

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFFECTO DEL COMPOST PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS  
SÓLIDOS DE CELENDÍN PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA SIEMBRA DE BETARRAGA**

*(Beta vulgaris)* EN EL DISTRITO DE CELENDÍN - 2024

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por la Bachiller:

ANYELA MELITZA LUDEÑA DÍAZ

Asesor:

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori

**CAJAMARCA – PERU**

**2026**



Universidad  
Nacional de  
Cajamarca  
"Norte de la Universidad Peruana"

### CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
**ANYELA MELITZA LUDEÑA DÍAZ**  
DNI N° 45693048  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
**DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
2. Asesor:  
**ING° M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**  
Facultad/Unidad UNC:  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**
3. Grado Académico o título profesional:  
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad  
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de investigación:  
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional  
☐ Trabajo académico
5. Título del trabajo de investigación:  
**"EFECTO DEL COMPOST PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CELENDÍN EN LA SIEMBRA DE BETARRAGA (*Beta vulgaris*) EN EL DISTRITO DE CELENDÍN - 2024"**
6. Fecha de evaluación: 22/07/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:  
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 08/01/2026

**Firma y/o Sello  
Emisor Constancia**

**ING° M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**

**DNI: 27041767**

\*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"**

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Secretaría Académica**




### **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Celendín, a los ocho días del mes de enero del año dos mil veintiséis, se reunieron en el **aula 102** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 537-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de setiembre del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DEL COMPOST PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CELENDÍN PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA SIEMBRA DE BETARRAGA (*Beta vulgaris*) EN EL DISTRITO DE CELENDÍN - 2024"**, realizada por la Bachiller **ANYELA MELITZA LUDEÑA DÍAZ** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.


A las **DIECISÉIS** horas con **VEINTE** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **QUINCE (15)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISIETE** horas y **CUARENTA** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

  
Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
**PRESIDENTE**

  
Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna  
**SECRETARIO**

  
Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas  
**VOCAL**

  
Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori  
**ASESOR**

**COPYRIGHT ©2026 by**  
ANYELA MELITZA LUDEÑA DÍAZ  
Todos los derechos reservados

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Ever y Consuelo, gracias a ellos logré concluir mi carrera profesional, a mis padres que me criaron Jaime y Carmen por estar siempre a mi lado y por su amor incondicional, por brindarme su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona

A mi hija Fryda Jharetsy, mi razón de ser y mi motor para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme, guiarme, darme sabiduría y la fortaleza necesaria, para sobrellevar los obstáculos que día a día se presentan.

A toda mi familia por sus consejos y apoyo incondicional.

Al Ing. Msc. Edgar Darwin Díaz Mori por su ayuda brindada en el asesoramiento para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página
ÍNDICE GENERAL .....	VII
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Antecedentes de la investigación .....	4
2.2. Bases teóricas .....	7
CAPÍTULO III.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. Localización de la investigación .....	20
3.2. Materiales.....	22
3.3. Metodología .....	23
3.3.1. Fase I: Determinación de los componentes presentes en el sustrato .....	23
3.3.2. Fase II: Metodología para determinar el efecto del compost en la siembra de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ).....	25
CAPÍTULO IV .....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
4.1. Efecto del compost proveniente de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Celendín para su aprovechamiento en la siembra de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ) .....	33
4.2. Dosis de compost empleado en el cultivo de beterraga.....	34
4.2.1. Altura de la planta .....	34
4.2.2. Longitud de la raíz.....	35
4.2.3. Diámetro de la raíz.....	37
4.2.4. Peso de la raíz. ....	38
4.2.5. Resumen de resultados por tratamiento .....	40

4.3. Análisis fisicoquímico del compost .....	41
4.4. Efecto del sustrato en la beterraga a través de los indicadores: Altura de la planta (AP), longitud de la raíz (LR), diámetro de la raíz (DR), peso fresco de la raíz (PFR).....	51
4.4.1. Análisis de resultados en relación al indicador <i>Altura de la planta (AP)</i> .....	51
4.4.2. Análisis de resultados en relación al indicador <i>longitud de la raíz (LR)</i> .....	54
4.4.3. Análisis de resultados en relación al indicador <i>diámetro de la raíz (DR)</i> .....	57
4.4.4. Análisis de resultados en relación al indicador <i>peso fresco de la raíz (PFR)</i> .....	60
4.5. Evaluación de los parámetros físicos y químicos del suelo agrícola antes y después de la siembra de la beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ).....	63
CAPÍTULO V .....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
CAPÍTULO VI.....	74
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS .....	82
GLOSARIO .....	90



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Valor nutricional cada 100 gramos de beterraga de producto fresco. ....	15
Tabla 2. Superficie, producción y rendimiento en las principales zonas productoras de beterraga en el país (1994).....	16
Tabla 3. Nutrientes que extrae del suelo la beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ).....	17
Tabla 4. Absorción total de nutrientes y extracción de cosecha (raíces) expresada en kilos por tonelada producida de beterraga. ....	17
Tabla 5. Densidad y distancia de remolacha en siembra directa. ....	18
Tabla 6. Parámetros evaluados y técnicas de medición. ....	24
Tabla 7. Dosificación de compost.....	25
Tabla 8. Análisis de la varianza .....	30
Tabla 9. Determinación de hipótesis.....	31
Tabla 10. Resumen por unidades experimentales de acuerdo al promedio de indicador. ....	40
Tabla 11. Análisis físico-químico del compost en comparación con los LMP .....	42
Tabla 12. Datos obtenidos del diseño experimental .....	51
Tabla 13. Análisis de variancia del indicador altura de la planta (AP).....	51
Tabla 14. Amplitudes estudiantizadas significativas. ....	52
Tabla 15. Claves para comparaciones de tratamiento.....	53
Tabla 16. Nivel de significación entre los tratamientos.....	53
Tabla 17. Datos obtenidos del diseño experimental .....	55
Tabla 18. Análisis de variancia del indicador longitud de la raíz (LR) .....	55
Tabla 20. Claves para comparaciones de tratamiento.....	56
Tabla 21. Nivel de significación entre los tratamientos.....	57
Tabla 22. Datos obtenidos del diseño experimental – diámetro de la raíz .....	58
Tabla 23. Análisis de variancia del indicador diámetro de la Raíz (D.R) .....	58
Tabla 24. Amplitudes estudiantizadas significativas- diámetro de la raíz.....	59
Tabla 25. Claves para comparaciones de tratamiento - diámetro de la raíz .....	59

Tabla 26. Nivel de significación entre los tratamientos – diámetro de la raíz.....	60
Tabla 27. Datos obtenidos del diseño experimental – peso fresco de la raíz en gramos .....	61
Tabla 28. Análisis de variancia del indicador peso fresco de la raíz (PFR) .....	61
Tabla 30. Claves para comparaciones de tratamiento - peso fresco de la raíz en gramos. ....	62
Tabla 31. Nivel de significación entre los tratamientos – peso frersco de la raíz.....	63
Tabla 32. Análisis físico-químico del suelo.....	64
Tabla 33. Comparación de las propiedades físico-químicas del suelo y sustratos .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Etapas del proceso de compostaje .....	9
Figura 2. Ubicación geográfica del botadero El Guayao, y la zona donde se realizó el experimento.....	21
Figura 3. Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – altura de planta.....	35
Figura 4. Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – longitud de la raíz ....	36
Figura 5. Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – diámetro de la raíz ...	37
Figura 6. Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – Peso de la raíz .....	39
Figura 7. Promedio de cada indicador de acuerdo a las unidades experimentales .....	41
Figura 8. Evaluación del indicador pH .....	43
Figura 9. Evaluación del indicador conductividad eléctrica .....	44
Figura 10. Evaluación del indicador nitrógeno .....	46
Figura 11. Evaluación del indicador fosforo.....	47
Figura 12. Evaluación del indicador potasio.....	48
Figura 13. Evaluación del indicador calcio.....	49
Figura 14. Evaluación del indicador magnesio .....	50
Figura 15. Comparativo entre grupo control y sustrato. ....	66
Figura 16. Germinación de la planta de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ).....	86
Figura 17. Raleo de las plántulas de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ) .....	86
Figura 18. Deshierbo de la siembra de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ) .....	87
Figura 19. Elección de la planta para su respectivo estudio. ....	87
Figura 20. Cosecha de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ).....	88
Figura 21. Medición del largo de la raíz ( <i>B. vulgaris</i> ).....	88
Figura 22. Determianción de peso fresco de la raíz de la beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ) .....	89
Figura 23. Medición de la raíz de beterraga ( <i>B. vulgaris</i> ) .....	89

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto del compost proveniente de la planta de valorización de residuos sólidos de Celendín en el crecimiento y rendimiento del cultivo de beterraga (*B. vulgaris*). El experimento empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos (T1: 0 g, T2: 250 g, T3: 500 g, T4: 750 g y T5: 1000 g de compost en recipientes de 5 kg) y cinco repeticiones, evaluando variables morfológicas y la composición nutricional del sustrato antes y después de la cosecha. Los resultados demostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en todas las variables evaluadas: la altura de la planta (AP) fue máxima en T3 con 42.60 cm, frente a 31.40 cm en T1, la longitud de la raíz (LR) en T3 alcanzó 15.20 cm, superando en un 49% más que el control de 10.20 cm, el diámetro de la raíz (DR) alcanzó su pico en el T5 con 6.74 cm y el peso fresco de la raíz (PFR) se incrementó a 237.40 g en T5, comparado con 24.00 g en T1 obtenidos en el testigo. El análisis químico del sustrato reveló que el compost corrigió la acidez del suelo de 6.75, elevándola 8.10 y 8.20, e incrementó el nitrógeno de 0.19% a un máximo de 0.60%. Asimismo, se garantizó la inocuidad ambiental al disminuir los niveles de plomo de 1.6 ppm a niveles no detectables ( $< 0.3$  ppm) en el sustrato final. Se concluye que el uso de compost municipal optimiza significativamente la producción de beterraga en Celendín, triplicando el peso comercial promedio y restaurando la fertilidad de los suelos degradados de la región.

**Palabras claves:** Compost, rendimiento de la beterraga.

## ABSTRACT

This research was conducted to determine the effect of compost from the Celendín solid waste valorization plant on the growth and yield of beetroot (*B. vulgaris*). The experiment employed a completely randomized design (CRD) with five treatments (T1: 0 g, T2: 250 g, T3: 500 g, T4: 750 g, and T5: 1000 g of compost in 5 kg containers) and five replicates, evaluating morphometric variables and the nutritional composition of the substrate before and after harvest. The results showed statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in all evaluated variables: plant height (PH) was highest in T3 at 42.60 cm, compared to 31.40 cm in T1; root length (RL) in T3 reached 15.20 cm, exceeding the control's 10.20 cm by 49%; root diameter (RD) peaked in T5 at 6.74 cm; and root fresh weight (RFW) increased to 237.40 g in T5, compared to 24.00 g in T1 (control). Chemical analysis of the substrate revealed that the compost corrected the soil acidity from 6.75, raising it to 8.10 and 8.20, and increased nitrogen from 0.19% to a maximum of 0.60%. Furthermore, environmental safety was ensured by reducing lead levels from 1.6 ppm to undetectable levels ( $< 0.3$  ppm) in the final substrate. It is concluded that the use of municipal compost significantly optimizes beet production in Celendín, tripling the average marketable weight and restoring the fertility of degraded soils in the region.

**Keywords:** Compost, beet yield.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

La gestión inadecuada de los residuos sólidos orgánicos representa un problema ambiental global, especialmente en zonas urbanas y semiurbanas donde aumenta la producción de residuos sólidos. El compostaje, como método de aprovechamiento en el marco de la economía circular, contribuye a disminuir la carga sobre los vertederos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y recuperar nutrientes, constituyéndose en una opción sostenible en lugar de los fertilizantes químicos, mejorando la fertilidad del suelo y las prácticas agrícolas ambientalmente responsables.

En el ámbito nacional, el Perú enfrenta limitaciones estructurales en la gestión integral de los residuos sólidos municipales, donde la infraestructura para el tratamiento y aprovechamiento de estos residuos es aún elemental. Al mismo tiempo, el sector agrícola, en particular el de pequeña y mediana escala, enfrenta dificultades por la degradación gradual de los suelos, la reducción del contenido de materia orgánica y la excesiva dependencia de insumos químicos, lo que a largo plazo impacta la productividad, la calidad del suelo y la sostenibilidad ambiental. Esta problemática se agrava en regiones andinas como Cajamarca, donde las condiciones edafoclimáticas, sumadas a prácticas agrícolas tradicionales y al limitado acceso a tecnologías adecuadas, generan rendimientos agrícolas inferiores al promedio nacional en diversos cultivos de importancia alimentaria.

El cultivo de beterraga (*B. vulgaris*) adquiere relevancia por su alto valor nutricional y capacidad de adaptación, pero en Cajamarca muestra rendimientos inferiores en comparación a

otras regiones del país, lo que evidencia la causa de la baja fertilidad del suelo, la acidez edáfica y un manejo deficiente de la nutrición vegetal. La escasez de opciones locales de fertilización orgánica técnicamente validadas restringe la productividad y repercute en la seguridad alimentaria y la economía de los agricultores.

En el distrito de Celendín, la implementación de una planta de valorización de residuos sólidos representa la posibilidad de optimizar el manejo de residuos urbanos y restaurar suelos agrícolas mediante el aprovechamiento del compost. Sin embargo, su implementación requiere ser evaluada científicamente su composición, no solo en términos de su efecto sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos, sino también en relación con su composición físico-química, su capacidad para mejorar las propiedades del suelo y su inocuidad ambiental, puesto que la falta de estudios experimentales que analicen estas variables restringe su aceptación por parte de los agricultores y las autoridades locales.

La presente investigación se fundamenta en su valor científico, ya que genera evidencia experimental sobre el efecto de diferentes dosis de compost en las variables morfológicas y el rendimiento de la beterraga, así como la calidad físico-química del suelo, contribuyendo al conocimiento aplicado en el ámbito de la ingeniería ambiental y agronomía. Tiene relevancia ambiental y social, al impulsar el aprovechamiento responsable de residuos sólidos orgánicos, mitigar los efectos negativos asociados a su disposición final y promover prácticas agrícolas que recuperen la fertilidad del suelo, reduciendo así la necesidad de fertilizantes sintéticos. Asimismo, ofrece ventajas institucionales y regionales, al proporcionar conocimientos técnicos que mejoran la administración municipal de los residuos sólidos y orientar políticas locales de sostenibilidad.

En concordancia con lo expuesto el objetivo general del estudio es determinar el efecto del compost proveniente de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Celendín para su

aprovechamiento en la siembra de beterraga (*B. vulgaris*) en el distrito de Celendín. Para alcanzar este propósito, se establecieron tres objetivos específicos: el primero establecer la dosis más adecuada de compost, para el crecimiento de la beterraga (*B. vulgaris*); el segundo determinar los parámetros físicos y químicos del sustrato proveniente de la planta de tratamiento de residuos sólidos; el tercero determinar los parámetros físicos y químicos del suelo agrícola antes y después de la siembra de la beterraga (*B. vulgaris*) y finalmente evaluar el desarrollo de la beterraga (*B. vulgaris*) en relación al diámetro y peso fresco de la raíz.

Por último, la investigación se organiza de forma progresiva, comenzando con la revisión de los fundamentos teóricos y antecedentes vinculados a la gestión de residuos sólidos, el proceso de compostaje y la interacción entre el suelo con enmiendas orgánicas, seguido de la descripción metodológica empleada en el estudio, el análisis y discusión de los resultados obtenidos, y finalizando con conclusiones y sugerencias destinadas a fortalecer la gestión ambiental y el aprovechamiento sostenible de los residuos orgánicos en el distrito de Celendín.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Según Ibañez (2014), evaluó el efecto de tres abonos orgánicos en el comportamiento agronómico de dos variedades de beterraga en el municipio de Patacamaya. Se evaluaron parámetros agronómicos como: altura de planta, germinación, rendimiento, porcentaje de emergencia, características de las raíces y análisis económico, además de comparar las características del suelo antes y después de realizar el experimento. Los hallazgos indicaron que el compost fue el fertilizante que produjo la máxima producción total, resaltando la variedad Detroit Dark Red, con rendimiento promedio de 2.6 t/ha. Los tratamientos con compost también obtuvieron mayores beneficios económico y no se apreciaron alteraciones importantes, posiblemente el ciclo de cultivo fue corto para producir cambios significativos.

Huanca (2019), en su investigación evaluó desarrollo del cultivo de beterraga, donde se midieron el diámetro, la longitud, el peso y el rendimiento de las raíces, además de realizar un análisis económico y las propiedades físicas y químicas del suelo como densidad aparente y real, la porosidad, el pH, nitrógeno y la materia orgánica del suelo. Los resultados demostraron que el compost generó el mayor rendimiento de 2,06 kg/m<sup>2</sup>, mientras que el humus de lombriz presentó el menor 1.27 kg/m<sup>2</sup>. El análisis económico indicó beneficios en todos los tratamientos, destacando los tratamientos que se aplicaron compost, ya que tenían el mayor rendimiento comercial.

Por su lado Arana (2012), evaluó la incidencia de microorganismos eficientes más abonos orgánicos y en el comportamiento agronómico del cultivo de remolacha (*B. vulgaris*) en el cantón

La Maná. Los resultados indicaron que el tratamiento con abono orgánico Biol + *Azotobacter* spp. tuvo la mayor altura promedio de la planta, con 47.20 cm. El tratamiento abono orgánico Agropesa + *Azotobacter* spp., obtuvo el mayor valor en diámetro de tubérculo con 4.46 cm; peso de tubérculo con 146.10 g y rendimiento por hectárea con 1.46 t. La utilidad más óptima se dio con tratamiento 1 Abono orgánico Agropesa + *Azotobacter* spp., con 8.70 USD y la mejor relación beneficio/costo con 0,16 respectivamente.

Zapata (2023), en su investigación tiene como objetivo la Efectividad de compost a base de dos tipos de estiércol en el rendimiento de *B. vulgaris* Var. Fordhook Giant y la evaluación del rendimiento de *B. vulgaris*, Var. Fordhook Giant (Biomasa, Altura y número de hojas), se plantearon 05 tratamientos, el mejor efecto fue para el tratamiento 1 con, la, aplicación de compost, elaborado a base de RSOM 450kg + 50 Kg. de estiércol de cuy con un rendimiento de 1.119kg/m<sup>2</sup> de biomasa fresca y biomasa seca de 0.130 kg/m<sup>2</sup>. En conclusión, se logró demostrar la efectividad del uso del compost, elaborado a base de dos tipos de estiércol de cuy y de ganado vacuno en, el rendimiento de *B. vulgaris* Var. Fordhook, Giant

Ayala, R., Ramírez, J. Sánchez, Y. y Taxa, M. (2020), en su investigación desarrollaron un modelo de economía circular para la gestión sostenible de los residuos orgánicos mediante el proyecto de empresa Green Compost, el cual está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible, consumo responsable y acción climática. La propuesta del proyecto consiste en procesar los residuos orgánicos de Lima por medio de una compostadora de avanzada tecnología que disminuye el tiempo de compostaje en un 83%. Según el proyecto se necesitaría una inversión inicial de S/ 495,000, que se destina en su mayor parte a la compra de equipo. Las proyecciones de venta son S/ 431,244 para el primer año y S/ 646,866 para el segundo; el tiempo estimado de recuperación es de 3.56 años y el valor actual neto (VAN) es S/ 936,107.10. Además, se espera

que 6,000 toneladas de CO<sub>2</sub> no sean emitidas, lo cual ayuda a mitigar el cambio climático y a reforzar la cultura del reciclaje en Lima.

Manga (2022), en su investigación exteriorizó que el guano de isla fue la fuente de abonamiento más eficiente, alcanzando un rendimiento promedio de 30.83 t/ha y 237.95 g por planta. La mayor densidad de 166,667 plantas/ha (0.40 m x 0.15 m) tuvieron el mejor rendimiento para el peso de raíces por hectárea, con un promedio de 32.62 t/ha, mientras que 100,000 plantas por hectárea (0.40 m x 0.15 m) obtuvo el mejor rendimiento para el peso de raíces por planta, con un promedio de 238.44 g. además el guano de isla también presentó el mayor número de hojas por planta, con 12.81 hojas, resultado estadísticamente similar al humus de lombriz. La densidad de siembra y la variedad no influyeron significativamente en el diámetro ni en la longitud de la raíz de la beterraga.

Para López (2007), su investigación tuvo como objetivo determinar el impacto del uso del compost proveniente de residuos sólidos urbanos en la agricultura y el medio ambiente. Concluyó que el compost procedente de la planta de tratamiento de Celendín, poseen buen potencial fertilizante y niveles aceptables de metales pesados, aunque presenta limitaciones como bajo contenido de materia orgánica y niveles de cadmio cercanos o ligeramente superiores a los límites permisibles. Estos problemas podrían mitigarse mediante un mejor control del proceso de compostaje o aplicando dosis moderadas, aunque algunos aspectos solo mejorarían con una recolección selectiva más eficiente de los residuos urbanos.

Por su parte Garcia (2020), determina la influencia de los residuos orgánicos segregados desde la fuente para la obtención de compost en el distrito de Bambamarca. El proceso de valorización de residuos orgánicos consistió en la construcción de una planta de compostaje con geomembrana y control de humedad, la temperatura y pH; asimismo, se aceleró la descomposición

de la materia orgánica utilizando EM- COMPOST. El proceso tuvo una duración de tres meses hasta obtener el compost listo para su uso. Se concluye que los residuos orgánicos que representan el 50% de los residuos sólidos totales tienen mejor eficacia si se separan en la fuente de generación.

Hoyos (2023), en su investigación utilizó semilla de betarraga variedad Early Wonder y abonos orgánicos como, guano de isla y humus de lombriz en dosis de 2 y 4 t ha<sup>-1</sup>. Se evaluaron variables de altura de planta, longitud y diámetro de raíz, peso total de planta, materia seca, rendimiento y rentabilidad. Los resultados del ANOVA fueron estadísticamente significativos. La prueba de DUNCAN determinó que el tratamiento aplicado con 4 t ha<sup>-1</sup> de guano obtuvo el mayor rendimiento con 41 562 kg ha<sup>-1</sup>. Así mismo, mediante un análisis económico se determinó que la dosis con 2 y 4 t ha<sup>-1</sup> de guano de isla, presentaron mayor rentabilidad y un beneficio/costo de 2.79 de retorno por cada sol invertido.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Compostaje**

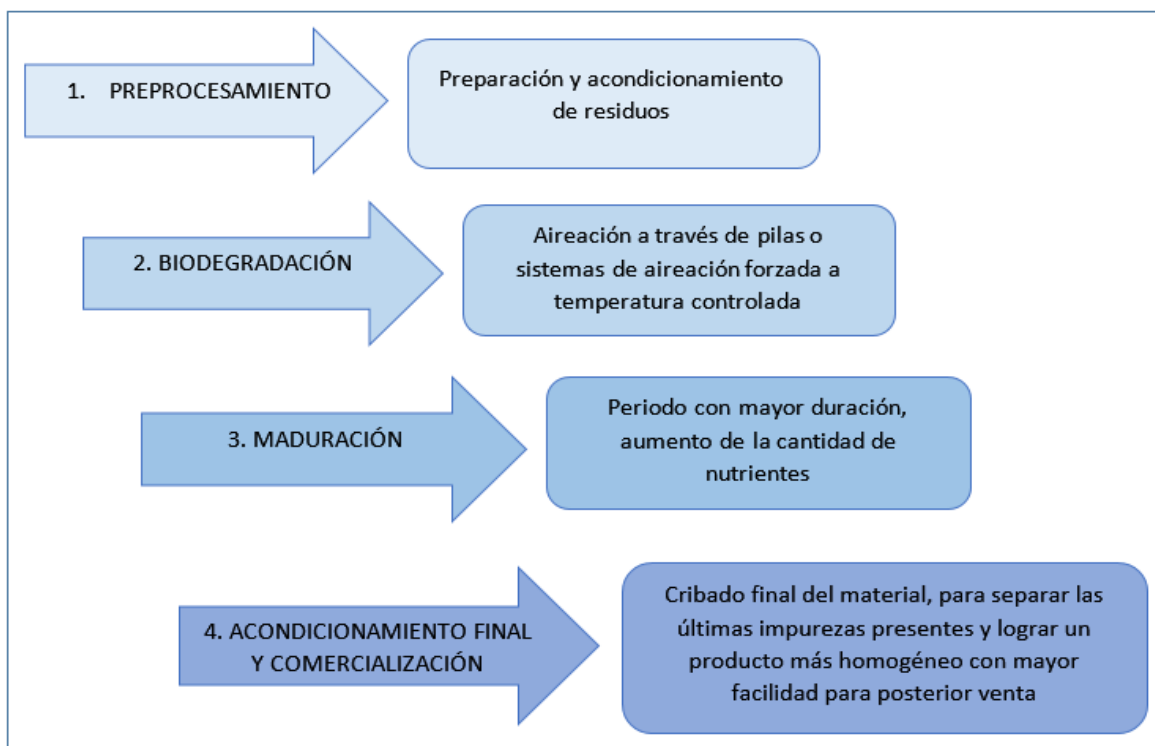
Los microorganismos actúan sobre los materiales biodegradables rápidamente (restos de cosecha, excrementos de animales y desechos urbanos) para producir compost (MINAM, 2019). El compostaje consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos como bacterias y hongos; razón por la que es indispensable mencionar los factores físicos, químicos y biológicos, que influyen sobre su metabolismo, con el objetivo de acelerar la descomposición de los residuos utilizados para la obtención de un producto estable de excelente calidad biológica y química. (Bohórquez, 2019)

#### **2.2.1.1. Proceso de compostaje**

El compostaje es uno de los procesos bioquímicos más utilizados para el manejo de desechos orgánicos. Todos los compuestos de alto peso molecular se degradan a través de una fase de activación termófila y una fase de activación mesófila o de maduración. En la fase inicial, los microorganismos mesófilos descomponen los compuestos a temperaturas superiores a los 40 grados centígrados. Después, los microorganismos mesófilos son reemplazados por microorganismos termófilos, que prosperan fácilmente en esas condiciones. La fase termófila es cuando los microorganismos utilizan el oxígeno y liberan dióxido de carbono y amoníaco para descomponer los desechos orgánicos. La temperatura de la pila de compostaje disminuye gradualmente a medida que se agota la fracción orgánica en descomposición, lo que conduce a la fase de maduración. A lo largo de esta etapa, la materia orgánica se estabiliza y se produce compost. (Babu et al., 2021)

El Compostaje es la descomposición de RSO por la acción microbiana en ausencia de oxígeno. En la siguiente figura, se ilustra las etapas del proceso de compostaje según la guía de planeación estratégica para el manejo de residuos sólidos de pequeños municipios en Colombia.

**Figura 1.** *Etapas del proceso de compostaje*



*Nota.* Adaptado de *Compostaje* (p. 45), por J. Moreno y R. Morál, 2008, Ediciones Mundi-Prensa.

#### **2.2.1.2. Duración del proceso de compostaje**

El tiempo necesario para obtener un compost maduro de los restos de vegetales es de aproximadamente 4 meses, dependiendo de la metodología utilizada, pero hasta ahora se ha realizado poca investigación sobre la posibilidad de usar el producto de alta calidad obtenido en un período de tiempo menor. Aunque algunos autores afirman que siempre dependerá de la cantidad de restos vegetales, generalmente pasan entre 3 y 3.5 meses desde el primer día de depósito de restos hasta la recolección de compost. (Arrigo, 2015)

### 2.2.1.3. Características del compost de calidad

#### a. Características químicas.

De acuerdo a López (2017), un compost adecuado se caracteriza por tener un contenido de materia orgánica entre 25-40% sobre peso seco, humedad alrededor de 40%, pH entre 7 y 8, preferiblemente neutro, temperatura estable y similar a la ambiental (máx. 25 °C); una relación C:N entre 12 y 18, nitrógeno orgánico alrededor del 90% del total, el nitrógeno inorgánico principalmente en forma de nitratos y el amoníaco (NH<sub>3</sub>) al final del proceso no debe ser superior a 0.04%, el contenido mineral puede ser variable N=1.15%, P<1%, K=1%. Los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) pueden estar por encima de 60 meq/100 g.

#### b. Características físicas.

El compost debe estar libre de cuerpos extraños (metales, papeles, plásticos y vidrios), de granulometría fina, textura suave, color café oscuro, consistencia homogénea, con humedad, pero sin saturación, y no es posible distinguir la materia orgánica inicialmente compostada.

### 2.2.2. *Beterraga (B. vulgaris L.)*

La beterraga (*B. vulgaris L.*) es una planta que se encuentra en Europa del Sur y se cree que es descendiente de la beterraga silvestre (*Beta maritima*), una especie que se encuentra en las costas del Mediterráneo, Asia menor, el sur de Suecia y Finlandia. Aproximadamente después del siglo X, las hojas se utilizaron como alimento por los griegos, y se introdujeron en la agricultura. En 1558 se mencionó en Alemania y en América (1806), se eligió el hipocótilo para su consumo cocido. (Torrez, 2005)

Debido a su alto valor nutritivo, este cultivo se utiliza tanto en la alimentación humana como en animales, así como en la extracción de azúcares, dependiendo de la variedad utilizada. La remolacha contiene una gran cantidad de ácido folate y ácido fólico, que ayudan a prevenir tumores en el cerebro, enfermedades cardíacas y anemia. Además, la remolacha contiene una gran cantidad de fibra, tanto soluble como insoluble, que ayuda a depurar el tracto intestinal y controlar los niveles de azúcar y colesterol en la sangre. (Caicedo, 2011)

#### **a. Taxonomía**

Según la FAO (2012), se muestra la siguiente tabla muestra la taxonomía de la remolacha roja o beterraga (*B. vulgaris*):

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Caryophyllales

**Familia:** Chenopodiaceae

**Género:** *Beta*

**Especie:** *B. vulgaris* L.

**Nombre común:** Remolacha, Betarraga, Beterraga.

#### **b. Descripción botánica**

La remolacha (*B. vulgaris* L.) es una planta bianual que se cultiva principalmente para su raíz, que se puede comer tanto en fresco como en conserva. Debido a la presencia de varios pigmentos en una raíz, el color es rojo, de mayor o menor intensidad.

Según FDA (1995), dependiendo de las características comunes a cultivar, la raíz comercial puede ser redondeada, globosa alargada, cónica o cilíndrica. En realidad, es un engrosamiento en



la parte superior de la raíz principal y en la parte baja del tallo. Está formado por anillos concéntricos de tejido floemático (de color oscuro) y xilemático secundario. Además, según López (2006), el sistema radicular en los treinta primeros cm es pivotante, muy denso y ramificado. A medida que se desarrolla la raíz, su tamaño aumenta.

El tallo es ramificado y sostiene las inflorescencias, y el período de crecimiento vegetativo es muy corto (1 a 3 cm de alto), pero el tallo floral alcanza de 80 a 120 cm cuando comienza la etapa reproductiva. Según el cultivar, la lámina de las hojas es ovalada y de color verde intenso a morado. El peciolo es largo, rojo, púrpura o amarillo. Las ramificaciones del tallo floral contienen flores. Además, son sésiles y hermafroditas. (FDA 1995)

### **c. Descripción morfológica**

#### **Flores**

Las flores de la beterraga son solitarias, excepto en las variedades multigérmicas que pueden ser solitarias o en grupos de dos a cinco flores. En estas variedades, las flores están soldadas en sus bases formando un glomérulo. Las flores son completas y sin corola; en la base del cáliz se encuentran cinco sépalos soldados. El androceo tiene cinco estambres y el gineceo tres, lo que da como resultado un pistilo compuesto. La polinización de la beterraga generalmente es cruzada, a pesar de que las flores son perfectas; esto se debe a que las plantas presentan dicogamia, lo que significa que los órganos masculinos y femeninos maduren de manera diferente. La polinización se prolonga durante toda la etapa de y es principalmente anemófila., Wiersema et al. (2011) citado por (Flores, 2014).

Es una planta bianual que necesita vernalización para florecer. El tallo floral puede llegar a 1 a 1,2 metros de altura. (Méndez, 2010)

## **Inflorescencia**

Valdez 1996, indica que el tallo floral puede llegar a una altura de 1,00 a 1,20 metros. Las flores de la inflorescencia son sésiles y hermafroditas, y pueden aparecer solas o en grupos de 2 a 3. El cáliz es de color verdoso con cinco sépalos y cinco pétalos. Cubre las semillas, formando un pequeño fruto con 2 a 6 semillas muy pequeñas en forma de munición o frejol pequeño, generalmente de color café.

## **Hojas**

Según, Valdez (1996), las hojas presentan un color verde intenso y los peciolos son de un color rojo o purpura. Se dice que la parte comestible es una raíz, Pero se ha comprobado que se trata de un Hipocotilo ensanchado (cambium engrosado), su color puede ser rojo o morado, debido al pigmento denominado “Betanina o Betacianina” que es un compuesto que posee nitrógeno con propiedades semejantes a las antocianinas.

## **Raíz**

La betarraga es una planta bianual que necesita vernalización para florecer. Tiene raíces profundas y puede alcanzar una longitud de 1.8 a 2.0 cm y 60 centímetros laterales.

El engrosamiento de la parte superior y baja de la raíz principal es lo que se conoce como raíz engrosada o comercial. Está formado por anillos concéntricos de tejido xilemático secundario y floemático. Las remolachas cuyo color de ambos tipos de tejidos es menos distinto se consideran de mayor calidad. La mayoría de los cultivares tienen el color rojizo o morado característico debido al pigmento betanina o betacianina. En algunos cultivares, el pigmento betaxantina da al color de la raíz un tono amarillento. El sistema radicular es bastante amplio. Según investigaciones de la Universidad de Cornell, el sistema de raíces absorbentes (no la raíz engrosada) alcanza una profundidad de casi un metro y una distancia lateral de aproximadamente 60 centímetros. La

remolacha puede soportar sequias cortas y recuperarse rápidamente gracias al buen desarrollo de este sistema. (Morales, 1995)

La raíz tiene un contenido de humedad promedio del 77%, pero la mayor parte del azúcar se acumula en el cuerpo de la raíz, que contiene el 99.5% del azúcar. En el limbo y el peciolo, los niveles de sacarosa disminuyen hasta un 10-20 % del total de azúcares, debido a que estas áreas son destinadas a la exportación y no a la conservación. No obstante, en estas áreas prevalecen los azúcares invertidos o reductores, que representan entre el 80 y el 90 % del azúcar total del órgano. (Baca, 2015)

#### **d. Composición química**

La beterraga, tiene un alto valor nutricional porque contiene un 65,7 % de agua, 4-8 % de carbohidratos, 1,4 % de proteínas, 0,4 % de grasas, 1 % de fibra soluble, compuestos bioactivos y sales de nitrato. También contiene minerales como potasio 312 mg/ 100 g, fósforo 31 mg/ 100 g y calcio 11 mg/ 100 g. (Fuentes-Barría et al. 2018)

#### **e. Valor nutricional**

Las raíces de las remolachas contienen una cantidad significativa de vitamina C, mientras que las hojas son una excelente fuente de vitamina A, contienen ácido fólico y tienen un alto contenido de fibra soluble e insoluble. (Duran, 2009)

**Tabla 1**

*Valor nutricional cada 100 gramos de beterraga (B. vulgaris L.), de producto fresco.*

Calorías	42%
Agua	86%
Potasio	300 mg
Fósforo	42 mg
Calcio	28 mg
Sodio	77 mg
Azufre	68 mg
Hierro	1 mg
Vitamina A	0.020 mg
Vitamina B1	0.03 mg
Vitamina B2	0.06 mg
Vitamina C	9 mg

*Nota.* Tituaña (2011). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de Remolacha azucarera forrajera.

#### **f. Requerimientos de suelo y fertilización**

Es una especie de clima templado que crece bien a temperaturas entre los 15 y 22 grados centígrados; tolera bien las temperaturas más cálidas, pero forma anillos blancos en la raíz, lo que reduce su valor comercial. Para que las raíces crezcan fácilmente y no se deformen, elija un suelo rico en materia orgánica, profundo, ligero y bien drenado. La betarraga es ligeramente resistente a la acidez del suelo, recomendando un pH cercano a la neutralidad entre 6,0 y 7,5, pero puede presentar deficiencias de boro. Finalmente destaca una notable tolerancia a la salinidad, soportando niveles de conductividad eléctrica de hasta 8 ms/cm. (Castillo, 2004)

**Tabla 2**

*Superficie, producción y rendimiento en las principales zonas productoras de betarraga en el país (1994)*

Departamento	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
<b>Arequipa</b>	150	2550	17
<b>Lima</b>	135	2200	16
<b>Cajamarca</b>	100	72	7
<b>Ancash</b>	95	665	7
<b>La Libertad</b>	86	629	7
<b>Junín</b>	80	1056	13
<b>Total nacional</b>	752	8529	11

*Nota.* Castillo (2004). Cultivo de betarraga en la costa central.

**Suelo:** Este tipo de cultivo prospera en suelos alcalinos, francos, ligeros y lo más homogéneos posibles; sin embargo, es comúnmente difícil obtener buenos rendimientos en suelos arcillosos porque las lluvias retienen la humedad, lo que daña el cultivo. La conductividad eléctrica del suelo para el cultivo debe ser menos de 0,5 mmhos/cm. (Ramírez, 2016)

**pH:** Debido a que las investigaciones han demostrado que el rango de pH adecuado para este cultivo oscila entre 6 y 7.0, este cultivo se caracteriza por ser muy sensible a la acidez del suelo. (Caicedo, 2011)

**Clima:** Coello (2019), señala que el cultivo se adapta a cualquier tipo de clima, pero recuerda que los climas más adecuados para el desarrollo vegetativo adecuado de la remolacha son los climas templados y fríos.

**Humedad:** La remolacha requiere de un porcentaje medio de (60 a 90 %) tanto en el suelo como en el ambiente debido a que la superficie foliar es considerada como una de más desarrolladas entre los demás cultivos, por lo tanto, el porcentaje de transpiración es elevado. (Maroto, 2018)

**Tabla 3**

*Nutrientes que extrae del suelo la beterraga (B. vulgaris)*

Parte de la planta	Rendimiento (t/ha)	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	Ca kg/ha
<b>Raíz</b>	22.4	73.92	8.96	89.6	7.84
<b>Follaje</b>	14.56	96.32		60.48	107.52

*Nota.* Coello (2019). Estimación de impactos ambientales basado en el análisis de ciclo de vida de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica de la remolacha (*B. vulgaris* L.)

#### **g. Necesidades nutricionales**

La beterraga extrae 1,6 kg de nitrógeno; 1,0 kg de  $P_2 O_5$ , 3,5 kg de  $K_2 O$  y 0,08 kg de boro por tonelada producida en una hectárea. Antes de la siembra, se deben agregar fósforo, potasio y boro con el rastro final o en el surco. El nitrógeno se debe administrar parcialmente. Después del control de maleza, con malezas de dos a tres hojas verdaderas, se aplica la mitad de la dosis, y la otra mitad se aplica a los 15 días después. Además, la beterraga absorbe 6,0 kg de nitrógeno por tonelada producida. (Saavedra, 2022, p. 128)

**Tabla 4**

*Absorción total de nutrientes y extracción de cosecha (raíces) expresada en kilos por tonelada producida de beterraga.*

Nutrientes	Absorción total (kg/t)	Extracción de cosecha (kg/t)
<b>Nitrógeno (N)</b>	6,0	3,5
<b>Fósforo (P)</b>	0,7	0,4
<b>Potasio (K)</b>	8,5	3,5
<b>Calcio (Ca)</b>	1,9	-
<b>Magnesio (Mg)</b>	1,2	0,6

*Nota.* Ciampitti y García, (2007).

## h. Densidad de siembra y población

Para cultivar betabel, la mayoría de las veces se utiliza la siembra directa, pero también se puede realizar el trasplante cuando la plantita tiene de 3 a 4 hojas verdaderas. Algunos productores utilizan el aclareo cuando se aplica siembra directa. La población de betabel puede oscilar entre las 215.000 y 220.000 plantas por hectárea.

**Tabla 5**

*Densidad y distancia de remolacha en siembra directa.*

Densidad de siembra (kg/ha)	Distancia entre surcos (cm)	Distancia entre plantas (cm)
10	66 ó 77*	10
15	92 ó 100**	10

*Nota.* Valadez, A. 1994

\* Sencillo o una hilera

\*\* Doble hilera

La cantidad de semilla necesaria para sembrar 30 metros de surco es de 29 gramos, y los kilos de semilla necesarios para sembrar una hectárea son de 11.2 a 17.9, sembrándose a una profundidad de tres centímetros. (Valadez, 1994)

### 2.2.2.1. Capacidad de Intercambia Catiónico.

Se da cuando las partículas del suelo entran en contacto con la solución acuosa de éste, las especies iónicas presentes en la fase líquida pueden ser captadas por la fase sólida, liberándose a su vez otros iones que inicialmente se encontraban asociados a esta última (Saña, 1996). A pesar de que impacta tanto en aniones como en cationes, se ha otorgado mayor relevancia agronómica al intercambio de estos últimos. La capacidad de intercambio catiónico de un suelo o de uno de sus elementos indica la cantidad de moles de iones carga

positivos absorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca bajo condiciones determinadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación entre masa y solución (Labrador, 2001).

Además, entre otras tareas, la CIC regula la presencia de nutrientes para las plantas y los microorganismos, participa en los procesos de agregación, ejerce su función de amortiguación y establece el rol del suelo como depurador natural. También, depende directamente del tipo de su complejo absorbente, que suele ser de sustancias húmicas y arcillas.

La capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica humificada depende esencialmente de su grado de oxidación: al aumentar éste, se incrementa el número de grupos carboxílicos-COOH-y fenólicos-CHOH-, responsables de la retención catiónica.

#### **2.2.2.2. Ley del Mínimo**

La Ley del Mínimo de Liebig sostiene que el desarrollo de un organismo está restringido por el nutriente esencial que se halla en la menor cantidad disponible, a pesar de que todos los demás se encuentren en cantidades apropiadas. Esta norma, establecida por el químico Justus Von Liebig en el siglo XIX, es esencial en campos como la ecología, la agronomía y la nutrición vegetal, puesto que evidencia que el desempeño de un cultivo se basa en el factor más restrictivo. Se suele ilustrar el concepto con la imagen de un barril en el que cada tabla simboliza un nutriente; la tabla de menor longitud establece la cantidad de agua que puede albergar. (Liebig, 1843, p 11)



## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

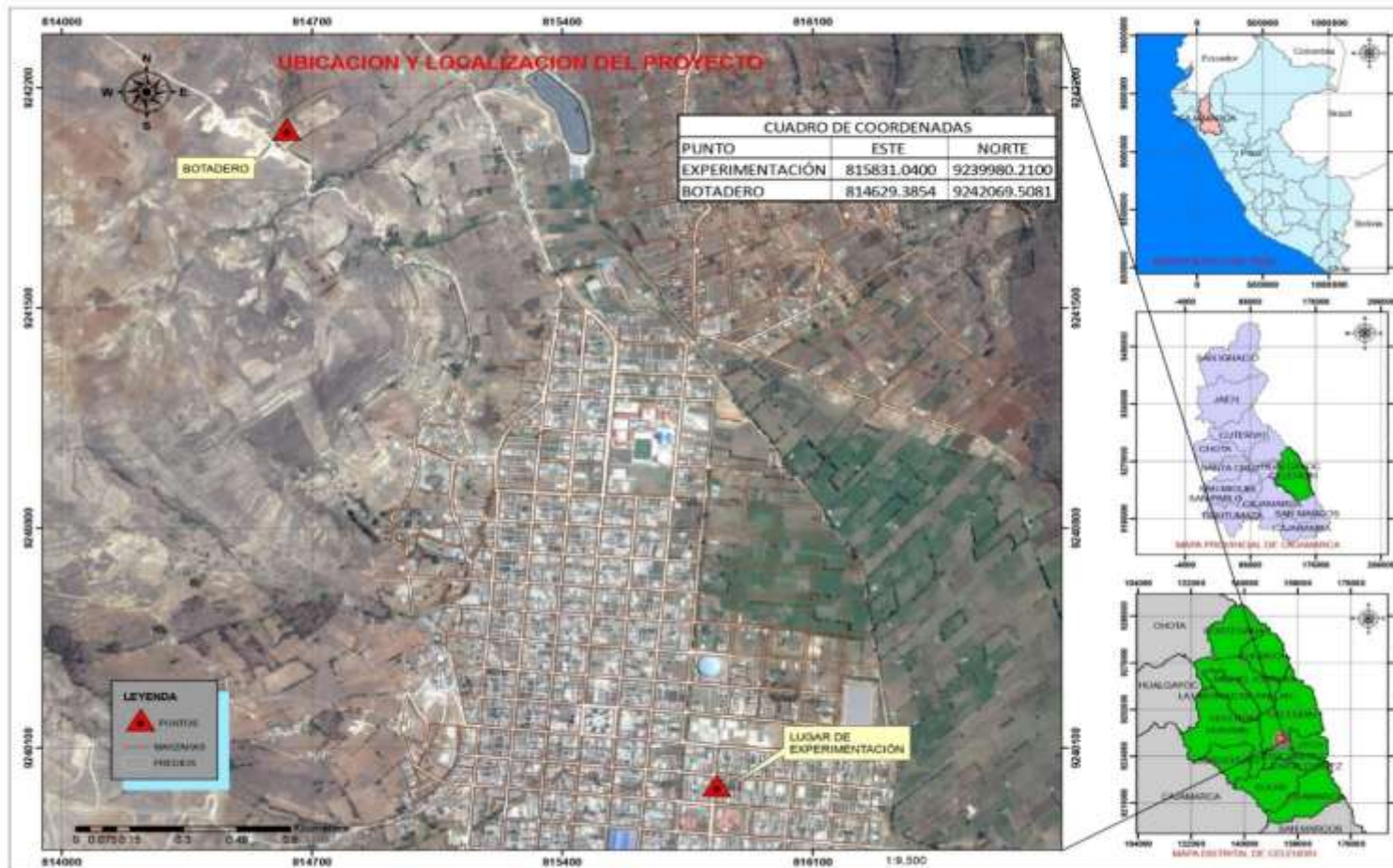
#### **3.1. Localización de la investigación**

Se realizó en la ciudad de Celendín, que forma parte de la región de Cajamarca, en la región norte de Perú. La investigación se centró en la utilización de compost como complemento orgánico, obtenido de la planta valorización de residuos sólidos orgánicos domiciliarios del distrito de Celendín. Esta planta de valorización se encuentra en el barrio El Guayao, en la pendiente de la orilla izquierda del río Grande, concretamente entre las quebradas de Uchumayo y Pimpinela, en la zona denominada Pallác. Esta instalación está situada aproximadamente a 2 kilómetros al noroeste del núcleo urbano de la ciudad, a una altitud de 2815 m.s.n.m.

La investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental en el domicilio de la tesista, ubicado en la avenida Túpac Amaru N° 596, en el núcleo urbano de la ciudad de Celendín. Este sitio fue elegido por tener las condiciones de logística, espacio y seguridad requeridas para el correcto control del experimento. Además, se dispone de materiales esenciales, infraestructura doméstica y acceso a servicios, lo que permitió llevar a cabo un monitoreo continuo de las variables en análisis y asegurar la regulación de elementos externos que pudieran influir en los resultados del estudio

Figura 2

Ubicación geográfica del botadero El Guayao, y la zona donde se realizó el experimento.



## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Equipos y materiales de campo**

- GPS: marca Garmin, modelo: GPS Etrex 10
- Respiradores reutilizables certificados de medio rostro.
- Guantes de seguridad.
- Balanza.
- Kit de muestreo de suelos.
- Recipientes de plástico de 5 Kg de capacidad.
- Semilla de beterraga (*B. vulgaris L.*)
- Compost de la planta de residuos sólidos de la ciudad de Celendín.
- Suelo agrícola.
- Etiquetas de identificación.
- Marcador de tinta indeleble.
- Libreta de campo
- Lápices

### **3.2.2. Material y equipos de laboratorio**

- Balanza analítica precisión 0.01 g (ENTRIS224-1S).
- Calibrador vernier.

### **3.2.3. Materiales de escritorio**

- Laptop con software para procesamiento y sistematización de datos.
- Impresora
- Cámara fotográfica digital (Sony W620 Cybershot 14 MP)
- Papel Bond A4

- Calculadora científica (fx-CASIO 350 ES)

### **3.3. Metodología**

La metodología fue elaborada utilizando técnicas estandarizadas de muestreo, elaboración de sustratos, siembra, medición con instrumentos y análisis estadístico. Como parte del procedimiento metodológico de la investigación, se ha estructurado en dos fases complementarias

#### **3.3.1. Fase I: Determinación de los componentes presentes en el sustrato**

Cuando finalizó el proceso de producción de compost se recolectó la muestra de 01 kg de compost en una bolsa de polietileno y una muestra de 01 kg de suelo base con los debidos protocolos (almacenadas en bolsas de polietileno herméticas y debidamente etiquetadas) para su envío al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar la composición del compost obtenido.

#### **A. Determinación de parámetros Físico – Químicos analizados.**

El análisis de laboratorio se centró en indicadores críticos que definen la calidad del abono orgánico y el potencial del suelo:

##### **a. Análisis físico**

- pH.
- Conductividad eléctrica.

##### **b. Análisis químico**

- Materia orgánica.
- Micronutrientes: Fe, Mn, B, Zn, Cu.
- Macronutrientes: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO.
- Metales pesados: Pb, Cd.

**Tabla 6***Parámetros evaluados y técnicas de medición.*

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica</b>	<b>Justificación Técnica</b>
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	Potenciometría (Relación 1:1)	Evaluación de la acidez o alcalinidad del medio de cultivo.
<b>Conductividad Eléctrica (CE)</b>	Conductimetría (Extracto de saturación)	Evaluación de la salinidad y el estrés osmótico mediante la adición de sales del compost.
<b>Materia Orgánica (MO)</b>	Método de Walkley-Black	Cuantificación del carbono orgánico oxidable para determinar la fertilidad.
<b>Fósforo Disponible (P)</b>	Método de Olsen	Evaluación de la biodisponibilidad en terrenos neutros a alcalinos
<b>Nitrógeno Total (N)</b>	Método Kjeldahl	Valoración del potencial proteico y el desarrollo vegetativo.
<b>Metales Pesados (Pb, Cd)</b>	Espectrometría ICP-OES (EPA 3050B)	Garantía de inocuidad ambiental y prevención de bioacumulación.

*Nota.* Parámetros del suelo y compost evaluados mediante técnicas estándar (pH, CE, MO, P, N, Pb/Cd) para determinar fertilidad, disponibilidad de nutrientes e inocuidad ambiental (Walkley & Black, 1934; Olsen et al., 1954; Kjeldahl, 1883; U.S. Environmental Protection Agency, 1996).

## **B. Evaluación de inocuidad y metales pesados**

Por ser de naturales urbana los residuos sólidos, la metodología incluyó obligatoriamente la determinación de metales pesados (Pb y Cd) mediante Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Para la determinación de los metales pesados analizados presentes en el compost se utilizó la legislación internacional a fin de poder determinar que el producto está libre de contaminantes que puedan afectar en su utilización, tomando como referencia la Normas Técnicas Colombiana la NTC 5167, del 2004 de calidad de abonos orgánicos y la Norma Técnica NOCh 2880, de la República de Chile, de esta manera se validó que el compost

es apto para el uso en agricultura de consumo humano, garantizando que no habrá bioacumulación tóxica en las raíces de la beterraga.

En cuanto a los parámetros como son de macronutrientes micronutrientes se realizó la comparación con la tabla de composición química. (Barbado 2004)

### 3.3.2. Fase II: Metodología para determinar el efecto del compost en la siembra de beterraga (*B. vulgaris*)

Para determinar el efecto del compost en la siembra de beterraga (*B. vulgaris*), se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con cinco repeticiones que permitió obtener datos para el procesamiento estadístico como se describe a continuación:

**Tabla 7**

*Dosificación de compost.*

Tratamiento	Dosificación de compost (kg)	Porcentaje de dosificación
T <sub>1</sub>	0	0 %
T <sub>2</sub>	1.250	25 %
T <sub>3</sub>	2.500	50 %
T <sub>4</sub>	3.750	75 %
T <sub>5</sub>	5.000	100 %

- **Tratamiento 1 (Control):** 0% de compost. Se utilizó 5.000 kg de suelo agrícola puro.
- **Tratamiento 2:** 25% de compost. Mezcla de 1.250 kg de compost con 3.750 kg de suelo base.
- **Tratamiento 3:** 50% de compost. Mezcla de 2.500 kg de compost con 2.500 kg de suelo base.

- **Tratamiento 4:** 75% de compost. Mezcla de 3.750 kg de compost con 1.250 kg de suelo base.
- **Tratamiento 5:** 100% de compost. Se utilizó 5.000 kg de compost puro como sustrato de crecimiento.

**a. Esquema gráfico utilizado:**

En la investigación se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), de acuerdo al siguiente esquema gráfico fue desarrollado el experimento y está conformado por 5 columnas que conforman los tratamientos y 5 filas que conforman las repeticiones. Esta metodología experimental facilitó el manejo de la variabilidad impredecible y confirmó la confiabilidad estadística de los hallazgos, asegurando que las variaciones detectadas entre tratamientos se atribuyan primordialmente a la cantidad de compost utilizado, y no a influencias ajenas. A continuación, se muestra en el croquis la distribución del experimento:

**TRATAMIENTOS**

Rep 1	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Rep 2	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>
Rep 3	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Rep 4	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Rep 5	T <sub>5</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>

**Dónde:**

- Rep 1 = T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>.
- Rep 2 = T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>1</sub>.
- Rep 3 = T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>.
- Rep 4 = T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>.
- Rep 5 = T<sub>5</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>.

**b. Conducción del experimento**

- **Preparación del sustrato**

Consistió en la preparación del suelo con los porcentajes de dosificación del compost en los recipientes usados para el experimento (dosificación Tabla 7). La fecha de preparación se realizó el 07 de abril del 2024.

- **Siembra**

La siembra se realizó usando contenedores para 5 kg de capacidad para el sustrato, donde se colocó cinco semillas en cada contendor, el 08 de abril del 2024.

- **Germinación**

La germinación de las semillas de beterraga (*B. vulgaris*), se inició a los 14 días ocurrida la siembra. Durante este periodo, se mantuvo el sustrato con humedad constante, pero sin encharcamiento para favorecer la ruptura de la latencia de la semilla.

- **Raleo**

Cuando las plántulas llegaron a un tamaño que se podía manejar (cerca de 3-4 hojas verdaderas), se quitaron manualmente las que sobraban, manteniendo solo la planta



más vigorosa por cada unidad experimental. Esta labor fue crucial para erradicar la competencia por el espacio radicular en el contenedor de 5 kg.

- **Riego**

El riego se efectuó de manera controlada y uniforme, para conservar la turgencia de las hojas en un cultivo con una tasa alta de transpiración, pero a la vez debe impedir que los nutrientes se lixivien en exceso fuera del recipiente.

- **Deshierbo**

Se realizó la limpieza manual para garantizar que la remolacha utilice únicamente el nitrógeno y fósforo del para garantizar que la remolacha utilice únicamente el nitrógeno y fósforo del compost.

- **Cosecha**

El día miércoles 01 de setiembre del 2024, se realizó la cosecha de las plantas de beterraga de cada maceta de acuerdo al tratamiento asignado.

**c. Observaciones registradas de cada planta**

Después de la cosecha, las plantas fueron trasladadas al laboratorio de química de la Universidad Nacional de Cajamarca en la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental para las mediciones finales. A continuación, se describe como se midió cada indicador:

- **Altura de la planta**

Se tomó la medición de las plantas de cada unidad experimental, desde el cuello hasta el ápice de la hoja central de la planta en centímetros (cm). Esta variable refleja el vigor fotosintético inducido por la disponibilidad de nitrógeno.

- **Longitud de la raíz**

Luego de limpiar las raíces, cada raíz fue medida con un calibrador vernier para medir la parte longitudinal desde el cuello hasta la punta de la raíz pivotante. Esta medición se expresa en (cm).

- **Diámetro de la raíz**

Las raíces de las 25 plantas de cada unidad experimental fue medida (cm) con el vernier manual la parte ecuatorial (la más ancha). Esta es la variable comercial más importante para hortalizas de raíz.

- **Peso fresco de la raíz**

Después de la cosecha de la beterraga (*B. vulgaris*), fue pesada con una balanza analítica para calcular la masa total de la raíz en gramos (g). Para Para prevenir que el peso se pierda por deshidratación, se efectuó justo después de la cosecha y limpieza.

**d. Análisis físico y químicos post-cosecha del sustrato (suelo y compost)**

Se realizaron análisis del sustrato después de realizada la cosecha, de la parte media de cada recipiente y se mezcló para obtener una muestra compuesta de los Tratamientos T3 y T4, en el experimento desarrollado, estas muestras fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Molina, donde se analizaron los parámetros de conductividad eléctrica (CE), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y pH. Después, se contrastaron los resultados con los que se habían obtenido antes de sembrar; las diferencias se interpretaron como pruebas del aporte del compost aportaba a las propiedades químicas del suelo.

**e. Análisis estadístico de los datos**

Los datos recolectados se sometieron a un procesamiento riguroso:

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

De acuerdo al diseño completamente al azar se realizó el análisis de varianza al 5% ( $\alpha = 0,05$ ) de probabilidad, con la finalidad de determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. Las variables analizadas fueron en función a la altura de planta, largo de la raíz, diámetro de la raíz y peso fresco de raíces de la beterraga (*B. vulgaris.*).

Para el contraste de la hipótesis, se consideró la hipótesis nula, que establece que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ ) contra la hipótesis alternativa que indica que al menos una de las medias difiere significativamente ( $H_1: \mu_h \neq \mu_k = \forall h \neq j$ ).

**Tabla 8**

*Análisis de la varianza*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio
Entre los tratamientos	SCC	4	CMT
Dentro los tratamientos	SCE	20	CME
Total	SCT	24	.....

En resumen, el procedimiento práctico para realizar el ANVA permitió obtener la siguiente prueba de hipótesis.

**Tabla 9***Determinación de hipótesis.*

Hipótesis	Estadístico de Prueba	Valor Crítico	Regla para rechazar Ho
<b>Ho: <math>\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4</math></b>	$F = \frac{CMC}{CME}$	$F(c-1; n-c, 1-\alpha)$	$F > F(c-1; n-c, -\alpha)$
<b>Hi: <math>\mu_h \neq \mu_k \forall h \neq j</math></b>			

*Nota:* El criterio de decisión se basó en un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

### A. Prueba Duncan

La prueba de rangos múltiples de Duncan, se utiliza para comparar todos los pares de posibles medias cuando se dispone de más de dos tratamientos. Esta prueba permite identificar diferencias específicas entre medias, ordenándolas de menor a mayor y agrupándolas en subconjuntos homogéneos. A diferencia de otros métodos como la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), la prueba de Duncan no requiere necesariamente que la prueba F del análisis de varianza (ANOVA) sea significativa, por lo que puede aplicarse aun cuando no se detecten diferencias globales entre tratamientos.

La estadística de Prueba es denotada, por:

$$D_p = r_p \sqrt{\frac{CM_{error}}{n}}$$

Donde:

- $D_p$  = diferencia mínima significativa de Duncan para un rango p.
- $r_p$  = valor crítico del rango studentizado para p medias y un nivel de significancia  $\alpha$ .
- $CM_{error}$  = cuadrado medio del error obtenido del ANOVA
- $n$  = número de observaciones por tratamiento.

- $p$  = número de medias consecutivas incluidas entre las dos medias que se comparan.  
(Mendoza y Bautista, 2002)

Para realizar el método Duncan es necesario contar con los siguientes datos:

- Las medias ordenadas de mayor a menor.
- Los cuadrados medios del error, que se obtiene de la tabla ANVA.
- Los grados de libertad del error, se obtiene de la tabla ANVA y sirve para identificar los valores de la tabla Duncan
- El número de repeticiones, se obtiene de la tabla ANVA y sirve para calcular la varianza de las medias.
- El número de tratamientos, sirve para saber el número de medias a comparar.
- El nivel de significancia de la prueba.
- Los valores de la tabla Duncan. (Mellado, 2022)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Efecto del compost proveniente de la planta de tratamiento de residuos sólidos de Celendín para su aprovechamiento en la siembra de beterraga (*B. vulgaris*)

En relación al objetivo general de la investigación, se determinó que el compost de la planta de tratamiento de Celendín influyó significativamente en el desarrollo vegetativo de la beterraga (*B. vulgaris*). Esta respuesta se debe a que el fertilizante no solo aportó nutrientes, sino que también funcionó como un regulador del metabolismo. El compost actuó como fertilizante y regulador metabólico, mejorando la actividad de la enzima RubisCO y la síntesis de clorofila mediante magnesio y nitrógeno, lo que optimizó la captura de luz y el vigor foliar. El fósforo facilitó la síntesis de ATP para mitosis en meristemos radiculares, mientras que el potasio activó bombas ATPasa en el floema, promoviendo el traslado de fotosintatos al sumidero radical. Se evidenció en el ANOVA ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados, lo que confirma que la aplicación de compost tuvo un efecto directo en los parámetros morfológicos del cultivo.

Además, la prueba de Duncan permitió demostrar que el compost mejora significativamente el crecimiento de la beterraga de manera dosis-dependiente, permitiendo incluso sustituir parcial o totalmente el suelo agrícola sin afectar el desarrollo vegetal. Las proporciones de 50%, 75% y 100% superaron al control, destacando el 75% por lograr mayor longitud y peso fresco de raíz; sin embargo, la falta de diferencias significativas entre estas tres dosis indica un umbral de eficiencia cercano al 50%. Este efecto positivo se relaciona con el aumento de materia orgánica, la mejor retención de humedad y la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales, en concordancia con estudios previos. El efecto positivo del compost se

atribuyó a la mejora de las propiedades físicas y químicas del sustrato, debido al incremento de materia orgánica la mejora de la retención de humedad y la mayor disponibilidad de macronutrientes esenciales, N, P y K, favoreciendo el desarrollo radicular y foliar. Los resultados coinciden con Zapata (2023) y Huanca (2019), quienes señalan que la aplicación de enmiendas orgánicas. Asimismo, a diferencia de lo advertido por López (2007) respecto a la posible presencia de metales pesados en compost de origen urbano, el compost evaluado cumplió con los límites permisibles establecidos, garantizando su inocuidad para uso agrícola.

#### **4.2. Dosis de compost empleado en el cultivo de beterraga.**

La dosificación que se utilizó para nuestra investigación se detalla en la tabla 7, donde se aprecia los porcentajes de dosificación que se utilizó para la elaboración del sustrato, a partir de esta proporcionalidad se pueden evaluar y determinar los efectos del sustrato en el desarrollo vegetativo de la beterraga, cuya relación se ha establecido en función de algunos indicadores de la especie utilizada, los resultados obtenidos se muestran a continuación en las figuras que se han elaborado:

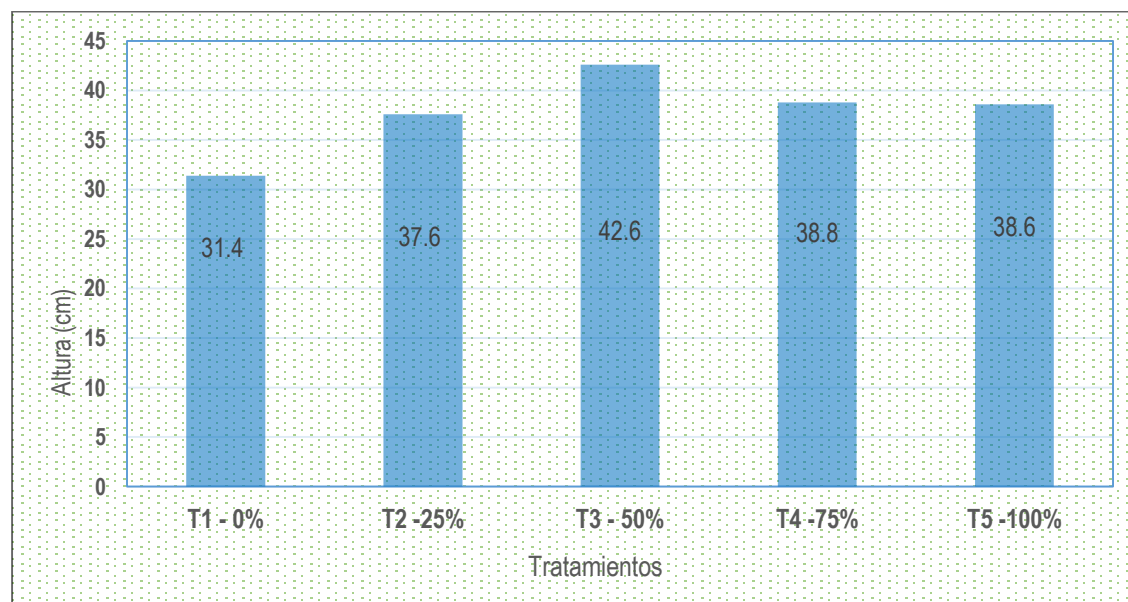
##### ***4.2.1. Altura de la planta***

Al establecer las comparaciones de los diferentes tratamientos en relación a la dosis del sustrato versus el desarrollo vegetativo de la beterraga, se evaluó como un indicador la altura de la planta, verificando que en el tratamiento T3, se obtuvo la mayor altura de la planta con 42.60 cm, en comparación con los demás tratamientos. Este incremento responde directamente al nitrógeno y magnesio detectados en la Tabla 12. El nitrógeno es el componente estructural de la molécula de clorofila y de la enzima RubisCO, esencial para la fijación de CO<sub>2</sub> en el ciclo de Calvin-Benson. El magnesio, como átomo central de la clorofila, garantiza que la maquinaria fotoquímica capte la

radiación necesaria para la elongación de los peciolo (Prieto Méndez et al., 2009). En la siguiente figura se aprecia las diferencias:

**Figura 3**

*Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – altura de planta*



En el gráfico se observa que el crecimiento se estabiliza entre T4 y T5. Desde el punto de vista de la ingeniería ambiental y la sostenibilidad, si el T4 (75%) proporciona resultados parecidos sin distinciones importantes en variables esenciales como la longitud de la planta se puede concluir que emplear un sustrato con 100% de compost (T5) no es factible económicamente. Por lo tanto, el resultado de este estudio, en el cual el tratamiento con 50% de compost (T3) logró la mayor altura de la planta (42.6 cm), coincide con investigaciones anteriores que demuestran el beneficio del compost en el desarrollo de las plantas. Estudios como los realizados por Arana (2012) y Huanca (2019) también evidenciaron un incremento en el tamaño de la beterraga o remolacha al utilizar abonos orgánicos, en particular compost, gracias a su contribución de nutrientes y a la mejora de la estructura del terreno.

#### **4.2.2. Longitud de la raíz**



El desarrollo vegetativo de la beterraga en relación al indicador de crecimiento de la raíz, está determinado por el mayor crecimiento en longitud de la raíz. El fósforo disponible del compost, estimula la longitud radicular, como acumulador de energía en forma de ATP, el fósforo ofrece el combustible requerido para la división celular y la mitosis en el meristemo apical de la raíz (Huanca y Blanco, 2019). Se evidencia que el T3 presenta las plántulas que en promedio tuvieron un desarrollo sobresaliente de 15.20 cm. en comparación con los demás tratamientos.

#### Figura 4

*Comparaciones entre tratamiento relacionado al indicador – longitud de la raíz*



El tratamiento T3, que incorpora un 50% de compost, logró la máxima longitud de raíz (15.2 cm) debido a que esta concentración optimiza de manera equilibrada las características físicas, químicas y biológicas del medio de cultivo. El compost incrementa la porosidad y la ventilación, lo que facilita el desarrollo de raíces gruesas como las de la beterraga. Asimismo, suministra elementos nutritivos clave (N, P y K) y microorganismos beneficiosos que promueven la expansión celular y la captación de nutrientes. Estos mecanismos justifican el significativo

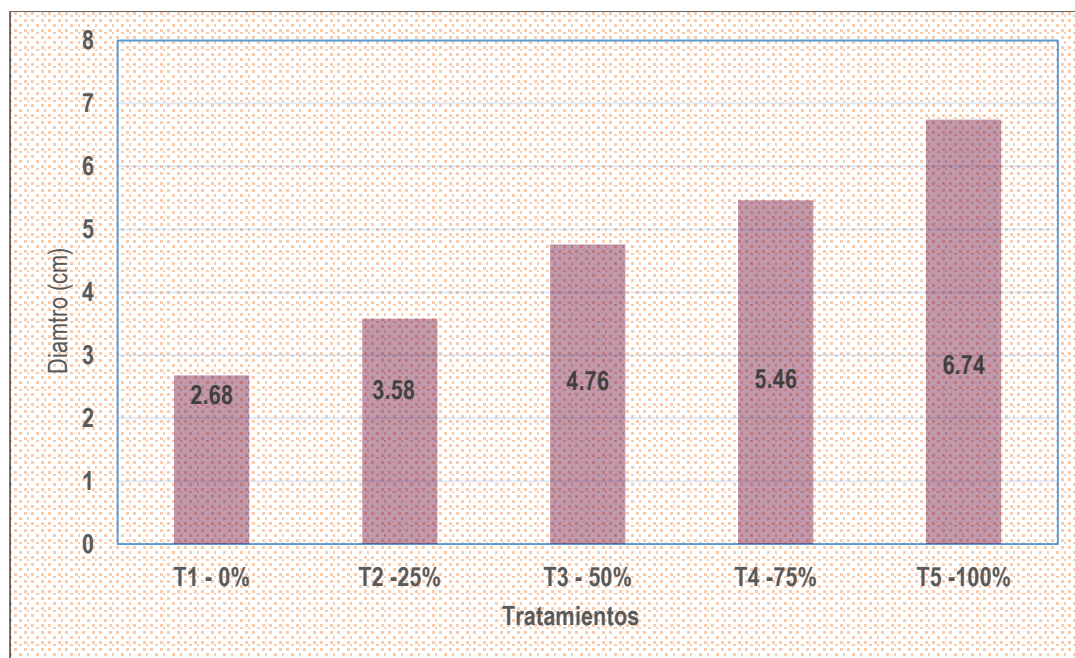
aumento en la longitud radicular, alineándose con las conclusiones de Huanca (2019) y Zapata (2023).

#### 4.2.3. *Diámetro de la raíz*

En relación con el engrosamiento de la raíz de la beterraga, se observó que el tratamiento T5 logró el diámetro promedio más alto de raíz (6.74 cm), destacándose de manera significativa sobre los otros tratamientos. Esto sugiere una mayor efectividad de dicho tratamiento para fomentar el crecimiento del tejido de reserva, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

**Figura 5**

*Variación del diámetro de la raíz en función a los tratamientos*



El tratamiento T5, compuesto al 100% por compost, registró el diámetro radicular más elevado (6.74 cm), lo que demuestra que el compost puro crea un entorno ideal para el crecimiento secundario de la remolacha. Este beneficio se debe principalmente a la elevada concentración de potasio (2.43%), un nutriente que estimula la actividad de la ATPasa en el floema, facilitando el

traslado de sacarosa hacia la raíz. La acumulación de azúcares en las vacuolas genera un gradiente osmótico que aumenta la turgencia celular, impulsando así la expansión de los tejidos de almacenamiento. Además, el compost mejora la porosidad y la estructura del sustrato, minimizando obstáculos mecánicos y optimizando la captación de nutrientes. Estos hallazgos se alinean con los estudios de Arana (2012) y Manga (2022), quienes evidenciaron que los fertilizantes orgánicos promueven un mayor engrosamiento radicular. En conjunto, los datos indican que el compost es capaz de enriquecer el suelo agrícola y estimular el desarrollo de las raíces engrosándolas.

#### **4.2.4. *Peso de la raíz.***

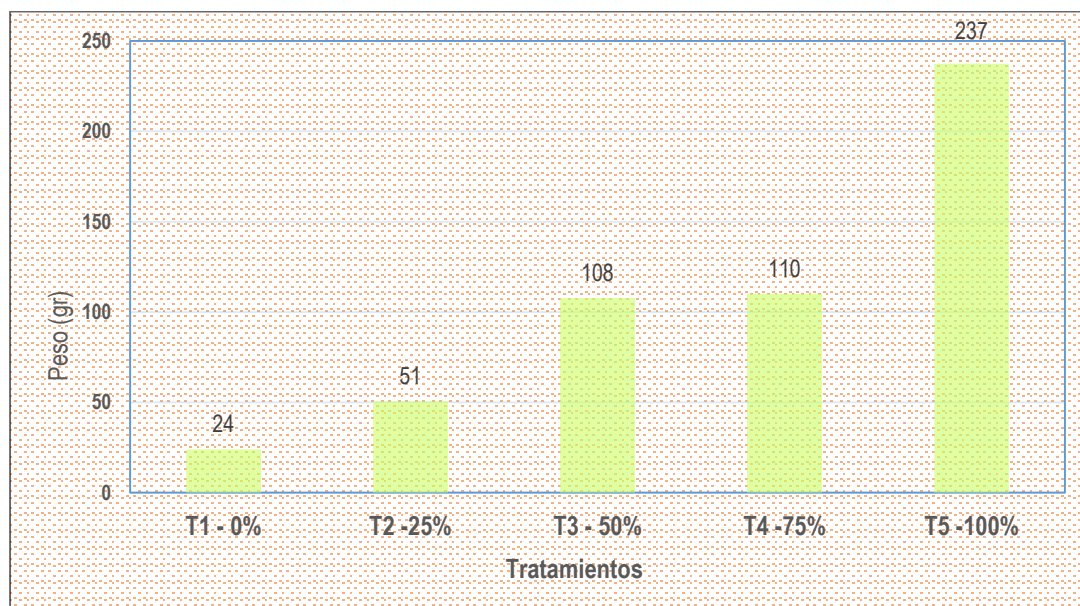
Los resultados obtenidos en relación al peso de la raíz indican que el tratamiento T5 con 237.40 g, destacándose notablemente sobre los otros tratamientos y multiplicando por tres el rendimiento del control, lo que resalta la notable eficacia del compost como sustrato exclusivo; este tratamiento corresponde a un sustrato conformado en su totalidad por compost.

La beterraga, al ser una planta halófila tiene la habilidad de llevar a cabo un ajuste osmótico eficaz al acumular solutos compatibles como glicina, betaina (trimetilglicina) y prolina. En T5, la alta concentración de iones suministrada por el compost apoyó este mecanismo osmótico, permitiendo que la planta conserve un contenido hídrico relativo adecuado y convierta la raíz en el principal destino metabólico, lo que facilita la retención de agua y la acumulación de fotosintatos (Vélez Chang et al., 2022). Además, el calcio presente en el compost (4.08%) ayudó a reforzar las paredes celulares, incrementando la resistencia estructural del tejido radicular ante el aumento de peso. Este aporte permitió una expansión de la raíz sin daños mecánicos, maximizando la acumulación de biomasa (Wyn Jones & Lunt, 1967). En general, estos hallazgos confirman que un sustrato formado solo por compost crea condiciones físicas y químicas que impulsan el

rendimiento radicular de la beterraga, consolidando su valor como recurso esencial en prácticas agrícolas sostenibles.

### Figura 6

*Análisis comparativo del peso de la raíz por tratamiento*



El tratamiento T5, constituido en un 100% por compost, obtuvo el mayor peso en las raíces, lo que evidencia que una elevada proporción de materia orgánica impulsa de manera notable el incremento de la biomasa radicular. Esta conclusión se atribuye a la mejora general del sustrato proporcionado por el compost, que eleva la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de retención de agua y la actividad microbiana, aspectos fundamentales para el desarrollo de los órganos de almacenamiento. Los resultados coinciden con las observaciones de Huanca (2019) y Zapata (2023), quienes subrayan que el compost mejora el rendimiento radicular al optimizar la fertilidad del suelo. Igualmente, los estudios de Arana (2012) y Manga (2022) indican que los fertilizantes orgánicos incrementan el peso y la calidad comercial de las raíces, verificando que la materia

orgánica no solo activa procesos fisiológicos esenciales, sino que también eleva la productividad del cultivo.

#### **4.2.5. Resumen de resultados por tratamiento**

El experimento utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos (T1 a T5) y 5 repeticiones cada uno, y demuestra que el compost municipal es una alternativa técnica y ambientalmente segura que puede reemplazar total o parcialmente al suelo agrícola tradicional en Celendín.

**Tabla 10**

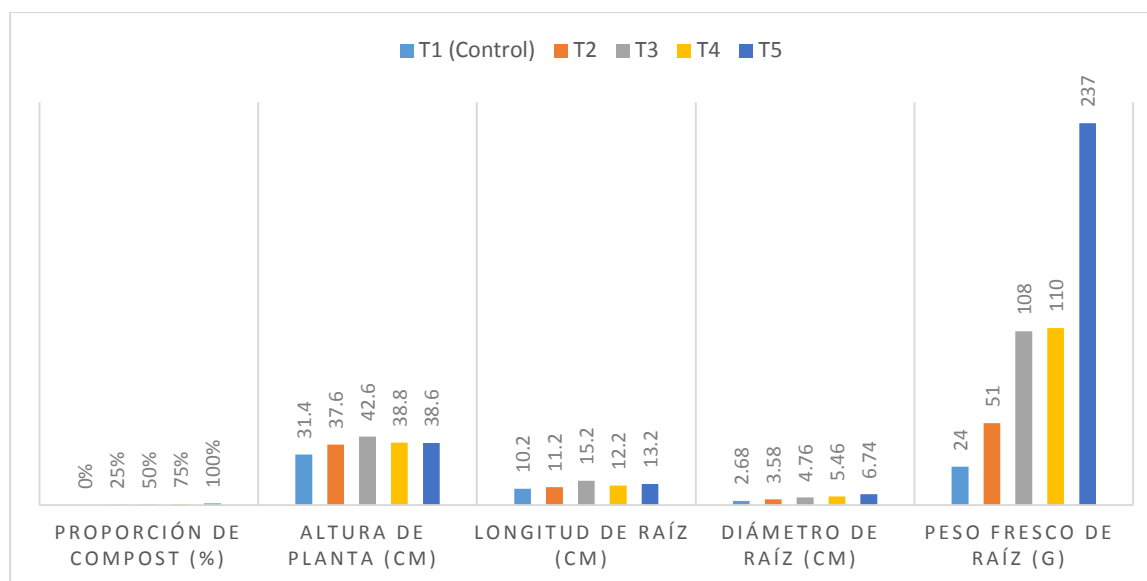
*Resumen por unidades experimentales de acuerdo al promedio de cada indicador.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Proporción de Compost (%)</b>	<b>Altura de Planta (cm)</b>	<b>Longitud de Raíz (cm)</b>	<b>Diámetro de Raíz (cm)</b>	<b>Peso Fresco de Raíz (g)</b>
<b>T1 (Control)</b>	0%	31.40	10.20	2.68	24.00
<b>T2</b>	25%	37.60	11.20	3.58	51.00
<b>T3</b>	50%	42.60	15.20	4.76	108.00
<b>T4</b>	75%	38.80	12.20	5.46	110.00
<b>T5</b>	100%	38.60	13.20	6.74	237.00

También se presenta un gráfico con el fin de facilitar la interpretación de los resultados con base en el resumen de las unidades experimentales.

**Figura 7**

*Promedio de cada indicador de acuerdo a las unidades experimentales*



En el gráfico se representa el resumen de los resultados de las unidades experimentales, permitiendo comparar como cada tratamiento supera al testigo y en qué punto el crecimiento se estabiliza. Se nota una leve disminución o estabilización entre los tratamientos T4 y T5, puesto que demuestra que no es imprescindible emplear el 100% de compost para lograr el óptimo rendimiento; desde una perspectiva económica, el tratamiento con 75% resulta el más eficiente.

#### **4.3. Análisis fisicoquímico del compost**

En la investigación se utilizó como abono orgánico el compost elaborado en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Celendín. Se requirieron 62,5 kg de compost, los cuales fueron distribuidos de acuerdo con las dosificaciones establecidas para cada tratamiento.

Los análisis tanto del compost como del suelo experimental se realizaron el 25 de abril de 2024. Para el análisis del compost, se envió una muestra de 1 kg a un laboratorio especializado.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los estándares de calidad establecidos en las normas técnicas de Colombia y Chile para compost.

**Tabla 11**

*Análisis físico-químico del compost en comparación con los LMP*

Indicador	Valor en los análisis	Calidad de compost NTC 5167 (1)	Calidad del compost según NOCh 2880.Of2004 (2)
N (%)	0.72	> 1	$\geq 0.5$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	1.05	> 1	-
K <sub>2</sub> O (%)	2.43	> 1	-
CaO (%)	4.08	> 1	-
MgO (%)	5,96.00	> 1	-
C.E (dS <sup>-1</sup> )	14.77	-	< 3
pH	9.11	-	5 – 8.5
Fe (ppm)	9535.65	-	-
Cu (ppm)	12.31	-	-
Zn (ppm)	127.38	-	-
Mn (ppm)	10.28	-	-
Pb (ppm)	11.46	-	-
Cd (ppm)	<0.012	-	-
B (ppm)	127.44	-	-

*Nota:* Datos obtenidos de los análisis de Laboratorio de Agua, Suelo Medio Ambiente y Fertiliriego-UNALM

(1) Norma Técnica Colombiana, 2004, establece los requisitos de cumplimiento y los ensayos a las que deben ser sometidos los productos orgánicos como abonos y enmiendas.

(2) Esta Norma Oficial Chilena NOCh .2880, establece la clasificación y requisitos de calidad de compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados por: agroindustria, agrícola, forestales, ganaderos, pesqueros y de mercados.

#### **4.3.1. Análisis físico**

##### **a. pH**

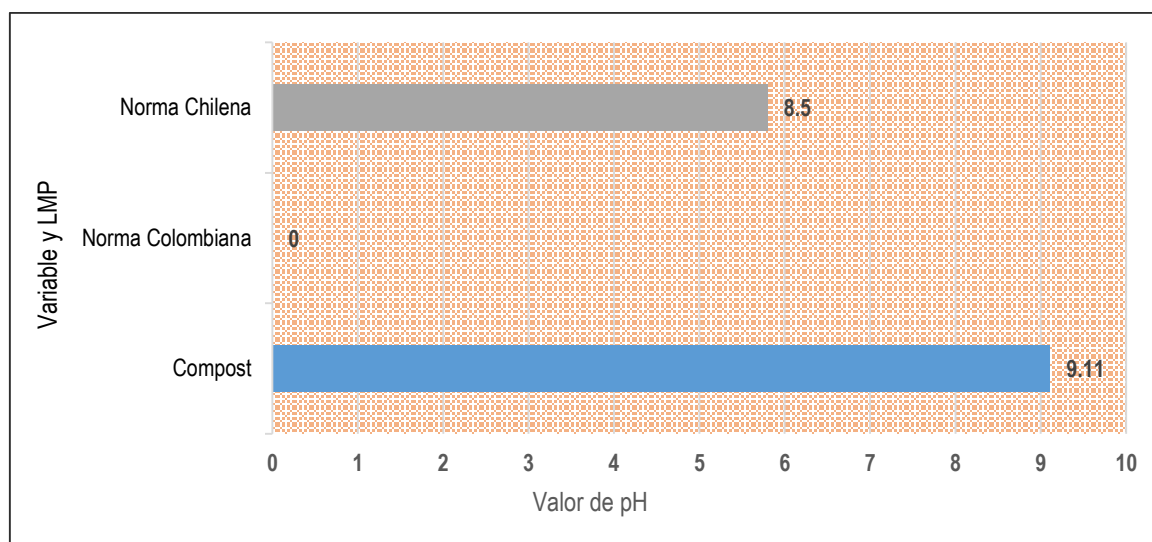
Este parámetro tiene una concentración de 9.11, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles según la Norma Chilena NOCh 2880.Of2004, establece un rango de valores de pH

entre 5-8.5 para compost, lo cual indica que este indicador está por encima del límite máximo permisible

EL pH también es un buen indicador de la marcha del proceso ya que, por lo general, durante el compostaje, el pH disminuye ligeramente, para subir posteriormente a medida que el material se va estabilizando, quedando al final del proceso entre 7 y 8. Si los valores son más bajos esto representaría que se han producido fenómenos de anaerobiosis y que el material no está aún maduro. Si el pH del sustrato se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de solubilidad. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

### Figura 8

*Comparativo entre los LMP y el indicador pH*



El estudio físico del compost mostró un pH de 9.11, que excede el límite máximo fijado por la Norma Chilena NOCh 2880.Of2004, la cual indica un rango ideal de 5.0 a 8.5 para compost de alta calidad. Este hallazgo señala una leve alcalinidad, lo que podría influir en la



disponibilidad de algunos nutrientes vitales y, en consecuencia, afectar el crecimiento de los cultivos.

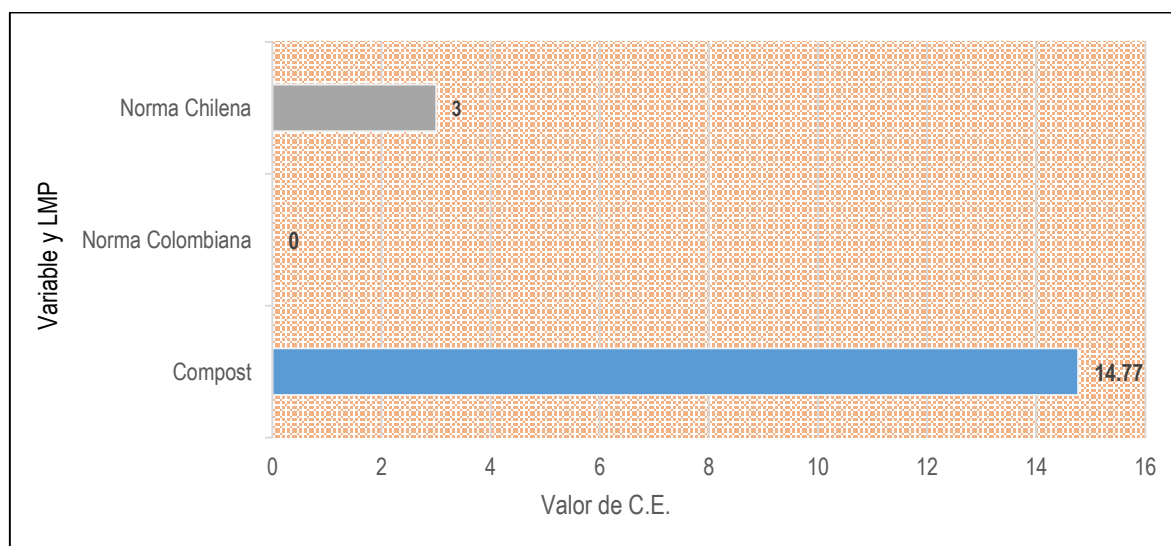
### b. Conductividad eléctrica (C.E)

En el análisis correspondiente, se observó que la conductividad eléctrica (C.E.) supera los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la Norma Chilena NCh 2880.Of2004, por lo que este parámetro debe ser considerado cuidadosamente para la utilización del compost.

Una mayor conductividad eléctrica indica una mayor concentración de sales solubles, lo cual puede generar efectos adversos en los cultivos. Se recomienda que la C.E. de un sustrato sea baja, preferiblemente menor a  $1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , ya que una conductividad adecuada facilita el manejo de la fertilización y reduce el riesgo de fitotoxicidad (Barbaro et al., 2018).

**Figura 9**

*Comparativo entre los LMP y la conductividad eléctrica*



El compost registró una C.E. de  $14.77 \text{ dS/m}$  en el insumo puro, que supera considerablemente el límite establecido por la Norma Chilena NCh 2880.Of2004 de  $3 \text{ dS/m}$ .

En la mayoría de los cultivos, una salinidad superior a 4 dS/m se considera inhibitoria. Sin embargo, los resultados mostraron que el tratamiento T5 (100% compost) no solo sobrevivió, sino que obtuvo el mayor peso fresco de raíz 237.41 g.

Esta resiliencia explica mediante la ecofisiología de las Chenopodiaceae, que la beterraga por herencia genética la cual descende de la especie halófito y posee mecanismos de ajuste osmótico que les permiten acumular iones de sodio y cloro en sus vacuolas para reducir su potencial hídrico interno y así succionar agua del suelo salino sin sufrir deshidratación. (Ghoulam et al., 2002)

En este estudio, la combinación de compost con el suelo base disminuyó la CE efectiva a 1.46 dS/m en el tratamiento con 75% de dosis, lo que se encuentra dentro de un rango ideal que favorece el crecimiento sin llegar al límite del estrés hídrico severo.

Lo que Zapata (2023) propuso, acerca de que el compost con una carga orgánica alta mejora el rendimiento de la beterraga, se ve reforzado por nuestros resultados, ya que este autor evidenció que la materia orgánica funciona como un "buffer" o amortiguador. Esto sucede porque eleva tanto la porosidad del sustrato como su capacidad para retener humedad y disminuir así los efectos adversos de la salinidad.

#### **4.3.2. Análisis químico**

- **Nitrógeno**

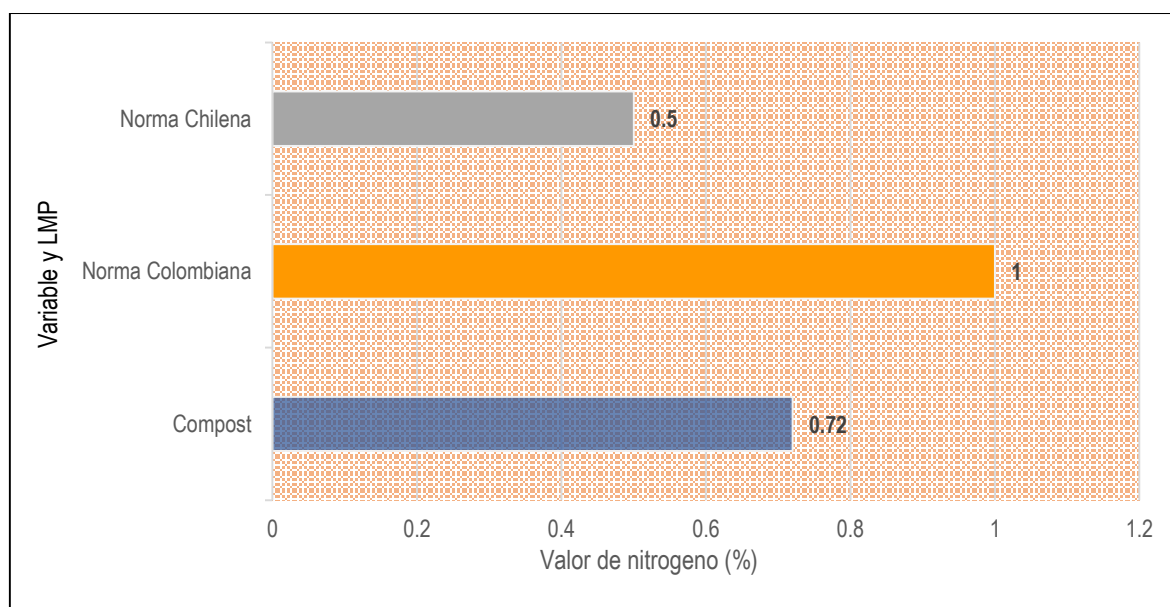
Según el análisis realizado, el contenido de nitrógeno en el compost (0,72 %) se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la Norma Chilena NCh 2880.Of2004 y la Norma Técnica Colombiana NTC 5167, lo que indica su adecuada calidad para uso agrícola. Este nivel de nitrógeno favorece el desarrollo de la masa foliar, lo que se

traduce en un incremento del área foliar y, en consecuencia, en una mayor eficiencia en la captación de luz solar.

En diferencia a lo anterior, las plantas con deficiencia de nitrógeno suelen presentar crecimiento reducido, así como clorosis, es decir, una decoloración amarillenta de las hojas que comienza en las puntas y se extiende progresivamente. Por tanto, la concentración observada en el compost representa una ventaja agronómica, especialmente en etapas críticas del desarrollo vegetal.

**Figura 10**

*Comparativo entre los LPM y el indicador nitrógeno*



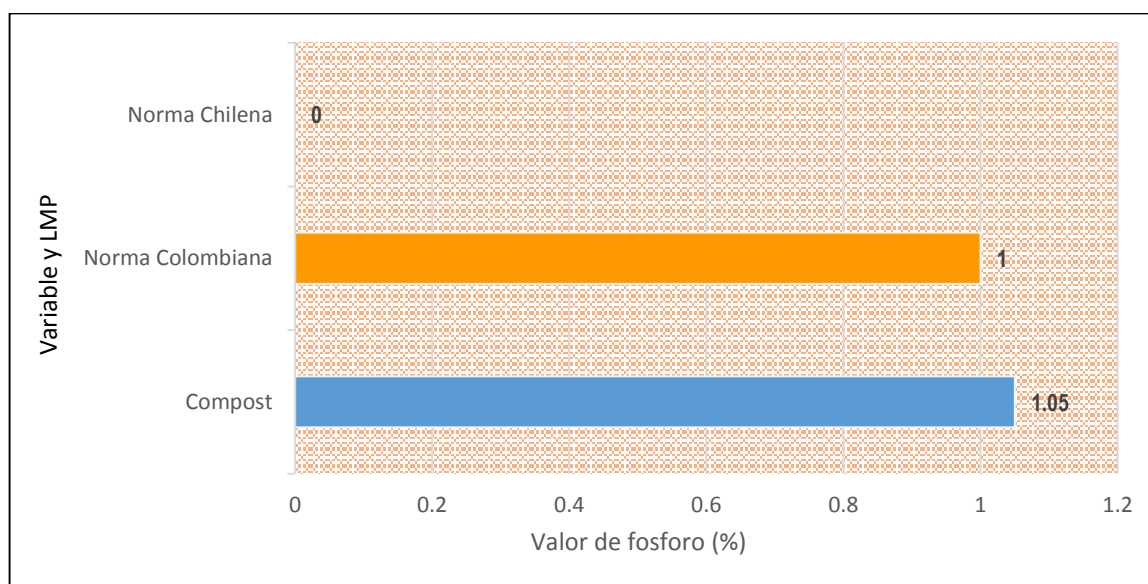
- **Fósforo**

El fósforo es un macronutriente esencial tanto para las plantas como para los microorganismos del suelo, al igual que el nitrógeno y el potasio. Su importancia radica en que forma parte fundamental de los ácidos nucleicos, fosfolípidos y compuestos energéticos como el ATP, por lo que cumple un rol clave en los procesos de crecimiento, desarrollo celular y transferencia

de energía. No obstante, el fósforo puede convertirse en un nutriente limitante debido a su baja movilidad en el suelo y su disponibilidad restringida para las plantas (Taiz & Zeiger, 2006). Según la Norma Técnica Colombiana NTC 5167, el contenido máximo permisible de fósforo en compost es de 1 %. Sin embargo, los resultados obtenidos del compost supera dicho límite, situándose fuera del rango establecido.

**Figura 11**

*Comparativo entre los LMP y el indicador fósforo*



- **Potasio**

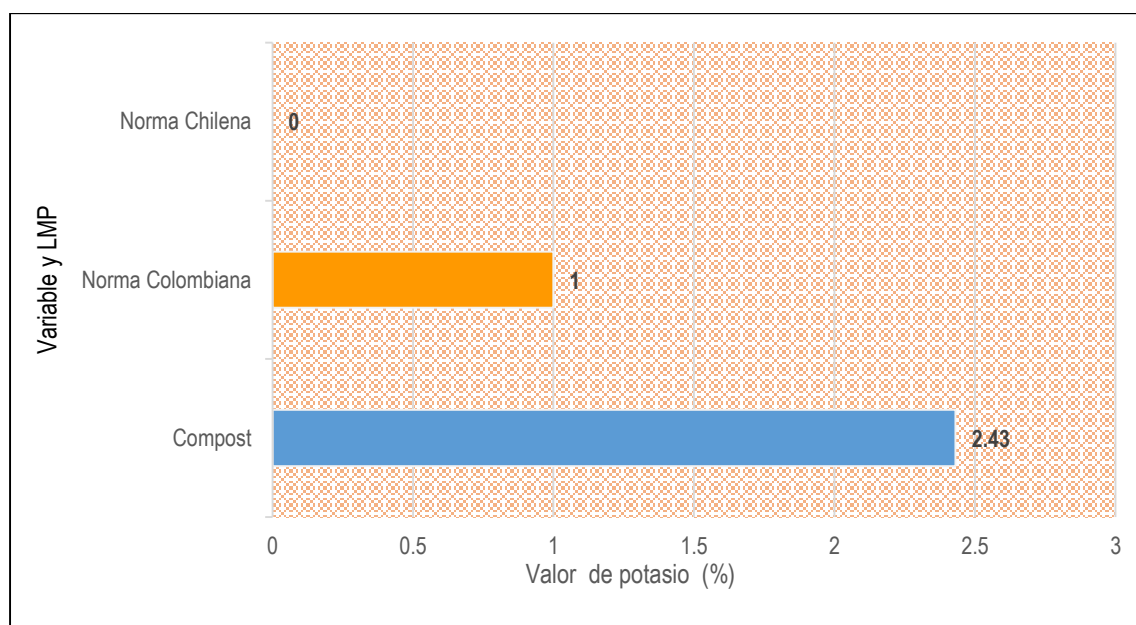
El potasio (K) es un macronutriente esencial para el desarrollo vegetal, aunque solo entre el 1 % y 2 % del potasio total presente en el suelo se encuentra en formas disponibles para las plantas. A pesar de esta baja disponibilidad, en muchos casos es suficiente para cubrir los requerimientos de ciertos cultivos, dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones agronómicas.

En los resultados de laboratorio, se determinó una concentración de potasio de 2,43 % en el compost evaluado, valor que excede el límite máximo permitido por la Norma Técnica

Colombiana NTC 5167, la cual establece un tope de 1 %. Este exceso podría representar un riesgo potencial, ya que niveles elevados de potasio pueden generar desequilibrios nutricionales, afectando la absorción de otros elementos como el magnesio y el calcio, además de contribuir a la salinización del suelo si no se maneja adecuadamente.

**Figura 12**

*Comparativo entre los LMP y el indicador potasio*



- **Calcio**

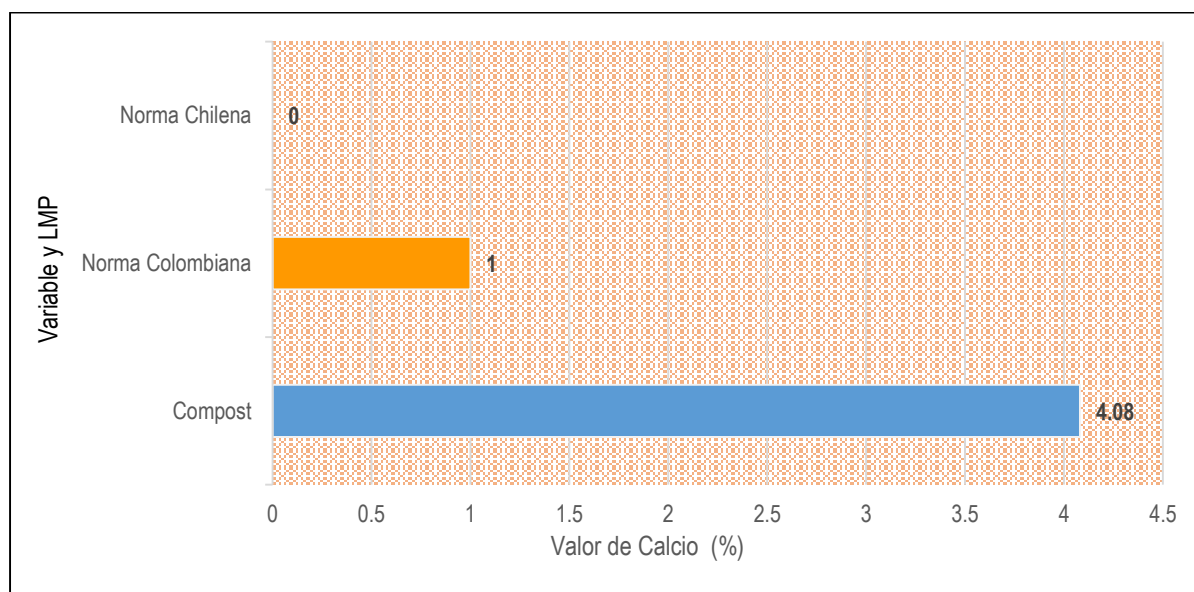
El análisis químico del compost revela una concentración de calcio del 4,08 %, valor que supera el límite máximo permisible establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 5167, la cual fija un tope del 1 %. Este resultado indica un exceso significativo de este nutriente en el material evaluado. Aunque el calcio es un elemento esencial para el crecimiento vegetal, su importancia radica principalmente en su función como agente enmendante del suelo más que como nutriente directo. El calcio actúa como un material cálcico que contribuye a elevar el

pH del suelo y reducir su acidez, mejorando así la disponibilidad de otros nutrientes y favoreciendo la actividad microbiana.

Además, el calcio desempeña un papel fundamental en la integridad estructural de las paredes celulares y en la activación de mecanismos fisiológicos que fortalecen la capacidad de las plantas para enfrentar el estrés ambiental y diversos patógenos. Sin embargo, una concentración excesiva podría generar desequilibrios iónicos en el suelo, afectando la absorción de otros elementos como magnesio y potasio. (Taiz & Zeiger, 2006)

### Figura 13

*Comparativo entre los LMP y el indicador calcio*



- **Magnesio**

El magnesio, junto con el calcio y el azufre, forma parte de los nutrientes secundarios esenciales que las plantas requieren para un crecimiento saludable y un desarrollo fisiológico adecuado. Este elemento cumple funciones clave, como su participación en la síntesis de clorofila, la activación enzimática y el transporte de nutrientes dentro de la planta. La deficiencia de magnesio puede provocar clorosis internervial, disminución del rendimiento y

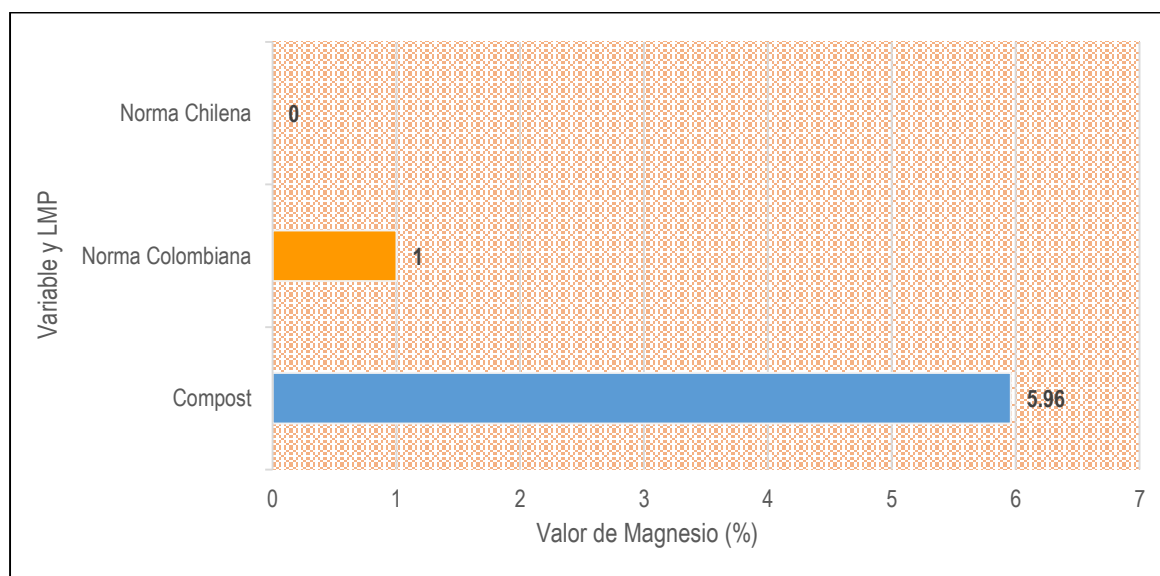
una mayor susceptibilidad a enfermedades. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002)

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 5167, el límite máximo permisible (LMP) de magnesio en compost es del 1 %. No obstante, los análisis de laboratorio realizados en esta investigación indican una concentración de 5,96 %, valor que excede ampliamente el límite establecido.

Este contenido elevado de magnesio podría ocasionar desequilibrios nutricionales en el suelo, interfiriendo en la absorción de otros cationes esenciales como el calcio y el potasio, especialmente en suelos de textura ligera o con baja capacidad de intercambio catiónico.

#### Figura 14

*Comparativo entre los LMP y el indicador magnesio*



#### 4.4. Efecto del sustrato en la beterraga a través de los indicadores: Altura de la planta (AP), longitud de la raíz (LR), diámetro de la raíz (DR), peso fresco de la raíz (PFR)

##### 4.4.1. Análisis de resultados en relación al indicador Altura de la planta (AP)

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos a nivel promedios del diseño experimental a través de los cuales se ha realizado el análisis de varianza a fin de poder determinar el grado de significancia.

**Tabla 12**

*Datos obtenidos del diseño experimental*

AP	TRATAMIENTOS				
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5
1	34.00	37.00	47.00	43.00	33.00
2	32.00	42.00	46.00	32.00	33.00
3	32.00	34.00	42.00	37.00	47.00
4	27.00	40.00	32.00	39.00	34.00
5	32.00	35.00	46.00	43.00	46.00
suma	157.00	188.00	213.00	194.00	193.00
Prom.	31.40	37.60	42.60	38.80	38.60
Var.	6.80	11.30	38.80	21.20	52.30

**Tabla 13**

*Análisis de variancia del indicador altura de la planta (AP)*

Origen de las variaciones	G.L	SC	CME	F.C	F.T	Probabilidad
Tratamientos	4	328.4	82.10	3.15	2.87	0.04
Error	20	521.6	26.08			
Total	24	850.0				



**CV (%)      13.51%**

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, el valor de F calculado (3.15) supera al valor de F crítico tabulado (2.87), lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en relación con el indicador altura de la planta. El coeficiente de variación (CV) de 13.51%, indica que el experimento tiene una buena precisión y confiabilidad, ya que se encuentra dentro de los rangos aceptables para experimentos agrícolas y biológicos (generalmente menores al 20%). A partir de este resultado, se procedió a identificar específicamente entre qué tratamientos se presentan dichas diferencias, aplicando la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, basada en las amplitudes estudiantizadas significativas.

**Tabla 14**

*Amplitudes estudiantizadas significativas.*

Valores de p	2	3	4	5
<b>AES (D)</b>	3.00	3.15	3.23	3.30
Sy = 2.28				
<b>ALS (D)</b>	6.85	7.19	7.38	7.54

De acuerdo con los hallazgos logrados, el valor de F estimado (3.15) superó al valor de F crítico (2.87), lo que señala que hay diferencias estadísticas importantes entre los tratamientos implementados. Esto corrobora que la concentración de compost tiene un impacto directo en la altura de la planta de beterraga.

Para determinar entre qué tratamientos se producen estas discrepancias, se empleó el test de comparaciones múltiples de Duncan, empleando las amplitudes estudiantizadas significativas (AES). Esta evaluación reveló que el tratamiento T3 (50% compost) produjo un incremento

notablemente superior en comparación con los tratamientos de dosis reducidas, lo que corrobora los resultados obtenidos.

Para realizar la tabla de comparaciones significativas se desarrolló la tabla de claves para facilitar la interpretación:

**Tabla 15**

*Claves para comparaciones de tratamiento*

<b>Tratamiento</b>	<b>T 1</b>	<b>T2</b>	<b>T5</b>	<b>T4</b>	<b>T3</b>
<b>Prom</b>	31.4	37.6	38.6	38.8	42.6
<b>Clave</b>	I	II	III	IV	V

A continuación, se presentan los niveles de significancia obtenidos a partir de la comparación entre los distintos tratamientos y el grupo control, con el propósito de identificar cuáles de ellos generan efectos estadísticamente significativos sobre el indicador evaluado.

**Tabla 16**

*Nivel de significación entre los tratamientos*

<b>Clave</b>	<b>Diferencia de promedios</b>	<b>ALS(D)</b>	<b>Resultado</b>
<b>V - I</b>	11.20	7.54	Significativo
<b>V-II</b>	5.00	7.38	No significativo
<b>V-III</b>	4.00	7.19	No significativo
<b>V - IV</b>	3.80	6.85	No significativo
<b>IV - I</b>	7.40	7.38	Significativo
<b>IV - II</b>	1.20	7.19	No significativo
<b>IV - III</b>	0.20	6.85	No significativo
<b>III - I</b>	7.20	7.19	Significativo
<b>III - II</b>	1.00	6.85	No significativo
<b>II - I</b>	6.20	6.85	No significativo

De acuerdo con el gráfico presentado, se observa que los tratamientos III, IV y V presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento I (grupo control), lo que evidencia que los niveles de sustrato con 50 %, 75 % y 100 % de compost influyen positivamente en el indicador altura de la planta. No obstante, entre estos tres tratamientos no se registran diferencias significativas entre sí, lo cual sugiere que, a partir de una proporción del 50 % de compost, aporta suficiente materia orgánica, nutrientes y mejora estructural del suelo para maximizar el crecimiento, generando un efecto de saturación, donde incrementos adicionales de compost ya no producen aumentos estadísticamente detectables en la altura. Así, el compost mejora el desarrollo vegetativo principalmente al superar las limitaciones del suelo base, pero una vez cubiertas estas necesidades, el crecimiento se estabiliza.

Estos resultados evidencian que incluso niveles moderados de compost ( $\geq 25$  %) generan mejoras significativas en el desarrollo de la planta, respaldando su uso como una enmienda orgánica eficiente y ambientalmente sostenible, promoviendo una gestión sostenible de residuos orgánicos mediante su valorización como fertilizante natural.

#### ***4.4.2. Análisis de resultados en relación al indicador longitud de la raíz (LR)***

En la siguiente tabla se presentan los valores promedio obtenidos a partir del diseño experimental, los cuales fueron utilizados para realizar el análisis de varianza con el propósito de determinar el grado de significancia estadística entre los tratamientos.

**Tabla 17***Datos obtenidos del diseño experimental*

AP	TRATAMIENTOS				
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5
1	10.00	12.00	21.00	13.00	15.00
2	11.00	10.00	11.00	13.00	12.00
3	9.00	13.00	9.00	10.00	14.00
4	10.00	10.00	16.00	12.00	11.00
5	11.00	11.00	19.00	13.00	14.00
Suma	51.00	56.00	76.00	61.00	66.00
Prom.	10.20	11.20	15.20	12.20	13.20
Var.	0.70	1.70	26.20	1.70	2.70

**Tabla 18***Análisis de variancia del indicador longitud de la raíz (LR)*

Origen de las variaciones	G.L	SC	CME	F.C	F.T	Probabilidad
Tratamientos	4	74	18.50	2.803	2.866	0.053
Error	20	132	6.60			
Total	24	206				
CV (%)	20.65 %					

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla anterior, el valor de F calculado (2.803) es inferior al valor de F crítico tabulado (2.866), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en relación con el indicador longitud de la raíz. Esto sucede comúnmente cuando se llega a un punto de saturación en el que cantidades mayores no exceden los límites genéticos de elongación o favorecen el engrosamiento del hipocótilo. Por su ascendencia halófito, la planta efectúa un ajuste osmótico utilizando solutos

como la prolina y la betaína de glicina para captar agua incluso en condiciones de alta carga iónica (Vélez Chang et al., 2022). El Coeficiente de Variación (CV) de 20.65 %, lo cual indica que el experimento tiene una precisión moderada. No obstante, con el fin de confirmar este resultado y descartar posibles diferencias puntuales entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, basada en las amplitudes estudiantizadas significativas.

**Tabla 19**

*Amplitudes estudiantizadas significativas.*

Valores de p	2	3	4	5
<b>AES (D)</b>	3.00	3.15	3.23	3.30
Sy = 1.149				
<b>ALS (D)</b>	3.45	3.62	3.71	3.79

Para la elaboración de la tabla de comparaciones significativas, se construyó una tabla de claves con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos.

**Tabla 19**

*Claves para comparaciones de tratamiento*

Tratamiento	T 1	T2	T4	T5	T4
<b>Prom</b>	10.2	11.2	12.2	13.2	15.2
<b>Clave</b>	I	II	III	IV	V

Seguidamente, se presentan los niveles de significancia obtenidos a partir de la comparación entre los distintos tratamientos y el grupo control, con el propósito de identificar cuáles de ellos generan efectos estadísticamente significativos sobre el indicador evaluado.

**Tabla 20***Nivel de significación entre los tratamientos*

<b>Clave</b>	<b>Diferencia de promedios</b>	<b>ALS(D)</b>	<b>Resultado</b>
<b>V - I</b>	5.00	3.79	Significativo
<b>V-II</b>	4.00	3.71	Significativo
<b>V-III</b>	3.00	3.62	No significativo
<b>V - IV</b>	2.00	3.45	No significativo
<b>IV - I</b>	3.00	3.71	No significativo
<b>IV - II</b>	2.00	3.62	No significativo
<b>IV - III</b>	1.00	3.45	No significativo
<b>III - I</b>	2.00	3.62	No significativo
<b>III - II</b>	1.00	3.45	No significativo
<b>II - I</b>	1.00	3.45	No significativo

De acuerdo con el gráfico presentado, se observa que el tratamiento V presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto a los tratamientos I y II, lo que indica que la aplicación de un sustrato con 75 % de compost (T4) tiene un efecto positivo sobre el indicador longitud de la raíz en comparación con el grupo control. Básicamente, esta reacción se basa en la mejora de la estructura física del sustrato; la adición de materia orgánica disminuye la densidad aparente y fortalece la estabilidad de los agregados, lo que reduce la resistencia mecánica que enfrenta la elongación de las raíces (Vélez Chang et al., 2022).

#### **4.4.3. Análisis de resultados en relación al indicador diámetro de la raíz (DR)**

En la siguiente tabla se presentan los valores promedio obtenidos a partir del diseño experimental, los cuales fueron utilizados para realizar el análisis de varianza con el propósito de determinar el grado de significancia estadística entre los tratamientos.

**Tabla 21***Datos obtenidos del diseño experimental – diámetro de la raíz*

AP	TRATAMIENTOS				
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5
1	2.200	3.600	3.800	5.100	7.000
2	2.400	3.600	5.700	4.900	6.700
3	2.500	3.400	4.800	5.800	6.100
4	3.200	3.900	4.400	5.400	6.700
5	3.100	3.400	5.100	6.100	7.200
<b>Suma</b>	13.400	17.900	23.800	27.300	33.700
<b>Prom.</b>	2.680	3.580	4.760	5.460	6.740
<b>Var.</b>	0.197	0.042	0.513	0.243	0.173

**Tabla 22***Análisis de variancia del indicador diámetro de la Raíz (D.R)*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>G.L</i>	<i>SC</i>	<i>CME</i>	<i>F.C</i>	<i>F.T</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	4	50.3	12.57	53.84	2.866	1.992
Error	20	4.67	0.233			
Total	24	54.98				
<b>CV (%)</b>	<b>10.38 %</b>					

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla anterior, el valor de F calculado (53.84) es considerablemente superior al valor de F crítico tabulado (2.866), lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con respecto al indicador diámetro de la raíz. El Coeficiente de Variación (CV) de 10.38 %, lo cual indica que el

experimento tiene una alta precisión. Con el propósito de identificar específicamente entre qué tratamientos se presentan dichas diferencias y validar este hallazgo, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, basada en las amplitudes estudiantizadas significativas.

**Tabla 23**

*Amplitudes estudiantizadas significativas- diámetro de la raíz*

Valores de p	2	3	4	5
AES (D)	3.00	3.15	3.23	3.30
Sy = 1.149				
ALS (D)	3.45	3.62	3.71	3.79

Para la elaboración de la tabla de comparaciones significativas, se construyó una tabla de claves con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos.

**Tabla 24**

*Claves para comparaciones de tratamiento - diámetro de la raíz*

Tratamiento	T 1	T2	T3	T4	T5
Prom	10.2	11.2	12.2	13.2	15.2
Clave	I	II	III	IV	V

Seguidamente, se presentan los niveles de significancia obtenidos a partir de la comparación entre los distintos tratamientos y el grupo control, con el propósito de identificar cuáles de ellos generan efectos estadísticamente significativos sobre el indicador evaluado.



**Tabla 25**

*Nivel de significación entre los tratamientos – diámetro de la raíz.*

<b>Clave</b>	<b>Diferencia de promedios</b>	<b>ALS(D)</b>	<b>Resultado</b>
<b>V - I</b>	5.00	3.79	Significativo
<b>V-II</b>	4.00	3.71	Significativo
<b>V-III</b>	3.00	3.62	Significativo
<b>V - IV</b>	2.00	3.45	Significativo
<b>IV - I</b>	3.00	3.71	Significativo
<b>IV - II</b>	2.00	3.62	Significativo
<b>IV - III</b>	1.00	3.45	Significativo
<b>III - I</b>	2.00	3.62	Significativo
<b>III - II</b>	1.00	3.45	Significativo
<b>II - I</b>	1.00	3.45	Significativo

Según se aprecia en la tabla anterior, se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos y el grupo control. Este resultado indica que una mayor proporción de compost en el sustrato incide favorablemente en el desarrollo del diámetro de la raíz.

#### ***4.4.4. Análisis de resultados en relación al indicador peso fresco de la raíz (PFR)***

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los valores promedio obtenidos a partir del diseño experimental, los cuales fueron utilizados para realizar el análisis de varianza con el propósito de determinar el grado de significancia estadística entre los tratamientos.

**Tabla 26***Datos obtenidos del diseño experimental – peso fresco de la raíz en gramos*

AP	TRATAMIENTOS				
	T1 (0 g)	T 2 (250 g)	T 3 (500 g)	T 4 (750 g)	T 5 (1000 g)
<b>1</b>	0.016	0.057	0.070	0.083	0.220
<b>2</b>	0.020	0.048	0.100	0.091	0.283
<b>3</b>	0.019	0.045	0.102	0.111	0.191
<b>4</b>	0.042	0.049	0.080	0.120	0.211
<b>5</b>	0.023	0.055	0.187	0.145	0.282
<b>Suma</b>	0.120	0.253	0.539	0.551	1.187
<b>Prom.</b>	0.024	0.051	0.108	0.110	0.237
<b>Var.</b>	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002

**Tabla 27***Análisis de variancia del indicador peso fresco de la raíz (PFR)*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>G.L</i>	<i>SC</i>	<i>CME</i>	<i>F.C</i>	<i>F.T</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	4	0.135	0.034	36.030	2.866	7.049
Error	20	0.018	0.001			
Total	24	0.154				
<b>CV (%)</b>	<b>29.56 %</b>					

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla anterior, el valor de F calculado (36.030) es considerablemente superior al valor de F crítico tabulado (2.866), lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con respecto al indicador peso fresco de la raíz. El Coeficiente de Variación (CV) de 29.56 %, lo cual indica que el experimento tiene una precisión baja, común en variables de peso. A fin de identificar

específicamente entre qué tratamientos se presentan dichas diferencias y validar este hallazgo, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, basada en las amplitudes estudiantizadas significativas.

**Tabla 29**

*Amplitudes Estudiantizadas Significativas- peso fresco de la raíz*

Valores de p	2	3	4	5
AES (D)	3.00	3.15	3.23	3.30
Sy = 1.149				
ALS (D)	0.040	0.042	0.043	0.044

Para la elaboración de la tabla de comparaciones significativas, se construyó una tabla de claves con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos.

**Tabla 28**

*Claves para comparaciones de tratamiento - peso fresco de la raíz en gramos.*

Tratamiento	T 1	T2	T3	T4	T5
Prom	23.9540	50.5420	107.7340	110.1400	237.4080
Clave	I	II	III	IV	V

Posteriormente, se presentan los niveles de significancia obtenidos a partir de la comparación entre los distintos tratamientos y el grupo control, con el propósito de identificar cuáles de ellos generan efectos estadísticamente significativos sobre el indicador evaluado.

**Tabla 29**

*Nivel de significación entre los tratamientos – peso fresco de la raíz.*

Clave	Diferencia de promedios	ALS(D)	Resultado
<b>V - I</b>	213.45	0.04	Significativo
<b>V-II</b>	186.87	0.04	Significativo
<b>V-III</b>	129.67	0.04	Significativo
<b>V - IV</b>	127.27	0.04	Significativo
<b>IV - I</b>	86.19	0.04	Significativo
<b>IV - II</b>	59.60	0.04	Significativo
<b>IV - III</b>	2.41	0.04	Significativo
<b>III - I</b>	83.78	0.04	Significativo
<b>III - II</b>	57.19	0.04	Significativo
<b>II - I</b>	26.59	0.04	Significativo

Según se aprecia en la tabla anterior, los resultados evidencian como en el caso anterior diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos y el grupo control. Lo cual dicho resultado indica que una mayor proporción de compost en el sustrato incide favorablemente en el desarrollo del peso fresco de la raíz.

#### **4.5. Evaluación de los parámetros físicos y químicos del suelo agrícola antes y después de la siembra de la beterraga (*B. vulgaris*)**

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de laboratorio de las muestras correspondientes al suelo testigo y al sustrato experimental de los Tratamientos (T3 y T4). Este análisis permitió evaluar las diferencias en las propiedades físico-químicas y su impacto en el desarrollo del cultivo, permitiendo así determinar la influencia del compost en la mejora de las condiciones del suelo.

#### 4.5.1. Análisis de suelo experimental

Los resultados obtenidos en el análisis del suelo experimental, que se han obtenido del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) con fecha 25 de abril del 2024, estos resultados se han comparado con los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola, utilizando la normativa internacional como la ecuatoriana y peruana. Tal como se aprecia en la tabla siguiente.

**Tabla 32**

*Análisis físico-químico del suelo*

<b>Indicador</b>	<b>Valor en los análisis</b>	<b>ECA Suelo MINAM (1)</b>	<b>ECA Suelo ECUADOR (2)</b>
<b>CE dS m<sup>-1</sup></b>	0.36	-	2
<b>Relación 1:1</b>			
<b>pH Relación 1:1</b>	6.75	-	6 - 8
<b>M.O (%)</b>	4.27	-	-
<b>P (ppm)</b>	37.91	-	-
<b>K (ppm)</b>	596.00	-	-
<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	-	-	-
<b>Al<sup>+3</sup>+H<sup>+1</sup></b>	0.10	-	-
<b>N (%)</b>	0.19	-	-
<b>Fe (ppm)</b>	6.49	-	-
<b>Cu (ppm)</b>	0.16	-	30
<b>Zn (ppm)</b>	0.33	-	60
<b>Mn (ppm)</b>	0.32	-	-
<b>Pb (ppm)</b>	1.60	70	25
<b>Cd (ppm)</b>	<0.012	1.4	0.5
<b>B (ppm)</b>	63.76	-	250

*Nota:* Datos obtenidos de los análisis de Laboratorio de Agua, Suelo Medio Ambiente y Fertilización-UNALM

(1) Estándares de Calidad Ambiental para suelo - Perú, aprobado por D.S. N°011-2017-MINAM

(2) Norma de calidad ambiental del recurso suelo y de remediación para suelos contaminados, aprobado con acuerdo N° 97/A, publicada en el registro oficial edición especial N° 387 de fecha 4 de noviembre del 2015

A partir de los datos presentados en la tabla anterior, se puede deducir que el suelo experimental presenta valores de parámetros físico-químicos que se encuentran por debajo de los niveles establecidos en los estándares de calidad ambiental para suelos, según la normativa peruana y ecuatoriana. Estos resultados indican que el suelo no presenta niveles de contaminación significativos y, por tanto, es apto para el desarrollo de actividades agrícolas. Un suelo que cumple con estos estándares garantiza condiciones adecuadas para el crecimiento de cultivos, evitando riesgos de bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes en las plantas.

Como podemos apreciar en la siguiente tabla se muestran variaciones significativas entre el suelo testigo con los sustratos que contienen 50% y 75% de compost revela que la adición de materia orgánica altera considerablemente la calidad del sustrato. El compost aumenta significativamente los niveles de nitrógeno y de micronutrientes clave como el cobre, zinc y manganeso, lo que mejora la oferta nutricional para la planta. Además, incrementa la conductividad eléctrica y desplaza el pH hacia rangos alcalinos, variaciones previsibles derivadas del procesamiento de sustancias orgánicas. Aunque el fósforo y el potasio se reducen en comparación con el suelo testigo, que presenta valores atípicamente altos, los niveles en los sustratos siguen siendo apropiadas para el crecimiento de las plantas. Por otro lado, los metales pesados como el plomo y el cadmio se minimizan o no se detectan, sugiriendo que el compost no plantea peligros de contaminación. Por lo tanto, los resultados indican que tanto el sustrato con 50% como con 75% de compost ofrecen avances notables en fertilidad y propiedades químicas en relación con el suelo inicial, lo que promueve el desarrollo del cultivo sin afectar negativamente la calidad ambiental.

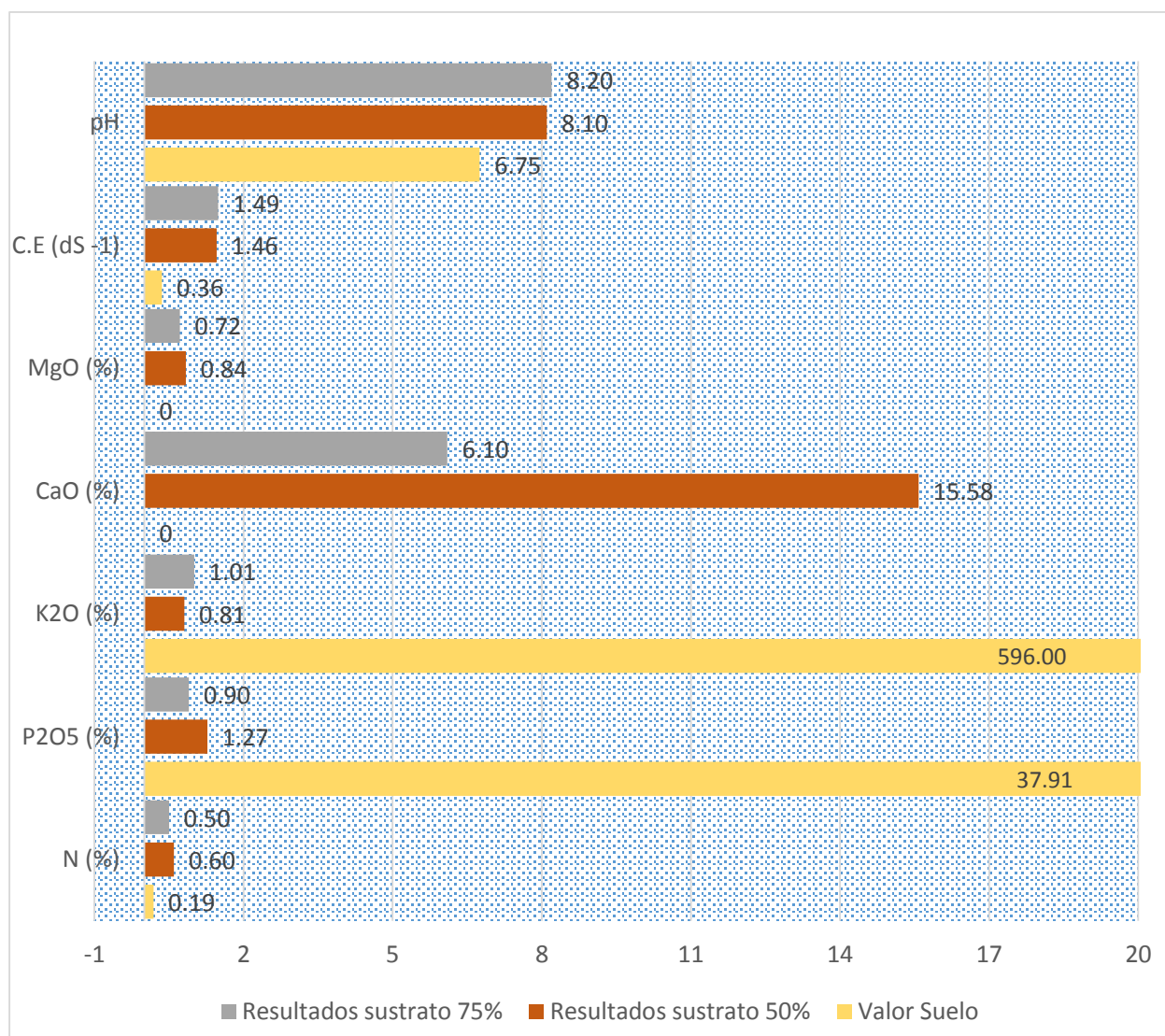
**Tabla 30***Comparación de las propiedades físico-químicas del suelo y sustratos*

<b>Resultado del suelo</b>		<b>Resultados del sustrato al 50%</b>	<b>Resultados del sustrato al 75%</b>
<b>Indicador</b>	<b>valor</b>	<b>valor</b>	<b>valor</b>
<b>N (%)</b>	0.19	0.60	0.50
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	37.91	1.27	0.90
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	596.00	0.81	1.01
<b>CaO (%)</b>		15.58	6.10
<b>MgO (%)</b>		0.84	0.72
<b>C.E (dS<sup>-1</sup>)</b>	0.36	1.46	1.49
<b>pH</b>	6.75	8.10	8.20
<b>Fe (ppm)</b>	6.49	13814.21	2.1340.73
<b>Cu (ppm)</b>	0.16	26.63	24.46
<b>Zn (ppm)</b>	0.33	179.67	151.92
<b>Mn (ppm)</b>	0.32	473.11	481.31
<b>Pb (ppm)</b>	1.6	< 0.3	< 0.3
<b>Cd (ppm)</b>	< 0.012	< 0.012	< 0.012
<b>B (ppm)</b>	63.76	51.36	66.83

De manera similar, en la figura muestra variaciones químicas significativas entre el suelo testigo y los sustratos con compost, evidenciando que los tratamientos modifican de manera notable indicadores como pH, conductividad eléctrica y concentración de macro y micronutrientes. Estos cambios reflejan el efecto directo del compost en la mejora de la calidad química del sustrato, al incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales y ajustar las condiciones edáficas hacia un entorno más favorable para el crecimiento de la especie evaluada. Los valores representados provienen de los análisis de laboratorio realizados durante el experimento.

**Figura 15**

*Comparativo entre grupo control y sustratos según el porcentaje de compost.*



*Nota:* los datos obtenidos en dicha grafica provienen de los análisis de resultados de laboratorio.

Los hallazgos obtenidos en esta investigación confirman la hipótesis de que el compost proveniente de la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de Celendín tiene un efecto significativo y positivo sobre el desarrollo vegetativo de la beterraga (*B. vulgaris*), especialmente en indicadores como la altura de planta, longitud de raíz, diámetro y peso fresco de la raíz.



Los tratamientos con mayores proporciones de compost (50%, 75 % y 100 %) presentaron diferencias estadísticamente significativas en comparación con el grupo control, lo cual concuerda con investigaciones previas como la de Zapata (2023), quien también demostró la efectividad del compost en el rendimiento de la beterraga (*B. vulgaris*), destacando que las enmiendas orgánicas influyen positivamente aumentando la accesibilidad a los nutrientes, eleva la capacidad de retener humedad y perfecciona la composición del sustrato, lo que promueve una absorción más eficiente en el cultivo de beterraga.

Asimismo, Huanca (2019) reportó que la combinación de compost con suelos agrícolas incrementó el rendimiento de la raíz comercial, lo que se tradujo en mayores beneficios económicos, debido a una mejor calidad del producto cosechado. Desde un enfoque agronómico, estos resultados pueden explicarse por el aporte del compost a la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo, tales como la capacidad de retención de agua, la aireación, la disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) y el aumento de la materia orgánica, factores que son esenciales para un óptimo desarrollo radicular y foliar de los cultivos.

En este estudio, se evidenció que la incorporación de compost no solo mejoró el sustrato en términos de propiedades físicas, sino también en cuanto a sus propiedades químicas, como el pH y la conductividad eléctrica, indicadores estrechamente relacionados con la disponibilidad de nutrientes para la planta. Cabe señalar que, si bien se obtuvieron mejoras significativas a partir del 25 % de compost, los tratamientos con 50 % y más no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí en algunas variables, como la altura de planta, lo que sugiere que podría existir un umbral de saturación de nutrientes o de eficiencia agronómica, a partir del cual el efecto se estabiliza. Este comportamiento es respaldado por Ibañes (2014), quien encontró que, si bien el compost en combinación con suelos agrícolas mejora el rendimiento, las características físico-

químicas del suelo no presentan cambios significativos, lo cual sugiere una respuesta limitada a partir de ciertos niveles de incorporación.

En lo que respecta al desarrollo radicular, el tratamiento con 75 % de compost presentó efectos más notorios en la longitud de la raíz, lo que puede deberse a una mayor aireación del sustrato, así como a una mejor retención hídrica y disponibilidad de nutrientes en la rizósfera. Resultados similares fueron reportados por Manga (2022), quien observó un mayor rendimiento en peso de raíces por hectárea utilizando guano de isla como abono orgánico, aunque sin afectar significativamente el diámetro y la longitud, lo cual refuerza la idea de que el tipo de abono orgánico puede influir de forma diferenciada en las variables morfológicas del cultivo.

En términos de peso fresco de la raíz, se identificaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos y el control, lo cual coincide con lo reportado por Aroma (2012), quien destacó que el uso de abonos orgánicos produce raíces más grandes y pesadas, mejorando el rendimiento comercial. En este caso, el compost municipal demuestra un potencial similar, lo que lo convierte en una alternativa viable para la agricultura y de ingresos económicos.

No obstante, es importante señalar ciertos aspectos críticos. Aunque el compost mejoró notablemente las condiciones del sustrato, el estudio de López (2007) advierte sobre la presencia de metales pesados en algunos compost urbanos, así como de un bajo contenido de materia orgánica, lo cual puede limitar su uso a largo plazo. Aunque los análisis realizados en este estudio no reportaron concentraciones fuera de los límites permisibles, se recomienda un monitoreo constante de los parámetros tóxicos y una estandarización del proceso de compostaje para garantizar su inocuidad.

Además, factores como las condiciones climáticas del distrito de Celendín durante el experimento (precipitaciones irregulares, temperaturas bajas) pueden haber influido en la

eficiencia del compost, lo que debe ser tomado en cuenta en futuras réplicas o ampliaciones del estudio. Tal como plantea Alaya et al. (2020), la implementación de modelos de compostaje en el marco de una economía circular no solo debe centrarse en la producción agrícola, sino también en la sostenibilidad ambiental, considerando la captura de carbono y la reducción de emisiones equivalentes.

Finalmente, los resultados respaldan el uso del compost de origen municipal como una estrategia efectiva para mejorar la productividad de cultivos hortícolas como la beterraga, al mismo tiempo que promueven la valorización de residuos sólidos y la sostenibilidad agrícola. Sin embargo, su implementación debe considerar la calidad del compost, las condiciones edafoclimáticas y la dosis óptima de aplicación para evitar efectos indeseados o respuestas agronómicas limitadas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Se concluye que el compost proveniente de la planta de tratamiento de Celendín tiene un impacto importante en el crecimiento vegetativo de la beterraga (*B. vulgaris*), lo cual se refleja en diferencias estadísticas notables entre los tratamientos analizados. Según el análisis de varianza y la prueba de Duncan, las cantidades de compost entre el 50 % y el 75 % dieron los mejores resultados en términos agronómicos, convirtiéndose así en una opción técnica viable para el medio ambiente y segura para la producción agrícola a nivel local.
- Los tratamientos que se incorporaron una mayor cantidad de compost T3 (50%), T4 (75%), son más apropiadas para la fase inicial de crecimiento vegetativo tanto en altura y longitud de la raíz, sin embargo, para optimizar la producción comercial, se determinó que el T5 (100%) era la más eficaz, ya que posibilita a la planta llegar a su máxima expresión fenotípica. Esto demuestra la capacidad del compost para reemplazar de manera parcial o completa el suelo de cultivo tradicional.
- Según los resultados del análisis de laboratorio, el compost contiene una adecuada concentración de macronutrientes esenciales (N, P, K, Ca y Mg). Si bien el pH presenta un valor de 9.11 y la conductividad 14.77 dS/m, encontrándose con rangos elevados, estos valores no exceden los límites que impiden su empleo en la agricultura, especialmente si se combina con suelo; además, los metales pesados (plomo y cadmio) están dentro de los

límites permisibles, confirmando que el compost es adecuado para su uso en cultivos como la beterraga.

- La incorporación de compost al 50% y 75% de compost fue donde se obtuvo los mejores resultados en todas las variables morfológicas evaluadas mejoró significativamente la calidad físico-química del sustrato, incrementando nutrientes esenciales (N, Cu, Zn y Mn), corrigiendo el pH del suelo de 6.75 a 8.10 y 8.20, y elevando la conductividad eléctrica dentro de rangos aceptables, sin presencia relevante de metales pesados. Además, aunque el suelo testigo mostró valores atípicos de P y K, los sustratos con compost mantuvieron concentraciones adecuadas para el cultivo.
- Se evidenció que el compost municipal tiene un impacto significativo en la productividad comercial, ya que triplica el peso fresco de la raíz en comparación con la gestión tradicional (de 24.00 g a 237.40 g) y mejora el diámetro comercial hasta los 6.74 cm. Estos aumentos se deben a una translocación más eficaz de azúcares facilitada por los elevados niveles de potasio proporcionados.

## RECOMENDACIÓN

- Se recomienda aplicar compost en proporción entre 50% y 75% de compost para para obtener resultados agronómicamente eficientes. Además, el compost debido a su elevada salinidad, debe ser utilizado en cultivos tolerantes; si se va a rotar con especies que no lo son, se recomienda hacer riegos de lixiviación o mezclas menores al 50%. Se sugiere supervisar cada lote fabricado por el municipio para garantizar la inocuidad, a pesar de que los metales pesados están dentro de los límites permitidos. También, se propone capacitar a los productores en el manejo de compost como enmienda biológica. Por último, se recomienda replicar la investigación en diversos microclimas para confirmar los hallazgos en campo abierto.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS

- Arana, F. (2012). *Incidencia de microorganismos eficientes más abonos orgánicos en el comportamiento agronómico del cultivo de remolacha (B. vulgaris) en El Cantón La Maná* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e5026527-5dbd-4dda-aee4-dd80ec9f4e54/content>
- Arrigo, M. (2015). Residuos de poda compostados y sin compostar uso potencial como enmienda orgánica en suelo. *Revista Ciencias del Suelo*. Vol. 23, No. 1.
- Ayala, Renzo., Ramírez, J. Sánchez, Y. y Taxa, M. (2020). *Desarrollo de un modelo de negocio de compostaje de residuos sólidos orgánicos para la comercialización de abono orgánico* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17724/compostaje%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20org%C3%A1nicos-%20AYALA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Babu, R., Prieto Veramendi, P. M., & Rene, E. R. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3(March), 100098. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100098>
- Baca, E. (2015). *Influencia de los ácidos Húmicos y Fúlvicos en el crecimiento y desarrollo en beterraga (B. vulgaris l) en condiciones de invernadero*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.]

- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., y Mata, D. A. (2018). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Ediciones INTA.
- Bohórquez, W. (2019). El proceso de compostaje. Libros en acceso abierto. 72.  
<https://ciencia.lasalle.edu.co/libros/72>
- Caicedo, L. (2011). Curso de Horticultura. Mimeografiado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, CO. p. 292.
- Castillo, C. (2004, febrero). *Cultivo de Beterraga en la costa central*. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria.  
[http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1016/1/Castillo-cultivo\\_%20betarraga\\_en\\_costa\\_central.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1016/1/Castillo-cultivo_%20betarraga_en_costa_central.pdf)
- Coello, F. (2019). *Estimación de impactos ambientales basado en el análisis de ciclo de vida de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica de la remolacha (B. vulgaris) en el Cantón Cayambe*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. pp. 5-20.
- Duran, F. (2009). *Seguridad alimentaria cultivando hortalizas*. Edición Grupo Latino Editoriales S.A.S
- Fallas, J. (2012, 6 de noviembre). Análisis de Varianza.  
[https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis\\_de\\_varianza\\_2012.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf)
- FDA (Fundación de Desarrollo Agropecuario, Republica Dominicana). (1995). Cultivo de remolacha. Boletín técnico N° 22. Santo Domingo, República Dominicana (25 p.)



- Fuentes-Barría et al. (2018). Influencia de los compuestos bioactivos de betarraga (*B. vulgaris* L) sobre el efecto cardio-protector. *Rev Chil Nutr* 45(2): 178-179.
- García, J. (2020). *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos segregados desde la fuente, en el distrito de Bambamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48870/GARCIA\\_CJM%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48870/GARCIA_CJM%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ghoulam, C., Ahmed, F., y Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47(1), 39–50.
- Hoyos, G. (2023). *Efecto de la aplicación de guano de isla y humus de lombriz en el rendimiento del cultivo de betarraga (B. vulgaris L.) variedad Early Wonder en el fundo La Victoria* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5999>
- Huanca Apaza, O., y Blanco Villacorta, M. W. (2019). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de beterraga (*B. vulgaris* L.) en la Estación Experimental de Patacamaya. *Apthapi*, 5(3), 1704–1711.
- Ibañez, I. (2014). *Evaluación del efecto de tres abonos orgánicos en el comportamiento agronómico de dos variedades de beterraga (B. vulgaris) en el municipio de Patacamaya* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5367/T-1966.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kjeldahl, J. (1883). *A new method for the determination of nitrogen in organic substances*.  
Zeitschrift für analytische Chemie, 22, 366–382.

Labrador, J. (2001). La materia orgánica en los Agrosistemas. Aedos, S.A.

Liebig, J. von. (1843). *Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology* (3<sup>a</sup> ed.,  
p. 11). Taylor and Walton. Recuperado de:  
<https://archive.org/details/organicchemistry00liebrich>

López, A. (2007). *Caracterización del compost a partir de residuos sólidos urbanos en Celendín, con fines de uso en la agricultura y como remediador de suelos degradados* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional De Cajamarca].

López, M. (2006). Horticultura (2 ed.). Trillas. México. 386 p.

Manga, M. (2022). *Efecto de densidad de siembra y fuentes de abonamiento orgánico en producción de dos variedades de beterraga (B. vulgaris L.), en Oropesa- Quispicanchi-Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].  
[https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6620/253T20220150\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6620/253T20220150_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Maroto, J. (2018). *Horticultura Herbácea Especial*. Obtenido de Mundi  
prensa:<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/12410/T930.pdf?sequence=1>.

Mellado, J. (2002, 16 de enero). Comparación Múltiple de Medias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.  
<http://www.uaaan.mx/~jmelbos/curso/deman11.pdf>

- Méndez, J. (2010). *Producción Orgánica de Betabel (B. vulgaris): Evaluación de Variedades y Efecto de dos Compostas*. Tesis Pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Agronomía, Buenavista Mexico.
- Mendoza, H. y Bautista, G. (2002, 29 de abril). Diseño Experimental. Universidad Nacional de Colombia. <http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/index.html>
- MINAM. (2019). Valorización de residuos sólidos. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, 42, pp.95–99.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). Producción agrícola: betarraga (*B. vulgaris*). En el Agro en Cifras, diciembre 2021. Plataforma SIEA. <https://siea.midagri.gob.pe>
- Ministerio del Ambiente. (MINAM, 2017). *Decreto Legislativo N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos*. Diario Oficial El Peruano N° 72 13907. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-LegislativoN%C2%B0-1278.pdf>
- Moreno, J., & Moral, R. (2008). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Morocho, J. (2019). *Respuesta del cultivo de betarraga (B. vulgaris L.) a cinco láminas de riego por goteo en el valle de Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/6181/TAG00867C89.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norma Chilena Oficial. *Norma Chilena de calidad de compost NCh2880*. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normatización INN, 2004.

- Norma Técnica Colombiana. (2004). *Productos para la Industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o Fertilizantes y enmiendas del suelo*. (ed.) ICONTEC. Colombia: s.n.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. USDA Circular 939.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). *Los fertilizantes y su uso* (4.<sup>a</sup> ed.). FAO.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., y Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Ramírez, S. (2016). *Cultivo de la remolacha en Bolivia*. Editorial. “Acción de un maestro más” Voluntariado para la educación y salud campesina, “AUMM”. IBTA.
- Saavedra, G. (2022). Betarraga. *B. vulgaris L. var. crassa (Alef.) J. Helm.*
- Saña, J. y Mor, J. y Cohí, A. (1996). La Gestión de la Fertilidad de los Suelos. 277, p. MAPA. Madrid.
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 1). Publicaciones de la Universidad Jaume I.


- Tituaña, M. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de remolacha azucarera forrajera (B. vulgaris Var. Altísima) en el Cantón Quito. provincia de Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador*. Obtenido de Repositorio Universidad S. pp. 5-20.
- Torrez, P. J. (2005). *Evaluación agronómica de tres variedades de remolacha (B. vulgaris L.) en tres épocas de siembra*. Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils* (Revision 2). <https://www.epa.gov>
- Valadez, A. 1994. Producción de Hortalizas. Uthea, Noriega Editores D.F. México. p.298
- Valdez, L. (1996). *Producción de Hortalizas*. Editorial UTEHA. Quinta Edición. México. 258p.
- Vélez Chang, Y. J., Vélez Chang, D. J., Mazuelos Cardoza, C. M., y Mazuelos Cardoza, C. M. (2022). Aprovechamiento de compost a base de residuos de tierra de blanqueo para mayor rendimiento de betarraga (*B. vulgaris L.*), Barranca. *Centro de Estudios Transdisciplinarios*, 9(2), 491–502.
- Vélez et al. (2022). *Aprovechamiento de compost a base de residuos de tierra de blanqueo para mayor rendimiento de betarraga (B. vulgaris L.)*. Barranca. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA*, 7(18).<http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404019011/html/>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. *Soil Science*, 37(1), 29–38.

Wyn Jones, R. G., y Lunt, O. R. (1967). The function of calcium in plants. *The Botanical Review*, 33(4), 407–426.

Zapata, J. (2023). *Efectividad de compost a base de dos tipos de estiercol en el rendimiento de B. vulgaris Var. Fordhook Giant distrito de Anta – Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco]. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7145/253T20230004\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7145/253T20230004_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de Análisis de suelo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fla@lamolina.edu.pe


**ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA**

**SOLICITANTE** : AMYELA MELITZA LUDERNA DIAZ  
**UBICACIÓN** : Celendin - Cajamarca, Av. Tupac Amaru 566  
**RESP. DEL ANALISIS** : Ing. Elizabeth Morenny Portas  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 25 de abril de 2024

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO <sub>3</sub>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	N	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	Boro
Lab.	Campo	dS m <sup>-1</sup> Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%		%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
20494	suelo	0.36	6.75	4.27	37.91	598.00	-	0.10	0.19	6.49	0.16	0.33	0.32	1.60	<0.012	63.76


LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

*Rocio Pastor*  
Dra. Rocio Pastor Jadregui  
JEFA DE LABORATORIO





## Anexo 2. Resultados de Análisis de compost.




### UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

#### FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

##### DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

##### LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fla@lamolina.edu.pe



## MATERIA ORGÁNICA

**SOLICITANTE :** ANYELA MELITZA LUDENA DIAZ

**UBICACIÓN :** Celendin - Cajamarca, Av. Tropic Amanu 596

**RESP. ANALISIS :** Ing. Elizabeth Montenegro Puentes

**FECHA DE ANALISIS :** La Molina, 25 de abril de 2024


Número de muestra		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	C.E	pH	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	Boro
Lab.	Campo	%	%	%	%	%	ds <sup>-1</sup>		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
20495	compost	0.72	1.05	2.43	4.08	0.71	14.77	9.11	9535.65	12.31	127.35	10.28	11.46	<0.012	127.44

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

*Rocio Pastor*


Dra. Rocio Pastor Jirasegui

Jefa de Laboratorio






Anexo 3. Resultados de Análisis de sustrato del Tratamiento 3.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fla@lamolina.edu.pe




Nº 021027

**MATERIA ORGÁNICA**


SOLICITANTE : ANYELA MELITZA LUDENA DIAZ  
UBICACIÓN : Celendin - Cajamarca  
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 04 de noviembre de 2024

Número de muestra		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	CE	pH	Fe	Zn	Mn	Cu	Boro	Pb	Cd
Lab.	Campo	%	%	%	%	%	ds <sup>-1</sup>		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
21027	Muestra N°02 Tratamiento 3 - compost 75%	0.60	1.27	0.81	15.56	0.84	1.46	8.10	13814.21	179.67	473.11	26.03	51.36	<0.3	<0.012


LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO



MSc. Ing. Teresa Velásquez Bujarrán  
JEFA DE LABORATORIO



Anexo 4. Resultados de Análisis de sustrato del Tratamiento 4.




**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe


**MATERIA ORGÁNICA**


SOLICITANTE : ANYELA MELITZA LUDERA DIAZ  
UBICACIÓN : Celendin - Cajamarca  
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Perras  
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 04 de noviembre de 2024

Número de muestra		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	C.E	pH	Fe	Zn	Mn	Cu	Boro	Pb	Cd
Lab.	Campo	%	%	%	%	%	ds <sup>-1</sup>		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
21026	Muestra N°01 Tratamiento 4. compost 100%	0.50	0.90	1.01	6.10	0.72	1.49	6.20	21340.73	151.62	481.31	24.46	66.83	<0.3	<0.012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
MSc. Ing. Jenesa Velásquez Bogarano  
JEFA DE LABORATORIO



  
N° 021026

## Anexo 5. Panel fotográfico.

**Figura 16**

*Germinación de la planta de beterraga (*B. vulgaris*)*



**Figura 17**

*Raleo de las plántulas de beterraga (*B. vulgaris*)*





**Figura 18**

*Deshierbo de la siembra de beterraga (*B. vulgaris*)*



**Figura 19**

*Elección de la planta para su respectivo estudio.*



**Figura 20**

*Cosecha de beterraga (B. vulgaris)*



**Figura 21**

*Medición del largo de la raíz (B. vulgaris)*



**Figura 22**

*Determinación de peso fresco de la raíz de la beterraga (*B. vulgaris*)*



**Figura 23**

*Medición de la raíz de beterraga (*B. vulgaris*)*



## GLOSARIO

**Compostaje:** Es un proceso aerobio (con oxígeno) que, bajo condiciones reguladas de ventilación, humedad y temperatura, convierte los desechos orgánicos degradables en un material sólido y limpio conocido como compost, que puede emplearse como aditivo orgánico.

**Micronutrientes:** Se consideran esenciales para que las plantas finalicen su ciclo vital, a pesar de que las cantidades requeridas de estos sean muy reducidas.

**Macronutrientes:** Componentes requeridos en dosis relativamente elevadas para garantizar el desarrollo y la supervivencia de las plantas.

**Metales pesados:** Son metales químicos con una densidad que supera los 4,5 gramos por centímetro cúbico y una elevada masa atómica, como el cobre, cadmio, mercurio, cromo, plomo, entre otros. Son compuestos altamente contaminantes ya que se acumulan en los seres vivos, sin ser eliminados (Metabolizados), y se trasladan a través de la cadena trófica conservando su alta toxicidad.