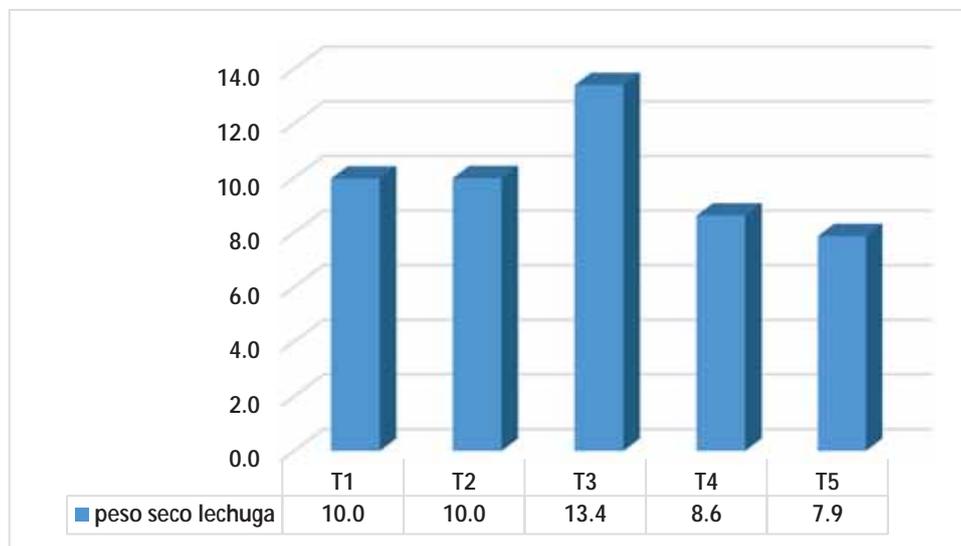


Figura 28. Biomasa Seca de la lechuga sin raíz

Boxplot de biomasa seca de la lechuga sin raíz.

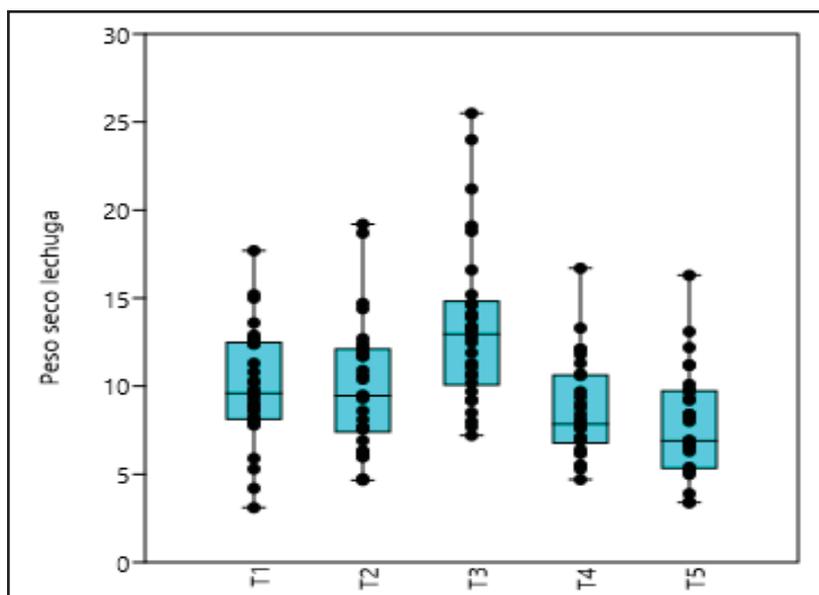


Figura 29. Biomasa seca de lechuga sin raíz.

Tabla 27. Cuartiles de la biomasa seca de la lechuga.

cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	3.15	4.66	7.16	4.73	3.42
Q1	8.22	7.56	10.3	6.91	5.64
Mediana	9.59	9.43	13	7.88	6.93
Q3	12.4	12	14.6	10.3	9.58
Max	17.7	19.2	25.5	16.7	16.3
RIC	4.21	4.44	4.29	3.43	3.94
N	30	30	30	30	30

La figura 29, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir la biomasa seca de la lechuga en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte inferior de la caja, entre Q1 con (10.3gr/unidad) y la mediana con (13gr/unidad) y el bigote inferior tiende a disminuir, por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a disminuir sustancialmente.

Por otro lado el Boxplot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

e) **Altura de la lechuga**

La figura 30, muestra la media de la altura de la lechuga de los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) presenta un mayor valor con 27.5 cm; seguido de T4 con 24.3 cm; seguido de T2 con 23.9 cm; seguido de T1 con 23.9 cm y una menor media de T5 con 23.7 cm.

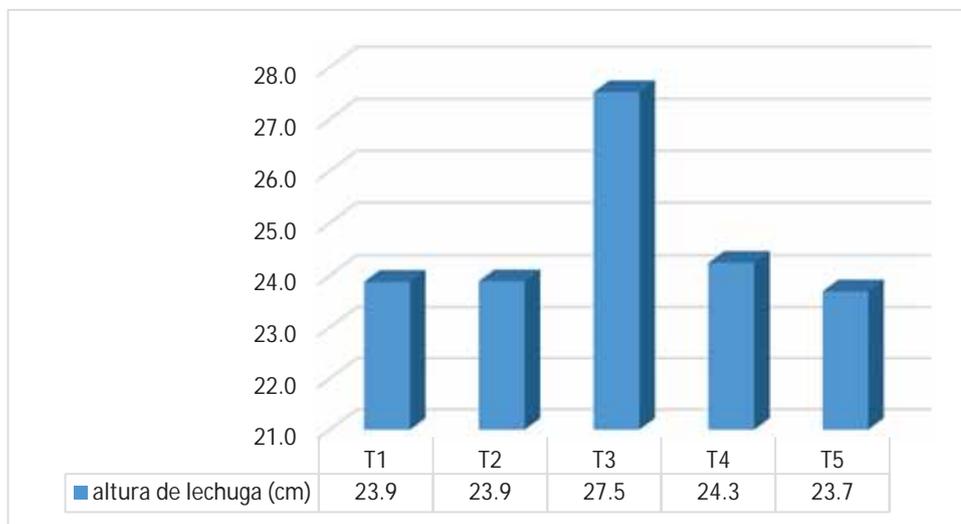


Figura 30. Altura de la lechuga.

Box plot de la altura de la lechuga.

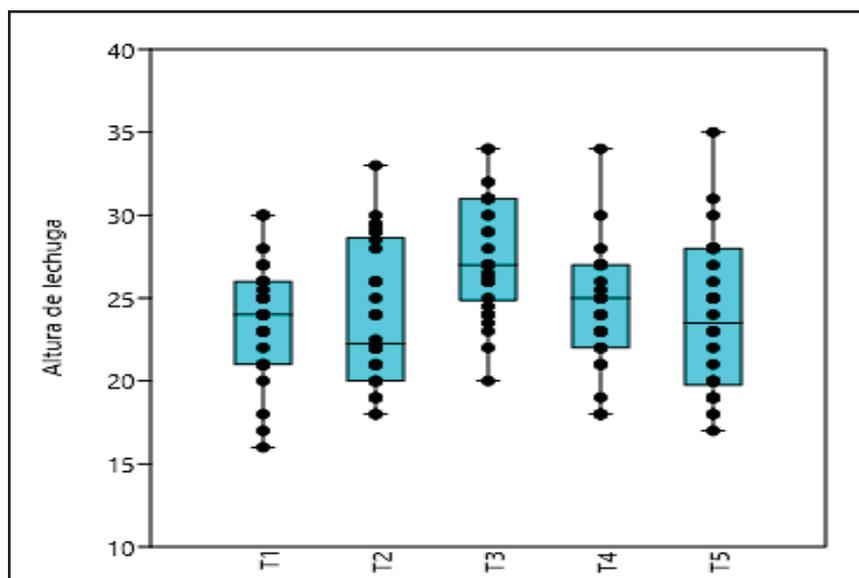


Figura 31. Altura de la lechuga.

Tabla 28. Cuartiles de la altura de la lechuga.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	16	18	20	18	17
Q1	21	20	25	22	20
Mediana	24	22	27	25	24
Q3	26	28	31	27	28
Max	30	33	34	34	35
RIC	4.8	8.1	5.5	4.5	7.8
N	30	30	30	30	30

La figura 31, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir el rendimiento en la altura de la lechuga en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte superior de la caja, entre Q2 la mediana con (27cm/unidad) y Q3 con (31cm/unidad), por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a

Q3; en T4 la mediana se aproxima a Q3 y T5 la mediana se aproxima ligeramente a Q1 y el bigote inferior tiende a disminuir.

(Cardeña, 2012) En su investigación efecto de tres tipos de biol en *Lactuca sativa* L., para el tratamiento Biol 03 (33%EV + 33%BR + 33% Agua) a una densidad de 0.30m entre plantas obtuvo 22.23cm de altura, en comparación al presente estudio para el tratamiento T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) se obtuvo una media de 27.5cm de altura por planta, un tanto superior, debido probablemente a las características propias de las variedades de *Lactuca sativa*.

COMPARACIONES MULTIPLES TUKEYHSD

a) Análisis comparativo de Tukey para biomasa fresca de la lechuga.

Tabla 29. Comparaciones múltiples Tukey para biomasa fresca total

Carácter	Comparaciones	p. valor	tukey_test
Biomasa fresca lechuga	T3 – T1	0.0003920	a
Biomasa fresca lechuga	T3 – T2	0.0001654	b
Biomasa fresca lechuga	T3 – T4	0.0000000	c
Biomasa fresca lechuga	T3 – T5	0.0000029	d

La tabla 29, muestra la *Prueba de Tukey de Combinación* para la biomasa fresca de la lechuga sin raíz, donde T3, parcelas abonadas con compost que fueron alimentadas con el 100% de concentración de lixiviados, en comparación con los demás tratamientos muestran valores de $p > 0.05$, resultando una diferencia de medias.

b) Análisis comparativo de Tukey para biomasa fresca de la hoja

Tabla 30. Comparaciones múltiples Tukey para Biomasa fresca de la hoja.

Carácter	Comparaciones	p.valor	tukey_test
Biomasa fresca de hojas	T3 – T1	0.0007806	a
Biomasa fresca de hojas	T3 – T2	0.0002138	b
Biomasa fresca de hojas	T3 – T4	0.0000000	c
Biomasa fresca de hojas	T3 – T5	0.0000042	d

La tabla 30 muestra la *Prueba de Tukey de Combinación* para la biomasa fresca de la hoja, donde, T3, parcelas con compost alimentadas con 100% de concentración de lixiviados, en comparación con los demás tratamientos muestran valores de $p > 0.05$ resultando una diferencia de medias.

c) Análisis comparativo de Tukey para biomasa seca de la hoja

Tabla 31. Comparaciones múltiples Tukey para biomasa seca de la hoja.

Carácter	Comparaciones	p.valor	tukey_test
Biomasa seca de hojas	T3 – T4	0.0006518	a
Biomasa seca de hojas	T3 – T5	0.0398557	b
Biomasa seca de hojas	T3 – T1	0.0450741	c
Biomasa seca de hojas	T3 – T2	0.0002618	d

La tabla 31 muestra la *Prueba de Tukey de Combinación* para la biomasa seca de la hoja, donde se observa que T3, parcelas con compost alimentados con lixiviados al 100% de concentración, en comparación con los demás tratamientos muestran los valores de $p > 0.05$ resultando una diferencias de medias.

d) Análisis comparativo de Tukey para biomasa seca de la lechuga

Tabla 32. Comparaciones múltiples Tukey para Biomasa seca de la lechuga.

Carácter	Comparaciones	p.valor	tukey_test
Biomasa seco total	T3 – T1	0.0046613	a
Biomasa seco total	T3 – T2	0.0000812	b
Biomasa seco total	T3 – T4	0.0000093	c
Biomasa seco total	T3 – T5	0.0036000	d

La tabla 32 muestra la *Prueba de Tukey de Combinación* para la Biomasa seca total, donde se observa que T3, parcelas con compost alimentadas con lixiviados al 100% de concentración, en comparación con los demás tratamientos muestran valores de $p > 0.05$ resultando una diferencias de medias

e) Análisis comparativo de Tukey para la altura de la lechuga

Tabla 33. Comparaciones múltiples Tukey para la altura de la lechuga.

Carácter	Comparaciones	p.valor	tukey_test
Altura	T3 – T1	0.0043861	a
Altura	T3 – T2	0.0049753	b
Altura	T3 – T4	0.0020400	c
Altura	T3 – T5	0.0162160	d

La tabla 33 muestra la *Prueba de Tukey de Combinación* para la altura de la lechuga, donde se observa que T3, parcelas con compost alimentados al 100% de concentración de lixiviados, en comparación con los demás tratamientos muestran los valores de $p > 0.05$, resultando una diferencia de sus medias.

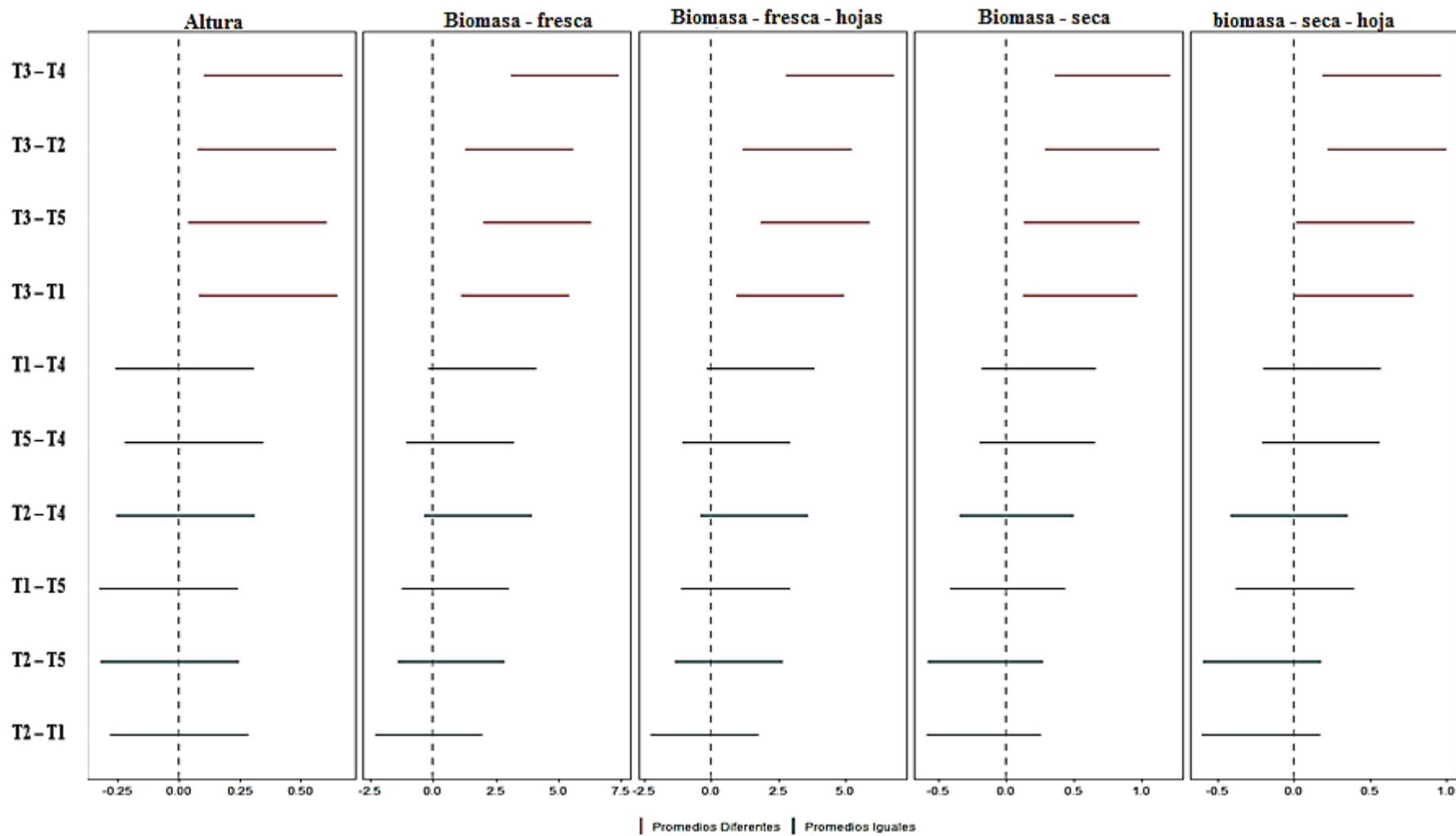


Figura 32. Combinaciones múltiples de Tukey.

La figura 32, muestra la prueba de combinaciones múltiples de Tukey, de los diferentes tratamientos, la línea roja representan los promedios diferentes y la línea azul a los promedios iguales donde, T3 (parcelas con compost alimentados al 100% de concentración de lixiviados) muestran diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos.

Mientras que los tratamientos T1, T2, T4 y T5 muestran promedios similares representados con las líneas azules.

Análisis de Varianza no Paramétrico - Prueba Kruskal

Tabla 34. *Resultados del test de Kruskal*

Carácter	statistic	p.valor	sigf
Biomasa fresca tallo	34.73327	0.0000005	diff
Biomasa seca tallo	34.73327	0.0000005	diff
Numero hojas	11.70921	0.0196499	diff

La tabla 34, muestra el resultado del test de Kruskal para las características no paramétricas donde los resultados muestran que en todas las características al menos uno de los tratamientos presenta una media estadísticamente diferente. Donde todos los valores de p son menores a 0.05.

a) Biomasa fresca del tallo

La figura 33, muestra la media de la biomasa fresca del tallo, donde T3 (parcelas con compost alimentados al 100% de concentración de lixiviados) muestra un mayor rendimiento con 37.2gr/unidad; continuado de T2 con 23.2gr/unidad; continuado de T1 con 21.2gr/unidad; continuado de T4 con 20.5gr/unidad y T5 con un menor valor de 15.5gr/unidad.

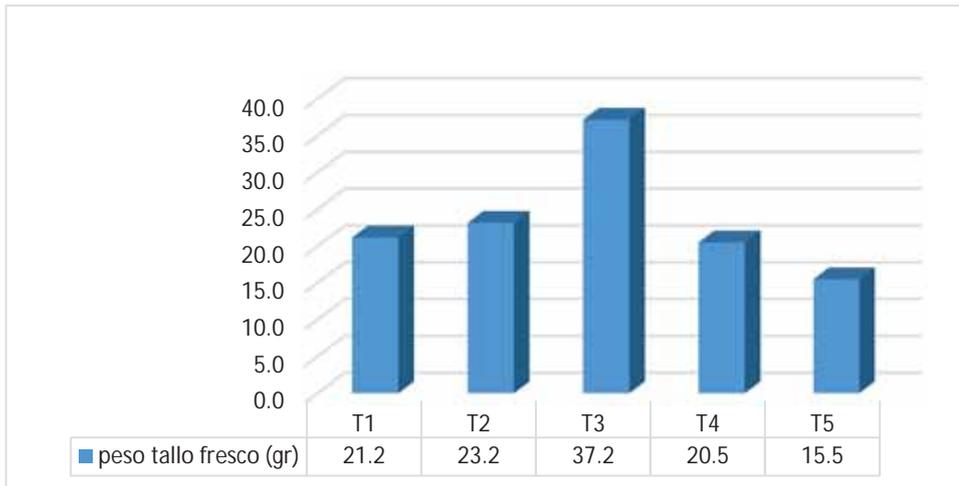


Figura 33. Biomasa fresca del tallo.

Box plot de la biomasa fresca del tallo

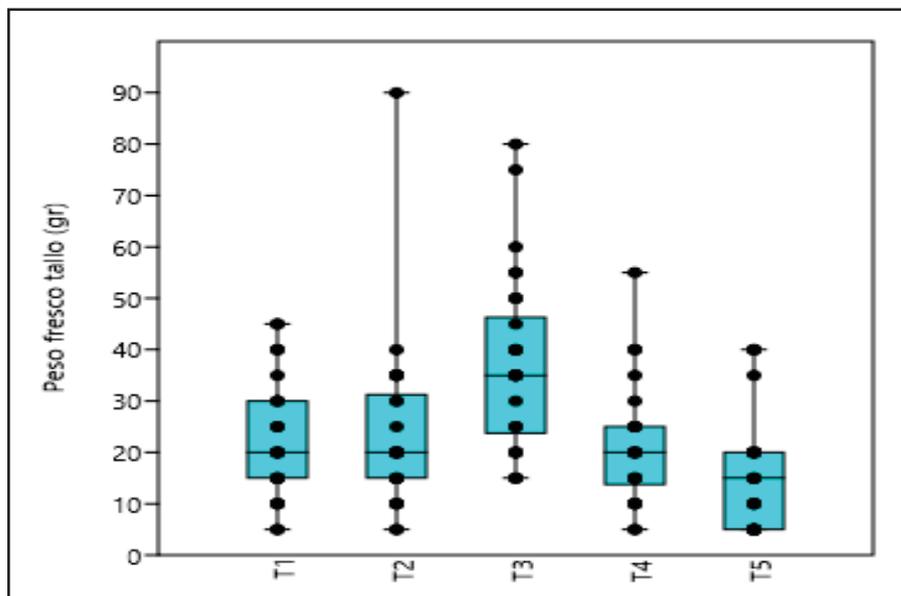


Figura 34. Box Plot de Biomasa fresca del tallo.

Tabla 35. Cuartiles de la biomasa fresca del tallo.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	5	5	15	5	5
Q1	15	15	25	15	5
Mediana	20	20	35	20	15
Q3	28.8	30	43.8	25	20
Max	45	90	80	55	40
RIC	13.8	15	18.8	10	15
N	30	30	30	30	30

La figura 35, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir el rendimiento en la biomasa fresca del tallo en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte superior de la caja, la mediana Q2 con (35gr/unidad) y Q3 con (43.8gr/unidad) el bigote inferior tiende a disminuir, por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a desaparecer.

Por otro lado el Boxplot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

b) Biomasa seca del tallo de la lechuga

La figura 35, muestra la media de la biomasa seca del tallo de la lechuga, donde T3 presenta un mayor rendimiento con 3.1gr; seguido de T2 con 1.9gr; seguido de T1 con 1.9 gr; seguido de T4 con 1.7 gr y T5 con un menor valor de 1.3gr.

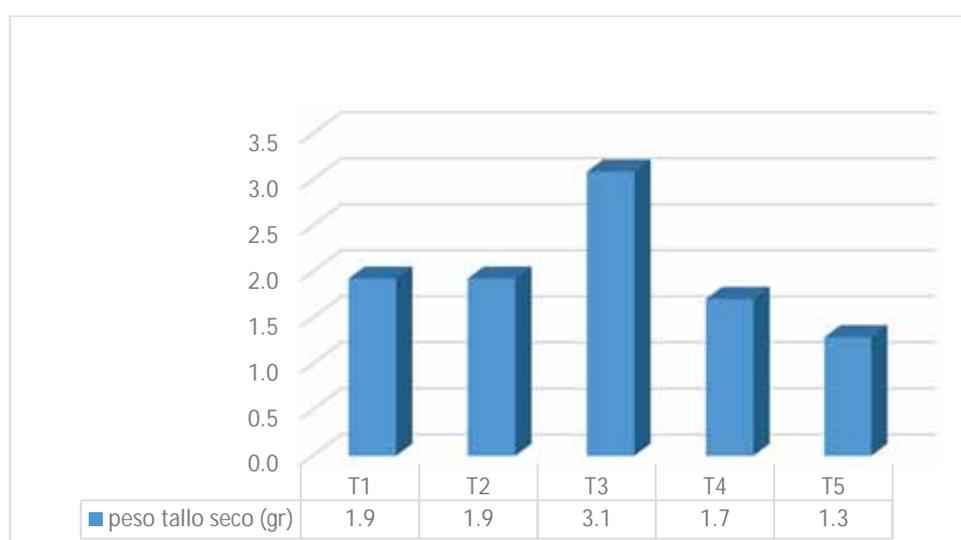


Figura 35. Biomasa seca del tallo.

Boxplot de la biomasa seca del tallo

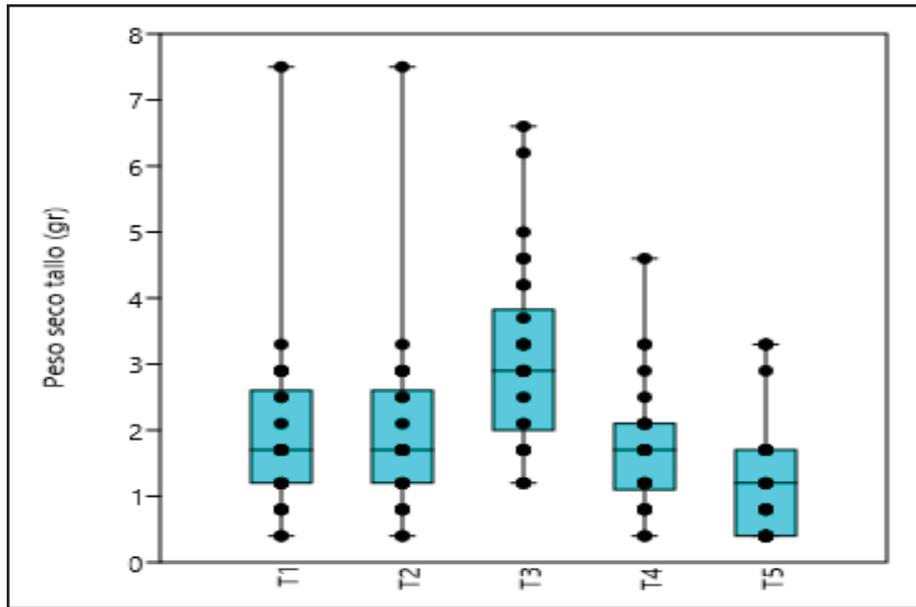


Figura 36. Box Plot de la Biomasa seca del tallo.

Tabla 36. Cuartiles de la biomasa seca del tallo.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	0.42	0.42	1.25	0.42	0.42
Q1	1.25	1.25	2.08	1.25	0.42
Mediana	1.66	1.66	2.91	1.66	1.25
Q3	2.49	2.49	3.63	2.08	1.66
Max	7.47	7.47	6.64	4.57	3.32
RIC	1.25	1.25	1.56	0.83	1.25
N	30	30	30	30	30

La figura 36, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir el rendimiento de la biomasa seca del tallo en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte superior de la caja, la mediana Q2 con (2.91gr/unidad) y Q3 con (3,63gr/unidad) el bigote inferior tiende a disminuir, por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a desaparecer.

Por otro lado el Boxplot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

c) Numero de hojas

La figura 37, muestra la media del número de hojas de la lechuga, donde T3 presenta un mayor valor con 24 hojas; seguido de T2 con valor de 20 hojas; seguido de T1 con valor de 19 hojas; seguido de T4 con un valor de 19 hojas y T5 con un menor valor de 19 hojas.

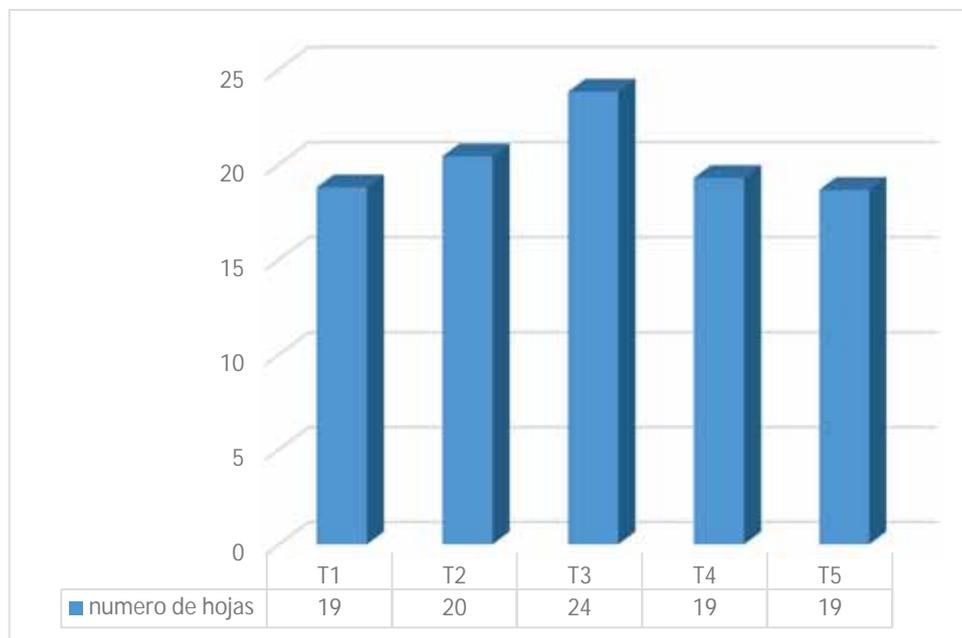


Figura 37. Numero de hojas.

Box Plot del número de hojas.

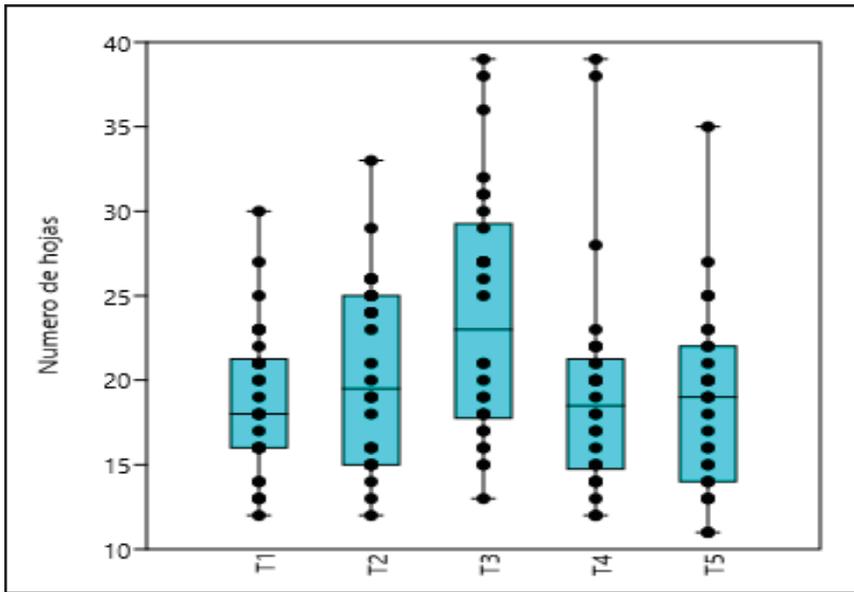


Figura 38. Box Plot del Número de hojas.

Tabla 37. Cuartiles del número de hojas de la lechuga.

Cuartiles	T1	T2	T3	T4	T5
Min	12	12	13	12	11
Q1	16	15	18	15	14
Mediana	18	20	23	19	19
Q3	21	25	29	21	22
Max	30	33	39	39	35
RIC	5	9.8	11	6	7.5
N	30	30	30	30	30

La figura 38, muestra el Boxplot o diagrama de caja y bigotes sin datos atípicos, permitiendo describir el rendimiento en el número de hojas en los diferentes tratamientos, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en la que se aprecia un mayor rendimiento con valores amplios hacia la parte superior de la caja, entre la mediana Q2 con (23hojas/unidad) y Q3 (29hojas/unidad), el bigote inferior tiende a disminuir, por otro lado la asimetría de la caja tiende a disminuir cuando se da en T2 donde la mediana está más próximo a Q1, y el bigote inferior tiende a disminuir; T1, la mediana se aproxima más a Q1; en T4 y T5 el bigote inferior tiende a disminuir.

Por otro lado el Boxplot muestra el 25% de los datos desde el bigote inferior hasta el cuartil 1 (Q1), el 50% de los datos hasta el cuartil 2 (Q2), el 75% hasta el cuartil 3 (Q3) y el 100% de los datos hasta el bigote superior Max.

Test de Comparaciones Múltiples Pairwise.

a) Test de comparaciones múltiples Pairwise del peso fresco del tallo.

Tabla 38. Comparación Múltiple de Pairwise de la biomasa fresca del tallo.

Carácter	Comparación	P_valor	Diff_test
Biomasa fresca tallo	T3 – T4	0.0000000	a
Biomasa fresca tallo	T3 – T5	0.0000306	b
Biomasa fresca tallo	T3 – T1	0.0000621	c
Biomasa fresca tallo	T3 – T2	0.0005624	d

La tabla 38 muestra la *Prueba de Pairwise de Combinación* para la biomasa fresca del tallo, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados), en comparación con los demás tratamientos muestran un valor de $p > 0.05$, resultando una diferencias de medias.

b) Test de comparaciones múltiples Pairwise de la biomasa seca del tallo.

Tabla 39. Comparación Múltiple Pairwise Test. De la biomasa seca del tallo.

carácter	comparación	p_valor	diff_test
Biomasa seca tallo	T3 – T4	0.0000000	a
Biomasa seca tallo	T3 – T5	0.0000306	b
Biomasa seca tallo	T3 – T1	0.0000621	c
Biomasa seca tallo	T3 – T2	0.0005624	d

La tabla 39 muestra la *Prueba de Pairwise de Combinación* para la biomasa seca del tallo, donde se observa que T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de

concentración de lixiviados), en comparación con los demás tratamientos muestra el valor de $p > 0.05$, resultando una diferencia de medias.

c) Test de comparaciones múltiples Pairwise del número de hojas.

Tabla 40. Comparación Múltiple Pairwise del número de hojas.

carácter	comparación	p_value	diff_test
Numero hojas	T3 – T4	0.0079214	a
Numero hojas	T3 – T5	0.0248372	b
Numero hojas	T3 – T1	0.1790870	b
Numero hojas	T3 – T2	0.0096077	c

La tabla 40 muestra la *Prueba de Pairwise de Combinación* para el número de hojas de la lechuga, donde T3 (parcelas con compost alimentadas al 100% de concentración de lixiviados) en comparación con los demás tratamientos muestra el valor de $p > 0.05$, resultando una diferencia de medias.

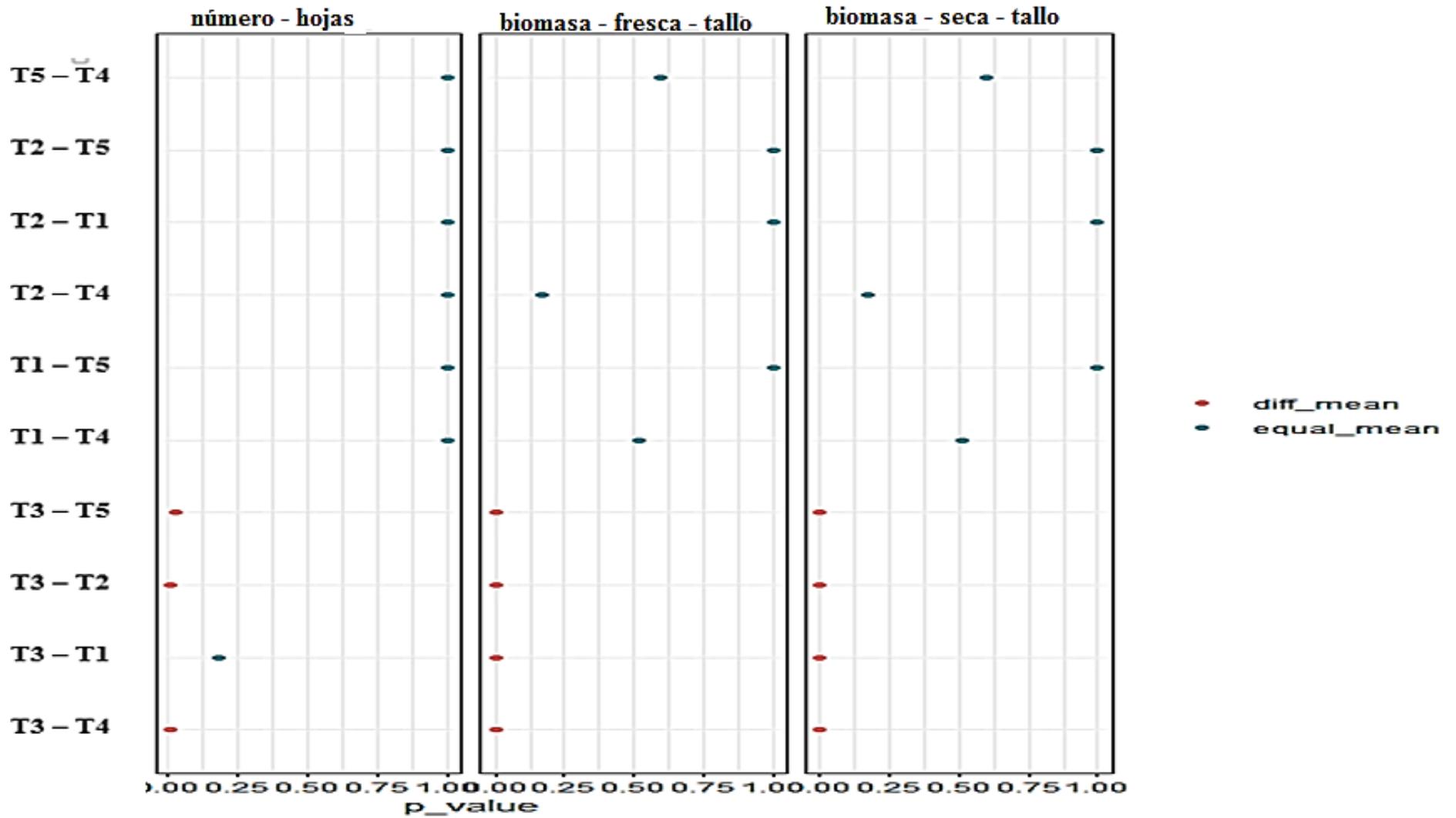


Figura 39. Test de Comparación Múltiple Pairwise