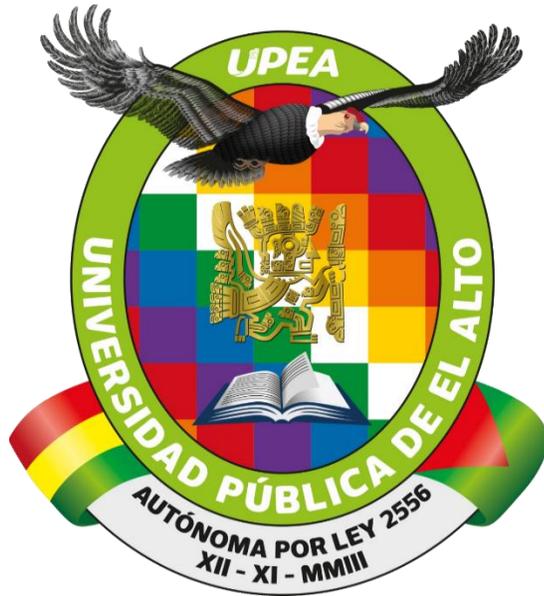


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE HARINA DE
HUESO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE
NABO (*Brassica rapa* L.) EN LA COMUNIDAD TOKE PUCURO DEL
MUNICIPIO DE SANTIAGO DE HUATA**

Por:

Joel Miranda Callisaya

EL ALTO – BOLIVIA

Julio, 2025

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE HARINA DE HUESO EN EL
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE NABO (*Brassica rapa* L.) EN LA
COMUNIDAD TOKE PUCURO DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE HUATA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Joel Miranda Callisaya

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Freddy Ayala Huacara

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado a mi amada madre Maria Callisaya, a quien agradezco su apoyo su paciencia y su amor incondicional durante todos estos años, su apoyo ha sido crucial para poder alcanzar mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la salud y el bienestar para poder hacer realidad este sueño.

A la Universidad Pública de El Alto institución que en cuyas aulas realicé mi formación.

A mi amada carrera de Ingeniería Agronómica en la cual pase los momentos más felices al brindarme gratas experiencias

A mi asesor M. Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani por la guía y sugerencias en todo el proceso de la realización de este trabajo.

A mis tribunales M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez, Lic. Ing. Freddy Ayala Huacara y M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi, por sus enseñanzas y guía en mi recorrido académico.

A todos mis amigos que me han acompañado en el trayecto y aún están ahí para mí.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xiv

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Generalidades e importancia del cultivo de nabo.....	5
2.1.1. Historia y origen del nabo.....	5
2.1.2. Taxonomía.....	5
2.1.3. Botánica y morfología.....	6
2.1.4. Ciclo biológico.....	6
2.1.5. Importancia económica	6
2.1.6. Valor nutricional del nabo.....	6

2.1.7.	Labores culturales.....	7
2.2.	Características generales de la harina de hueso	7
2.2.1.	Composición	7
2.2.2.	Beneficios agronómicos	8
2.2.3.	Mecanismos de acción.....	9
2.2.4.	Efecto en la fertilidad del suelo.....	10
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1.	Localización.....	11
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	11
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	12
3.1.2.1.	Clima.....	12
3.1.2.2.	Suelo.....	12
3.1.2.3.	Flora.....	12
3.1.2.4.	Fauna.....	12
3.2.	Materiales	13
3.2.1.	Material de estudio.....	13
3.2.2.	Material de escritorio.....	13
3.2.3.	Material de campo.....	13
3.2.4.	insumo agrícola (harina de hueso calcinado)	14
3.3.	Metodología.....	14
3.3.1.	Labores en la parcela.....	14
3.3.1.1.	Preparación del terreno.....	14
3.3.1.2.	Muestreo de suelo.....	14
3.3.1.3.	Aplicación de la harina de hueso calcinado	15
3.3.1.4.	Surcado.....	16
3.3.1.5.	Siembra.....	16

3.3.2.	Labores culturales.....	16
3.3.2.1.	Riego.....	16
3.3.2.2.	Raleo.....	16
3.3.2.3.	Desmalezado	17
3.3.2.4.	Aporque	17
3.3.2.5.	Cosecha.....	17
3.3.3.	Diseño experimental	17
3.3.4.	Tratamientos de estudio.....	18
3.3.5.	Croquis del ensayo	18
3.3.6.	Variables de respuesta.....	20
3.3.6.1.	Altura de planta (cm)	20
3.3.6.2.	Diámetro de la raíz (mm).....	20
3.3.6.3.	Longitud total de la raíz (mm)	20
3.3.6.4.	Longitud del bulbo (mm).....	20
3.3.6.5.	Peso de la raíz (g)	21
3.3.6.6.	Rendimiento (t/ha).....	21
3.3.7.	Análisis estadístico.....	21
3.3.7.1.	Análisis de varianza	21
3.3.7.2.	Diseño de bloques completos al azar	21
3.3.7.3.	Prueba de medias	22
3.3.8.	Índice de crecimiento	22
3.3.8.1.	Tasa de crecimiento relativo.....	22
3.3.9.	Análisis económico	23
3.3.9.1.	Beneficio costo.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1.	Registro de información climática	24

4.1.1.	Temperatura	24
4.1.2.	Precipitación	24
4.2.	Variables edáficas.....	25
4.2.1.1.	Textura del suelo.....	25
4.2.1.2.	pH del suelo	26
4.2.1.3.	Capacidad de intercambio catiónico	27
4.2.1.4.	Conductividad eléctrica	28
4.2.1.5.	Calcio intercambiable en el suelo	29
4.2.1.6.	Fosforo asimilable en el suelo	29
4.3.	Variables agronómicas	30
4.3.1.	Altura de planta (cm)	30
4.3.2.	Diámetro de raíz (mm)	32
4.3.3.	Longitud total de la raíz (mm).....	34
4.3.4.	Longitud del bulbo (mm).....	35
4.3.5.	Peso de la raíz (g).....	37
4.3.6.	Rendimiento (t/ha).....	38
4.4.	Índice de crecimiento	40
4.4.1.	Tasa de crecimiento relativo.....	40
4.4.1.1.	Diámetro de la raíz	40
4.5.	Análisis económico	41
4.5.1.	Beneficio costo.....	41
5.	CONCLUSIONES.....	43
6.	RECOMENDACIONES.....	45
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	46
8.	ANEXOS	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades nutricionales en 100 gramos de partes comestibles	7
Cuadro 2. Composición de la harina de hueso calcinada	14
Cuadro 3. Análisis de varianza de la altura de planta	31
Cuadro 4. Análisis de varianza del diámetro de raíz	32
Cuadro 5. Análisis de varianza de la longitud total de la raíz	34
Cuadro 6. Análisis de varianza de la longitud del bulbo	36
Cuadro 7. Análisis de varianza del peso de la raíz	37
Cuadro 8. Análisis de varianza del rendimiento	39
Cuadro 9. Análisis de la relación beneficio – costo	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Croquis del trabajo de investigación en la comunidad Toke Pucuro (elaborado en base a Google Earth, 2025)	11
Figura 2.	Recolecta y cuarteo de muestras de suelo.....	15
Figura 3.	Pesaje, preparado y aplicación de harina de hueso	16
Figura 4.	Croquis del trabajo de investigación en la comunidad de Toke Pucuro	18
Figura 5.	Croquis de una unidad experimental dentro del tratamiento.....	19
Figura 6.	Temperatura media de máximas y mínimas registradas en el mes de diciembre del 2024 a marzo del 2025.....	24
Figura 7.	Precipitación pluvial media mensual del mes de diciembre del 2024 al mes de febrero del 2025.....	25
Figura 8.	Análisis de la textura del suelo, comunidad Toke Pucuro.....	25
Figura 9.	Comportamiento del pH del suelo en los periodos de evaluación.....	26
Figura 10.	Comportamiento de la C.I.C. en dos momentos de evaluación	27
Figura 11.	Comportamiento de la C.E. en dos momentos de evaluación	28
Figura 12.	Cantidad de calcio intercambiable en dos momentos de evaluación	29
Figura 13.	Cantidad de fosforo asimilable en dos momentos de evaluación	30
Figura 14.	Comparación de medias de la altura de planta.....	31
Figura 15.	Comparación de medias del diámetro de la raíz.....	33
Figura 16.	Comparación de medias de la longitud total de la raíz	35
Figura 17.	Comparación de medias de la longitud del bulbo	36
Figura 18.	Comparación de medias con respecto al peso promedio de la raíz.....	38
Figura 19.	Comparación de medias con respecto al rendimiento de la raíz.....	39
Figura 20.	Tasa de crecimiento relativo a partir del día 30 al día 75, con respecto al diámetro de la raíz.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Reporte del análisis físico y químico del suelo	52
Anexo 2.	Preparación del terreno	53
Anexo 3.	Siembra de la semilla del nabo realizando el espaciamiento entre plantas....	53
Anexo 4.	Periodo de evaluación del diámetro, longitud total, longitud del bulbo y altura de la planta.....	54
Anexo 5.	Desmalezado o deshierbe en las parcelas experimentales	54
Anexo 6.	Cosecha del cultivo de nabo, clasificándolos por bloques y por tratamiento..	55
Anexo 7.	Postcosecha del cultivo, deshojado, corte de la de la parte no comercial de la raíz y pesaje del nabo para el cálculo del rendimiento	55
Anexo 8.	Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 1	56
Anexo 9.	Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 2.....	57
Anexo 10.	Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 3.....	58
Anexo 11.	Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento Testigo ..	59
Anexo 12.	Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 1 (50 g/m ²)	60
Anexo 13.	Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 2 (100 g/m ²)	61
Anexo 14.	Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 3 (150 g/m ²)	62

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de varianza
B/C	Relación beneficio/costo
Bs	Bolivianos
Ca	Calcio
CM	Cuadrado medio
cm	Centímetro
CV	Coeficiente de varianza
DBCA	Diseño de bloques completamente al azar
F	Valor estadístico F
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fe	Hierro
FV	Fuente de variación
g	Gramo
GL	Grados de libertad
ha	Hectárea
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
K	Potasio
kg	Kilogramo
L	Linneo

LAFASA	Laboratorio de Suelos y Aguas
m	Metro
Mg	Magnesio
mm	Milímetro
P	Fosforo
P ₂ O ₅	Óxido fosfórico
pH	Potencial de hidrogeno
Pr	Valor p
PROINPA	Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos
SC	Suma de cuadrados
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
TCR	Tasa de crecimiento relativo
t	Tonelada

RESUMEN

En la comunidad de Toke Pucuro del municipio de Santiago de Huata, Bolivia, los productores agrícolas enfrentan problemas de fertilidad en sus suelos, particularmente deficiencias de fósforo, que limitan significativamente el desarrollo y producción del cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.). Se llevó a cabo esta investigación para evaluar el efecto de la aplicación de harina de hueso como alternativa orgánica, con el objetivo de mejorar el rendimiento del cultivo y ofrecer una solución sostenible frente a los altos costos, así como una alternativa que reemplace el uso de fertilizantes químicos convencionales. Para ello, se evaluaron cuatro tratamientos: T0 (testigo sin aplicación), T1 (50 g/m² de harina de hueso), T2 (100 g/m²) y T3 (150 g/m²), distribuidos en un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Se midieron parámetros agronómicos como diámetro de raíz, longitud total de raíz, longitud de bulbo, peso de raíz y rendimiento. Además, se realizó un análisis económico para determinar la viabilidad de implementar la harina de hueso como enmienda. Los resultados mostraron, en el análisis de varianza para el rendimiento, valores desde 11.66 t/ha en el tratamiento testigo T0 hasta 15.46 t/ha en el tratamiento T1, siendo este último el que presentó el mejor comportamiento, con un incremento del 20.7% en el diámetro de raíz comparado con el testigo. Por otro lado, el tratamiento T3 mostró los valores más bajos, con 10.13 t/ha. En cuanto a los parámetros económicos, el tratamiento T1 registró la mejor relación beneficio/costo con 1.89, lo que indica que por cada boliviano invertido se recupera la inversión y se genera ganancia. En contraste, el T3 presentó el valor mínimo con 1.11, que no resulta tan rentable como las dosis menores. Esto permite concluir que la aplicación de harina de hueso en dosis moderadas (entre 50 y 100 g/m²) mejora significativamente el crecimiento y producción del cultivo de nabo, representando una alternativa viable y sostenible para los agricultores de Toke Pucuro en el municipio de Santiago de Huata. Por lo tanto, se recomienda su uso, complementado con análisis de suelo periódicos, para ajustar las dosis y optimizar tanto los beneficios agronómicos como económicos en la producción de este cultivo.

ABSTRACT

In the community of Toke Pucuro in the municipality of Santiago de Huata, Bolivia, agricultural producers face soil fertility problems, particularly phosphorus deficiencies, which significantly limit the development and production of turnip crops (*Brassica rapa* L.). This research was conducted to evaluate the effect of applying bone meal as an organic alternative, with the objective of improving crop yield and offering a sustainable solution to high costs, as well as an alternative to replace the use of conventional chemical fertilizers. For this purpose, four treatments were evaluated: T0 (control without application), T1 (50 g/m² of bone meal), T2 (100 g/m²), and T3 (150 g/m²), distributed in a completely randomized block design with three repetitions per treatment. Agronomic parameters such as root diameter, total root length, bulb length, root weight, and yield were measured. Additionally, an economic analysis was conducted to determine the feasibility of implementing bone meal as a soil amendment. The results showed, in the variance analysis for yield, values ranging from 11.66 t/ha in the control treatment T0 to 15.46 t/ha in treatment T1, with the latter showing the best performance, exhibiting a 20.7% increase in root diameter compared to the control. On the other hand, treatment T3 showed the lowest values, with 10.13 t/ha. Regarding economic parameters, treatment T1 recorded the best benefit/cost ratio at 1.89, indicating that for every boliviano invested, the investment is recovered and a profit is generated. In contrast, T3 showed the minimum value at 1.11, which is not as profitable as the lower doses. This allows us to conclude that the application of bone meal at moderate doses (between 50 and 100 g/m²) significantly improves the growth and production of turnip crops, representing a viable and sustainable alternative for farmers in Toke Pucuro, Santiago de Huata. Therefore, its use is recommended, supplemented with periodic soil analyses, to adjust doses and optimize both agronomic and economic benefits in the production of this crop

1. INTRODUCCIÓN

En la región de estudio, el cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.) representa una hortaliza de gran importancia tanto nutricional como económica debido a su adaptabilidad a condiciones climáticas frías y su rápido ciclo vegetativo (López y Vargas, 2015), particularmente en el Altiplano boliviano donde se cultivan variedades como el Purple top White globe seleccionada por su resistencia a bajas temperaturas y cualidades culinarias (PROINPA, 2015) se presentan limitantes en la producción asociadas principalmente a la baja disponibilidad de fósforo en los suelos (Fernández *et al.*, 2020) lo que afecta directamente el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Para abordar esta problemática se planteó como alternativa el uso de enmiendas orgánicas específicamente la harina de hueso, subproducto agroindustrial con alto contenido de fósforo (P) y calcio (Ca) que ha demostrado mejorar el desarrollo radical y la productividad en cultivos de raíz (Silva *et al.*, 2018), evidencias de estudios realizados en zonas con condiciones edafoclimáticas similares como en Puno (Perú) reportaron incrementos de 20-30% en rendimiento de cultivos como la quinua con aplicación de harina de hueso (INIA, 2019) lo que sugiere su potencial efecto positivo en el cultivo de nabo en suelos con deficiencia de fosforo.

En el caso específico de la comunidad de Toke Pucuro perteneciente al municipio de Santiago de Huata, comunidad donde los productores de nabo enfrentan bajos rendimientos como consecuencia de la degradación de suelos y limitada disponibilidad de fosforo (Fernández *et al.*, 2020), no se han desarrollado investigaciones locales que evalúen el efecto de la harina de hueso en este cultivo a pesar de las ventajas que presenta este fertilizante orgánico para cultivos radicales como el nabo

Ante esta situación se desarrolló la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de harina de hueso sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de nabo, generando información técnica que permita optimizar su producción de forma sostenible, los resultados obtenidos podrían ser de gran utilidad para programas de extensión agrícola en el Altiplano boliviano donde la seguridad alimentaria y la rentabilidad de los pequeños productores constituyen aspectos prioritarios (FAO, 2021) ofreciendo una alternativa viable frente al uso de fertilizantes químicos convencionales.

1.1. Antecedentes

A pesar de que la harina de hueso es un subproducto disponible localmente proveniente de mataderos de la región, su uso en el cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.) no ha sido documentado científicamente en Toke Pucuro, existiendo un vacío de información especialmente para hortalizas de raíz ya que los estudios previos se han centrado principalmente en cultivos como papa y quinua (FAO, 2021), lo que justifica la presente investigación que busca evaluar el efecto de este insumo orgánico en el rendimiento del nabo bajo condiciones reales de producción en la comunidad.

Los suelos en la comunidad de Toke Pucuro presentan características típicas de la región con pH ligeramente alcalino y una deficiencia crítica de fósforo disponible con valores menores a 10 ppm (INIAF, 2018), condición que afecta directamente el desarrollo radicular del nabo, análisis realizados por el Programa de Suelos de la Gobernación de La Paz (2019) confirmaron que más del 60% de los suelos agrícolas del municipio de Santiago de Huata presentan problemas severos de fertilidad lo que hace necesario buscar alternativas de bajo costo para los productores.

En este contexto la harina de hueso se presenta como una opción viable por su contenido de fósforo orgánico (15-20% P_2O_5) y calcio (20-25%), en experiencias realizadas en Perú con cultivos de quinua y haba en suelos con deficiencias similares se obtuvieron incrementos de rendimiento del 25-30% con la aplicación de este insumo (INIA, 2019), mientras que en Bolivia estudios desarrollados en Viacha demostraron que dosis de 200-300 kg/ha mejoraron significativamente el crecimiento radical en zanahoria (ASF, 2021).

1.2. Planteamiento del problema

En la comunidad de Toke Pucuro el cultivo de nabo, a pesar de tener ventajas como su adaptabilidad a temperaturas bajas, los rendimientos promedios en la zona no superan las 8-10 toneladas por hectárea, valores que son inferiores al potencial productivo del cultivo que podría alcanzar entre 15-20 t/ha según estudios especializados (López y Vargas, 2015), esta brecha productiva impacta directamente en la disponibilidad de alimentos y los ingresos económicos de las familias agricultoras limitando su capacidad para cubrir necesidades básicas y acceder a mercados locales (FAO, 2021), situación que se agrava por la escasa transformación del producto que generalmente se comercializa fresco sin procesos de valor agregado que podrían mejorar su rentabilidad sustancialmente.

Las causas principales de esta baja productividad se relacionan directamente con las características edáficas predominantes en la zona donde los suelos de origen volcánico clasificados como leptosoles y cambisoles (INIAF, 2019) presentan una baja capacidad de retención hídrica y especialmente una grave deficiencia de fósforo disponible con valores menores a 10 ppm (Silva, 2019), elemento fundamental para procesos fisiológicos clave como el desarrollo radicular, división celular y transferencia de energía en las plantas.

Esta carencia nutricional se manifiesta visiblemente en los cultivos de nabo a través de síntomas característicos como crecimiento raquítrico, hojas pequeñas con coloración púrpura por acumulación de antocianinas, raíces principales cortas y deformes, junto con alta incidencia de plantas "chupadoras" que no alcanzan tamaño comercial, los agricultores aunque reconocen empíricamente estos problemas enfrentan barreras significativas para superarlos dado que los fertilizantes fosforados comerciales presentan costos prohibitivos (superando los Bs 250 por saco de 50 kg de superfosfato triple), disponibilidad irregular en mercados locales y riesgo de generar desequilibrios iónicos en suelos ya de por sí alcalinos.

El modelo de producción predominante de carácter extensivo con escaso uso de insumos no incorpora prácticas de manejo adecuadas que podrían mitigar estas limitaciones como rotaciones planificadas, uso de abonos naturales o aplicación de enmiendas orgánicas, esta problemática se ve exacerbada por los efectos del cambio climático que en la región se manifiesta con irregularidad en el régimen de precipitaciones y mayor frecuencia de eventos extremos como heladas tardías y granizadas incrementando la vulnerabilidad de los cultivos.

Como consecuencia de estas deficiencias nutricionales y prácticas inadecuadas se observa una variabilidad significativa en los rendimientos de nabo entre diferentes productores de la zona, situación que no solo afecta la rentabilidad individual de las unidades productivas sino que tiene repercusiones en la economía local y en la capacidad de la comunidad para garantizar su seguridad alimentaria, por lo que resulta prioritario abordar estas limitantes para mejorar la producción agrícola y fomentar prácticas más sostenibles en la comunidad de Toke Pucuro mediante alternativas técnicamente validadas y económicamente accesibles para los agricultores de la región.

1.3. Justificación

El estudio se enfocó en evaluar el efecto de la harina de hueso como enmienda orgánica para mejorar los rendimientos del nabo. Esta alternativa surgió como respuesta a los problemas de baja fertilidad de los suelos, particularmente la deficiencia de fósforo que limitaba el desarrollo adecuado del cultivo. La investigación permitió determinar las dosis más efectivas de este insumo orgánico.

Los resultados demostraron que la aplicación de harina de hueso incrementó significativamente el rendimiento en el cultivo del nabo, ofreciendo a los agricultores una solución accesible y sostenible frente al alto costo y reemplazo de fertilizantes químicos. Además, esta práctica contribuyó al mejoramiento paulatino de la disponibilidad de Fosforo en el suelo.

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación de harina de hueso en el comportamiento agronómico, crecimiento y rendimiento del cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.) en la comunidad Toke Pucuro del municipio de Santiago de Huata

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico y el crecimiento radicular del cultivo de nabo, con la aplicación de harina de hueso.
- Determinar el efecto de la aplicación de harina de hueso, sobre el rendimiento del cultivo de nabo.
- Analizar el costo-beneficio de tres dosis de harina de hueso aplicados, en el cultivo de nabo.

1.4. Hipótesis

- H_0 : La aplicación de harina de hueso en diferentes niveles no tiene un efecto significativo en el crecimiento de la raíz y el rendimiento del cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.) en la comunidad de Toke Pucuro, en comparación con el tratamiento de control.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades e importancia del cultivo de nabo

2.1.1. Historia y origen del nabo

Según Ruano (1999), el origen de esta especie vegetal se habría dado de manera dual: por un lado la región mediterránea y por otro una zona comprendida entre los territorios de Afganistán y Pakistán, siendo las primeras referencias históricas documentadas procedentes de China, aunque también formaba parte de la agricultura de las antiguas civilizaciones griega y romana, manteniéndose su cultivo durante la Edad Media según lo registrado en herbarios europeos, mientras que su introducción en el continente americano ocurrió en épocas más recientes a través de los migrantes europeos.

Según Maroto (1995), el origen preciso del nabo (*Brassica rapa* L.) no ha sido determinado de forma concluyente, las evidencias sugieren un desarrollo diferenciado según variedades: las de pequeño tamaño probablemente se originaron en la cuenca mediterránea, mientras que los nabos de mayor tamaño tendrían su centro de origen, particularmente en las regiones de Japón y China.

2.1.2. Taxonomía

Según Pascual (2015), la taxonomía del cultivo del nabo es la siguiente:

Reino:	Plantae
Sub reino:	Embryobionta
División:	Magnoliophita
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Brassicales
Familia:	Brassicaceae
Género:	Brassica
Especie:	<i>Brassica rapa</i> L. var. <i>rapa</i>
Nombre común:	Nabo

2.1.3. Botánica y morfología

El cultivo de nabo presenta alturas variables entre 30 y 120 cm con ciclos de vida anuales o bienales y raíces tuberosas de superficie glabra o extendida, se observan hojas inferiores puntiagudas y pecioladas, mientras las superiores muestran morfología elíptica entera con frecuente tonalidad azulada, formando inflorescencias características con 15-20 flores amarillas de cuatro pétalos (1 cm de largo) donde los centrales permanecen abiertos, produciendo silicuas de 5-10 cm con semillas esféricas marrones y una raíz engrosada (Blanco *et al.*, 2018), cuyas características morfológicas resultan clave para su identificación taxonómica y diferenciación de variedades afines.

2.1.4. Ciclo biológico

El ciclo biológico del nabo incluye varias etapas clave: germinación, crecimiento vegetativo, floración y fructificación. La germinación ocurre en temperaturas frescas (10-18 °C) y puede tardar de 4 a 10 días. Durante la fase de crecimiento vegetativo, la planta desarrolla una roseta de hojas y una raíz engrosada. La floración ocurre en primavera, produciendo flores amarillas en racimos terminales, seguida de la formación de frutos en forma de silicua que contienen entre 15 y 25 semillas (González y Pérez, 2021).

2.1.5. Importancia económica

En términos económicos, el nabo es un cultivo importante en regiones con climas fríos, como el altiplano boliviano, donde su resistencia a las bajas temperaturas y su corto ciclo vegetativo lo convierte en una opción viable para los agricultores locales ya que pueden sacar beneficios económicos a corto plazo a comparación de otros cultivos (Ruano, 1999).

2.1.6. Valor nutricional del nabo

En el cuadro 1 se muestra las propiedades nutricionales del nabo, el cual es un alimento bajo en calorías, rico en agua y fibra, lo que lo convierte en un aliado para la salud digestiva. Además, contiene vitamina C, yodo, potasio y calcio, nutrientes esenciales para diversas funciones corporales (Maroto, 1995).

Cuadro 1. Propiedades nutricionales en 100 gramos de partes comestibles

COMPUESTO	CANTIDAD	
	Hoja	Raiz
Agua	92.7 g	91.5 g
Carbohidratos	4.6 g	6.6 g
Grasas	0.2 g	0.2 g
Proteínas	1.9 g	0.1 g
Fibra	1 g	0.9 g
Cenizas	0.6 g	0.7 g
Calorías	23 cal	30 cal
Calcio	168 mg	39 mg
Sodio	78 mg	49 mg
Fósforo	52 mg	30 mg
Potasio	420 mg	268 mg
Hierro	2.6 mg	0.5 mg
Tiamina	0.1 mg	0.04 mg
Riboflamina	0.18 mg	0.07 mg
Niacina	0.7 mg	0.6 mg
Acido ascórbico	47 mg	36 mg

Fuente: Maroto (1995)

2.1.7. Labores culturales

El cultivo de nabo requiere una preparación adecuada del suelo, que incluye un arado profundo y la incorporación de materia orgánica como compost o estiércol bien descompuesto (Cortina, 2023). La siembra se realiza en dos épocas del año: a finales de verano y en primavera, a una profundidad de 0.5 a 1.5 cm. El riego debe ser regular, especialmente durante las primeras etapas de crecimiento, pero evitando el encharcamiento. El control de plagas y enfermedades se puede realizar mediante métodos biológicos y prácticas culturales como la rotación de cultivos (ECHOcommunity, 2023).

2.2. Características generales de la harina de hueso

2.2.1. Composición

Según Gibert (2023), la harina de hueso se obtiene a partir de la calcinación y la trituración de huesos de ganado bovino, porcino o avícola. Su composición varía de acuerdo al origen del hueso utilizado, este fertilizante se caracteriza por su alto contenido de fósforo (P) y calcio (Ca), estos nutrientes son esenciales para el crecimiento radicular y en consecuencia

para el desarrollo óptimo de las plantas, la harina de hueso contiene entre 28% y 30% de calcio y 15% a 16% de fósforo.

La harina de hueso también posee magnesio (Mg), potasio (K) y oligoelementos como el zinc (Zn) y el hierro (Fe) pero en ínfimas cantidades. Sin embargo, su bajo contenido de otros nutrientes esenciales para la planta la hace menos efectiva como fuente única de nutrientes, por lo que a veces suele complementarse con otros fertilizantes que aporten los nutrientes que carece la harina de hueso (Engormix, 2023).

La harina de hueso calcinada tiene un mayor contenido de fósforo disponible, mientras que la harina de hueso vaporizada retiene más materia orgánica y nutrientes secundarios. Esta variabilidad en la composición hace que la harina de hueso sea un fertilizante versátil, adaptable a diferentes tipos de suelos y cultivos. Al ser la harina de hueso calcinada una mayor fuente de fósforo es muy recomendable su uso en cultivos de raíz ya que este elemento es fundamental para el desarrollo óptimo del sistema radicular (Cortina, 2023).

2.2.2. Beneficios agronómicos

La harina de hueso calcinada ofrece múltiples beneficios agronómicos, tanto para el suelo como para las plantas. Uno de sus principales aportes es la mejora de la fertilidad del suelo, especialmente en suelos con deficiencias de fósforo y calcio. Estos nutrientes son esenciales para el desarrollo radicular, la floración y la formación de frutos, por lo que su aplicación puede aumentar significativamente el rendimiento de los cultivos (Engormix, 2023).

En el caso del nabo (*Brassica rapa* L.), un cultivo que requiere altos niveles de fósforo para el desarrollo de su raíz engrosada, la harina de hueso es particularmente beneficiosa. El fósforo promueve un crecimiento radicular robusto, lo que se traduce en raíces más grandes y de mejor calidad. Además, el calcio contribuye a la estructura celular de las plantas, mejorando su resistencia a enfermedades y condiciones ambientales adversas (Gibert, 2023).

Otro beneficio importante de la harina de hueso, es su capacidad para mejorar la estructura del suelo. Al liberar calcio, ayuda a neutralizar la acidez del suelo, lo que es especialmente útil en suelos ácidos donde el fósforo tiende a fijarse y volverse menos disponible para las

plantas. Además, la harina de hueso aumenta la retención de humedad en el suelo, lo que es crucial en regiones con climas secos o estacionales (Cortina, 2023).

Desde el punto de vista de la sostenibilidad agrícola, la harina de hueso es una alternativa ecológica a los fertilizantes químicos. Su uso reduce la dependencia de insumos sintéticos, que pueden tener impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación de aguas subterráneas y la degradación del suelo. Además, al ser un producto derivado de residuos animales, contribuye a la valorización de subproductos de la industria cárnica, promoviendo una economía circular (Engormix, 2023).

2.2.3. Mecanismos de acción

Los mecanismos de acción de la harina de hueso están relacionados con su capacidad para liberar nutrientes de manera lenta y gradual, lo que garantiza una nutrición constante y prolongada para las plantas. El fósforo y el calcio, sus componentes principales, son liberados a través de procesos de mineralización y descomposición microbiana en el suelo. Este proceso es más lento que el de los fertilizantes químicos, lo que reduce el riesgo de lixiviación y pérdida de nutrientes (Gibert, 2023).

En suelos ácidos, donde el fósforo tiende a fijarse en formas no disponibles para las plantas, la harina de hueso actúa como una fuente eficiente de fósforo. El calcio presente en la harina de hueso ayuda a neutralizar la acidez del suelo, liberando el fósforo fijado y haciéndolo accesible para las raíces de las plantas. Este mecanismo es particularmente beneficioso en suelos con pH bajo, donde la disponibilidad de fósforo es limitada (Cortina, 2023).

Además, la harina de hueso mejora la estructura física del suelo. El calcio actúa como un agente floculante, promoviendo la agregación de partículas del suelo y mejorando su porosidad. Esto facilita la infiltración de agua y el intercambio de gases, creando un ambiente más favorable para el crecimiento de las raíces y la actividad microbiana (Engormix, 2023).

La actividad microbiana es otro aspecto clave en los mecanismos de acción de la harina de hueso. Los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica presente en la harina de hueso, liberando nutrientes y contribuyendo a la formación de humus. Este proceso no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también aumenta su capacidad para

retener agua y nutrientes, lo que es esencial para el crecimiento saludable de las plantas (Gibert, 2023).

2.2.4. Efecto en la fertilidad del suelo

La harina de hueso no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también tiene un impacto positivo en la fertilidad del suelo. Estudios han demostrado que su aplicación aumenta significativamente la disponibilidad de fósforo (P) y calcio (Ca) en el suelo, dos nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Martínez *et al.*, 2018).

El fósforo es un nutriente clave para el desarrollo radicular, la floración y la formación de frutos. En suelos con bajos niveles de fósforo disponible, las plantas pueden presentar un crecimiento deficiente y rendimientos reducidos. La harina de hueso, al ser una fuente rica en fósforo, ayuda a corregir estas deficiencias, promoviendo un crecimiento vegetativo robusto y un desarrollo radicular más profundo (Gibert, 2023). Además, el fósforo liberado por la harina de hueso es de lenta disponibilidad, lo que reduce el riesgo de lixiviación y asegura una nutrición constante para las plantas a lo largo de su ciclo de crecimiento.

Por otro lado, el calcio desempeña un papel crucial en la estructura celular de las plantas, fortaleciendo las paredes celulares y mejorando la resistencia a enfermedades y estrés ambiental. En suelos ácidos, donde el calcio tiende a ser menos disponible, la aplicación de harina de hueso ayuda a neutralizar la acidez y a mejorar la estructura del suelo, promoviendo la agregación de partículas y aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes (Cortina, 2023).

Además de mejorar la disponibilidad de nutrientes, la harina de hueso contribuye a la retención de humedad en el suelo. Esto es especialmente beneficioso en regiones con suelos áridos o degradados, donde la capacidad del suelo para retener agua es limitada. Al mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica, la harina de hueso ayuda a crear un ambiente más favorable para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana (Martínez *et al.*, 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la comunidad de Toke Pucuro perteneciente al municipio de Santiago de Huata, en la provincia de Omasuyos, departamento de La Paz, Bolivia. Esta comunidad se encuentra ubicada a aproximadamente 120 Km de la sede de gobierno a una latitud de $16^{\circ}10'30''S$ y una longitud de $68^{\circ}39'00''O$, Toke Pucuro se localiza en la ribera del Lago Titicaca, un área que es conocida por su biodiversidad y su importancia cultural. La región es accesible a través de caminos rurales que conectan con otras comunidades y centros urbanos cercanos (Rodríguez *et al.*, 2023).

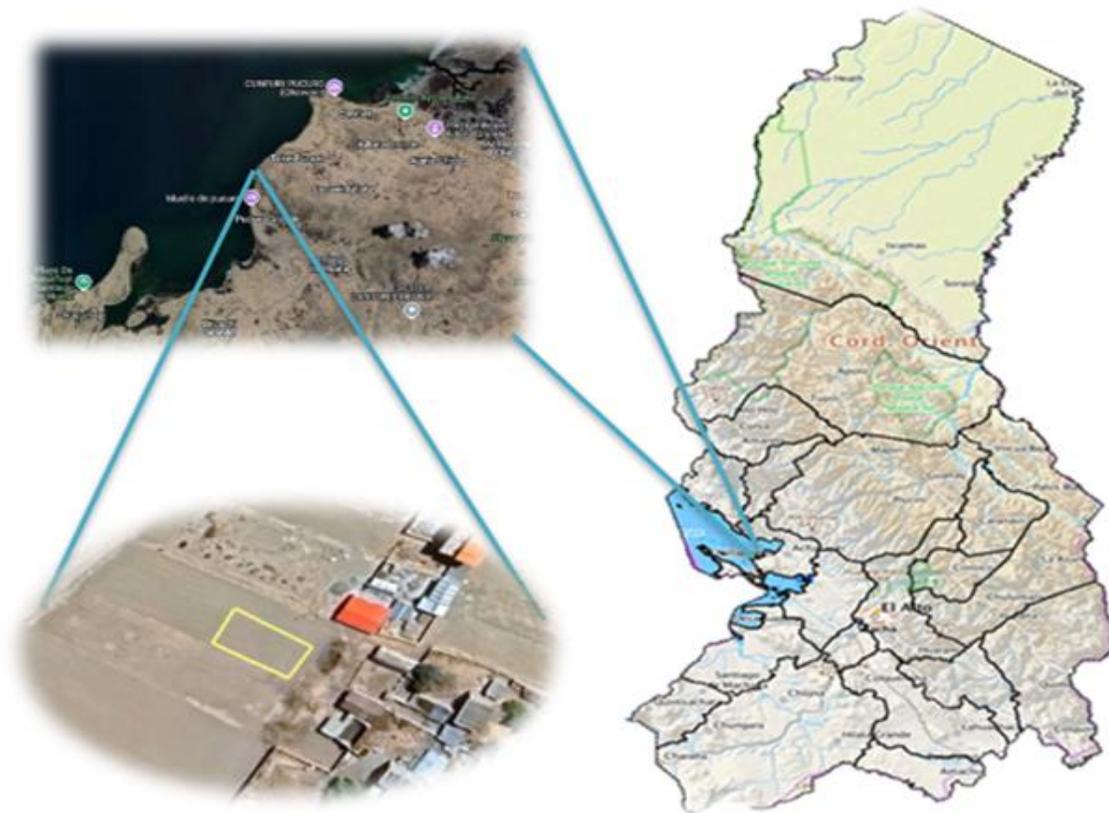


Figura 1. Ubicación geográfica y croquis del trabajo de investigación en la comunidad Toke Pucuro (elaborado en base a Google Earth, diciembre 2024)

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

La comunidad de Toke Pucuro se encuentra en una región de clima frío y templado, típico del altiplano boliviano. Las temperaturas medias oscilan entre 0 °C y 16 °C, con un periodo de lluvias que se concentra principalmente entre noviembre y marzo. Este clima es favorable para el cultivo de hortalizas como el nabo, que se desarrolla mejor en condiciones frescas y húmedas, aunque no tolera las heladas repetidas (Mortensen y Bullard, 1986).

3.1.2.2. Suelo

Los suelos en la región son predominantemente aluviales, con buena capacidad de retención de humedad, lo que es beneficioso para la agricultura. Sin embargo, es importante que los terrenos estén bien abonados antes de la siembra, ya que el nabo requiere suelos ricos en nutrientes para un óptimo desarrollo (Ramírez, 1992).

3.1.2.3. Flora

La flora de Toke Pucuro incluye una variedad de especies adaptadas a las condiciones del altiplano. Además de los cultivos agrícolas, como el nabo, la vegetación natural está compuesta por gramíneas y arbustos resistentes a las bajas temperaturas. La cercanía al Lago Titicaca también influye en la biodiversidad de la zona, proporcionando un hábitat para diversas especies vegetales acuáticas y ribereñas (Rodríguez *et al.*, 2023).

3.1.2.4. Fauna

La fauna en la región es diversa, incluyendo especies típicas del altiplano como la vizcacha y diversas aves migratorias que se alimentan en los humedales cercanos al lago. La interacción entre la fauna y la flora es vital para el equilibrio ecológico de la zona, y el lago Titicaca es un recurso importante que sustenta la vida silvestre local (Rodríguez *et al.*, 2023).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

El material vegetal que se utilizó en este trabajo de investigación corresponde a semilla de nabo de la variedad Purple top White globe, la cual se obtuvo de una semillera ubicada en la ciudad de El Alto.

3.2.2. Material de escritorio

- Computadora
- Calculadora
- Cuaderno de apuntes
- Hojas bond
- Lápices y bolígrafos

3.2.3. Material de campo

- Flexómetro
- Estacas de madera
- Chontillo
- Picota
- Pala
- Letreros de venesta plastificadas
- Tijeras
- Marcador indeleble
- Tablero
- Bolsas de yute
- Cámara digital
- Bolsas de hielo
- Marcador
- Cinta adhesiva

3.2.4. insumo agrícola (harina de hueso calcinado)

El insumo agrícola de origen animal que es denominado harina de hueso se obtuvo en la ciudad de La Paz en la tienda agrícola “los amigos”, con una composición con las siguientes características (Cuadro 2):

Cuadro 2. Composición de la harina de hueso calcinada

COMPOSICION	UNIDAD	CANTIDAD
Calcio	%	36.65
Fosforo disponible	%	17.83
Cenizas	%	99.36

3.3. Metodología

3.3.1. Labores en la parcela

3.3.1.1. Preparación del terreno

La tierra se preparó inicialmente removiendo el suelo con pico y azada; luego, se procedió a nivelar el terreno para asegurar un riego uniforme y prevenir el encharcamiento de agua. Finalmente, se marcaron las parcelas y se delimitó el espacio para cada tratamiento experimental.

3.3.1.2. Muestreo de suelo

Para el estudio de las propiedades físico-químicas del suelo, se recolectaron muestras siguiendo un patrón en zigzag aleatorio dentro de cada parcela. Se midió una zona de 50 cm cercana al borde para evitar efectos de borde. Se extrajeron diez submuestras que se combinaron para formar una muestra compuesta. Esta se homogeneizó mezclándola en un saco de yute y, mediante la técnica del cuarteo, se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 1 kg (Figura 2), la cual se envió al laboratorio para su análisis.

Posteriormente después del muestreo de suelo, las muestras iniciales y finales del ensayo fueron llevadas al laboratorio de suelos y aguas (LAFASA) en las siguientes 24 horas para su respectivo análisis. Los parámetros que se determinaron fueron físicos y químicos que se detallan a continuación:

A) Análisis físico

- Textura
- Densidad real
- Densidad aparente

B) Análisis químico

- pH
- Conductividad eléctrica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Materia orgánica
- Calcio intercambiable
- Nitrógeno total
- Fósforo disponible
- Potasio intercambiable



Figura 2. Recolección y cuarteo de muestras de suelo

3.3.1.3. Aplicación de la harina de hueso calcinado

Como se muestra en la Figura 3, para favorecer la adecuada asimilación de nutrientes de las plantas de nabo, se realizó el pesaje, la preparación y posterior incorporación de la harina de hueso al suelo diez días antes de la siembra, permitiendo así su descomposición y liberación gradual de elementos esenciales para el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo, las dosis fueron las siguientes:

- 500 kg/ha = 50 g/m²
- 1000 kg/ha = 100 g/m²
- 1500 kg/ha = 150 g/m²



Figura 3. Pesaje, preparado y aplicación de harina de hueso

3.3.1.4. Surcado

Con el uso de una chontilla se hizo el surcado en las parcelas experimentales, cada unidad experimental constó de 6 surcos.

3.3.1.5. Siembra

La siembra se realizó manualmente usando el método de siembra directa, en cada surco una profundidad de 2 cm; 0,20 m entre plantas y 0,30 entre surcos.

3.3.2. Labores culturales

3.3.2.1. Riego

Después de la siembra, se roció con manquera a presión regularmente en la hilera agua, para evitar que el suelo se agriete, hasta que las plantas pequeñas se abran camino. Esta labor se realizó cada tres días hasta el día 30, en las semanas posteriores empezó la época de lluvias y el suelo siempre se mantuvo húmedo garantizando un buen desarrollo del sistema radicular.

3.3.2.2. Raleo

Una alta densidad significaría un efecto competitivo entre las plantas por luz, agua, nutrientes y espacio físico, en la superficie del suelo, y para establecer un espacio suficiente para un desarrollo normal de las raíces, se realizó esta labor a los 25 días después de la siembra, solo dejando las mejores plantas, a una distancia de 0,25 m de planta a planta.

3.3.2.3. Desmalezado

El manejo de malezas se hizo de forma manual, asegurando que las parcelas permanecieran sin vegetación no deseada para prevenir la competencia por recursos esenciales como luz, espacio y nutrientes. Durante esta labor de deshierbado, se hizo con mucho cuidado para evitar cualquier daño al sistema radicular del nabo. La extracción de las malezas, se realizó evitando cortes profundos que pudieran lesionar las raíces del cultivo. Esta actividad se repitió de manera oportuna cada vez que se observaba la presencia de malezas en las parcelas.

3.3.2.4. Aporque

Se hizo el aporque a los 35 días después de la siembra para coincidir con la fase inicial del engrosamiento del bulbo o hipocótilo, para esta actividad de utilizo un azadón para cubrir la parte basal de la planta tapando totalmente el cuello de la raíz.

3.3.2.5. Cosecha

A los 75 días después de la siembra, se procedió a realizar la cosecha manual, extrayendo cuidadosamente cada planta completa. Posteriormente, se lavaron las plantas y se separaron las hojas de la raíz o bulbo por unidad experimental, considerando cada tratamiento y bloque, para llevar a cabo las evaluaciones correspondientes.

3.3.3. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones para cada tratamiento.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Observación del nivel "i" en la repetición "j".

μ = Media general.

α_i = Efecto del i-esimo nivel de harina de hueso "i".

β_j = Efecto del bloque j.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

3.3.4. Tratamientos de estudio

Los tratamientos de estudio fueron:

T0: Sin aplicación de harina de hueso.

T1: Aplicación de 500 kg/ha de harina de hueso.

T2: Aplicación de 1000 kg/ha de harina de hueso.

T3: Aplicación de 1500 kg/ha de harina de hueso.

3.3.5. Croquis del ensayo

Las características de la parcela experimental se describen y se presenta en el siguiente croquis de campo (Figura 4).

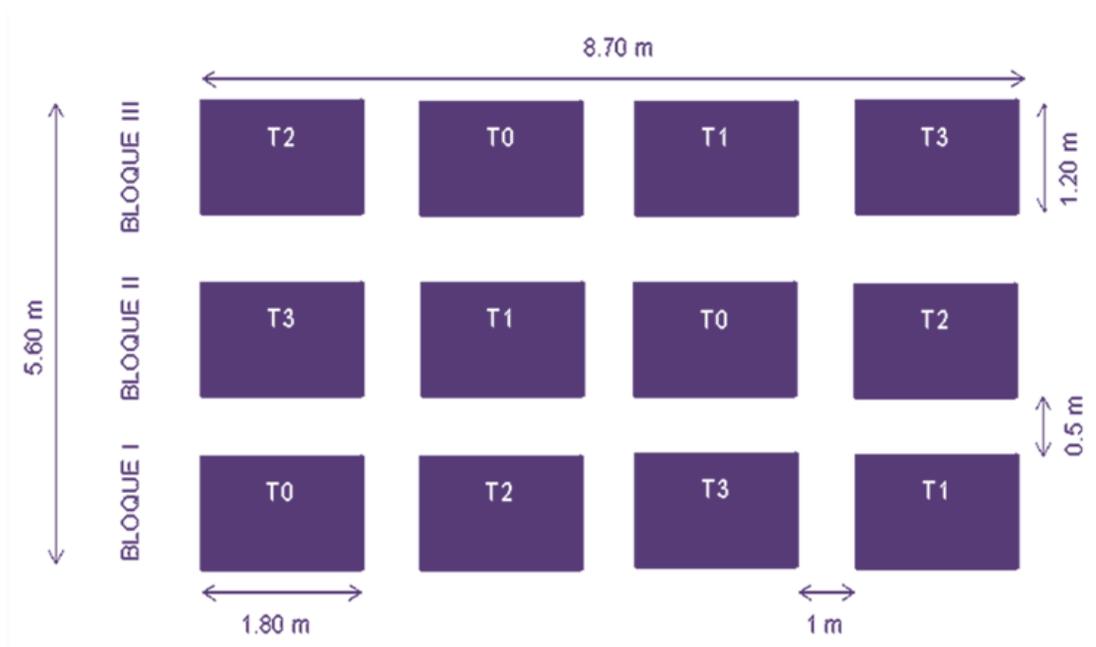


Figura 4. Croquis del trabajo de investigación en la comunidad de Toke Pucuro

Cómo se observa en la Figura 5, cada tratamiento estaba compuesto por cuatro unidades experimentales en las cuales lo conformaron 36 plantas de las cuales fueron evaluadas 16 plantas netas de cada unidad experimental.

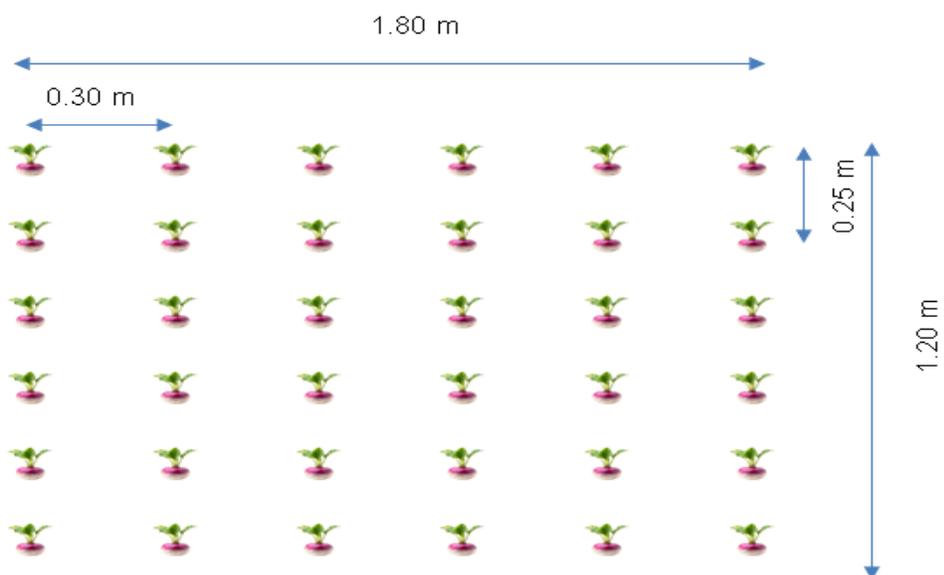


Figura 5. Croquis de una unidad experimental dentro del tratamiento

Área total del experimento.	25.92 m ²
Área de bloque.	2.16 m ²
Largo de bloque.	1.80 m
Ancho de bloque.	1.20 m
Distancia entre surcos.	0.30 m
Pasillo entre bloques.	0.5 m
Número de surcos por parcela.	6
Número de parcelas por bloque.	4
Número de bloques	3

3.3.6. Variables de respuesta

3.3.6.1. Altura de planta (cm)

Esta variable se determinó de manera periódica cada 15 días a partir del día 30 después de la siembra del cultivo, se procedió a medir desde el cuello de la raíz hasta la altura máxima alcanzada de la planta, esta medición se realizó con la ayuda de una regla y la unidad que fue utilizada fue en centímetros (cm). Se tomo muestras de 16 plantas de cada unidad experimental para realizar el análisis de varianza y se sistematizaron los datos cuando el cultivo estaba en madurez comercial listo para su cosecha.

3.3.6.2. Diámetro de la raíz (mm)

Una vez cosechadas y lavadas las plantas de nabo, se procedió a medir el diámetro de la raíz. Para cada planta seleccionada por unidad experimental, tratamiento y bloque, se utilizó un calibrador vernier (pie de rey) para obtener una medición precisa del diámetro, los datos finales para el análisis de varianza fueron los datos tomados en la madurez comercial del cultivo. La medición se realizó en la parte más ancha del bulbo (hipocótilo).

3.3.6.3. Longitud total de la raíz (mm)

Para cada planta seleccionada por unidad experimental, tratamiento y bloque, se realizó la medición utilizando una regla graduada en centímetros, se midió la longitud total de la raíz, extendiendo la raíz desde la base del tallo hasta su extremo distal más alejado, procurando alinearla lo más recta posible sobre la regla, estos datos fueron tomados en unidades milimétricas. Los últimos datos que se tomaron al alcanzar el tamaño ideal de comercialización fueron los datos que se sistematizaron para poder realizar el análisis de varianza.

3.3.6.4. Longitud del bulbo (mm)

Se midió la longitud del bulbo, enfocándose específicamente en la porción engrosada y comestible de la raíz (hipocótilo), midiendo desde el punto donde comienza el ensanchamiento hasta donde comienza a estrecharse hacia la raíz principal inferior. los últimos datos registrados correspondieron al momento en que los nabos alcanzaron su tamaño comercial óptimo, estos últimos datos fueron sistematizados para realizar el ANOVA correspondiente.

3.3.6.5. Peso de la raíz (g)

Luego de ser cosechadas y lavadas las plantas de nabo, se separó la raíz del follaje. A continuación, se colocó la raíz sobre una balanza de precisión digital, previamente calibrada, se procedió a realizar el pesaje de la raíz para cada planta seleccionada por unidad experimental, tratamiento y bloque. Finalmente se obtuvo el promedio de los datos para el resultado del análisis de varianza

3.3.6.6. Rendimiento (t/ha)

Una vez obtenidos los pesos frescos de las raíces por unidad experimental, se sumaron los pesos de todas las raíces cosechadas en cada parcela. Este peso total por parcela se extrapoló a una hectárea utilizando un factor de conversión basado en la relación entre el área de una hectárea y el área de la unidad experimental y se procedió a sistematizar los datos y posteriormente se hizo el análisis de varianza.

3.3.7. Análisis estadístico

3.3.7.1. Análisis de varianza

Según Ochoa (2009), el análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística utilizada para examinar la variación total de los resultados obtenidos en un experimento, descomponiéndola en fuentes de variación independientes asociadas a cada uno de los efectos que conforman el diseño experimental. El propósito principal de esta técnica es evaluar la relevancia de los distintos factores o tratamientos bajo estudio y analizar cómo estos interactúan entre sí

3.3.7.2. Diseño de bloques completos al azar

Este tipo de distribución de tratamientos es ampliamente utilizado en el diseño de experimentos, especialmente cuando es posible organizar las unidades experimentales en grupos o estratos homogéneos, conocidos como bloques. Este enfoque se emplea cuando existe una alta variabilidad entre las unidades experimentales, permitiendo que las diferencias dentro de cada bloque sean mínimas y, por lo tanto, se pueda controlar mejor la variabilidad externa que podría afectar los resultados (Ochoa, 2009).

3.3.7.3. Prueba de medias

En el proceso de investigación, cuando se realiza un análisis de varianza (ANOVA) para un experimento, el objetivo principal es evaluar el efecto de los tratamientos en estudio. Para ello, se utiliza la prueba F, que determina si los efectos de todos los tratamientos son iguales o si existen diferencias significativas entre ellos. Si la prueba F lleva a rechazar la hipótesis nula (que establece que no hay diferencias entre los tratamientos) y se acepta la hipótesis alternativa (que indica que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente), es necesario identificar cuál o cuáles de los tratamientos son los responsables de estas diferencias. Esto se logra mediante pruebas adicionales de comparación de medias, que permiten determinar si los tratamientos son iguales o cuáles difieren significativamente (Ochoa, 2009).

3.3.8. Índice de crecimiento

3.3.8.1. Tasa de crecimiento relativo

Para evaluar la dinámica de crecimiento en diferentes dimensiones de la raíz del nabo, se calculó la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) para el diámetro de la raíz. Para esta variable, se requirieron mediciones promedio en al menos dos momentos distintos durante el ciclo de cultivo. La TCR se calculó utilizando la siguiente fórmula que mencionan García y Ruiz (2010):

$$TCR = \frac{\ln (V2) - \ln (V1)}{t2-t1}$$

Donde:

TCR = tasa de crecimiento relativo.

V1 = valor promedio de la variable en el tiempo t1.

V2 = valor promedio de la variable en el tiempo t2.

ln = logaritmo natural.

t2-t1 = intervalo de tiempo transcurrido entre estas mediciones, expresado en días.

3.3.9. Análisis económico

3.3.9.1. Beneficio costo

El análisis beneficio-costo es una herramienta fundamental para evaluar la eficiencia de las inversiones, ya que cuantifica tanto los costos como los beneficios esperados de un proyecto, comparándolos para determinar si los beneficios superan los costos. Este análisis incluye una serie de cálculos que generan flujos económicos o financieros netos incrementales, sobre los cuales se estiman indicadores de viabilidad económica o financiera de la inversión (FAO, 2021).

Según Riquelme (2011), este análisis se realiza dividiendo el valor actual de los beneficios del flujo proyectado entre el valor actual de los costos. Para que un proyecto sea viable, este valor debe ser mayor que uno; si es menor, indica que los beneficios no superan los costos, lo que implica que los beneficios económicos netos incrementales, es decir, las ganancias adicionales generadas por el proyecto, no son suficientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Registro de información climática

4.1.1. Temperatura

La Figura 6, muestra temperaturas máximas primaverales (diciembre 2024 - marzo 2025) entre 14-15°C, con un rango térmico de 6-15°C, Estas condiciones son ideales para la formación de raíces bien estructuradas, ya que temperaturas superiores a 25°C inducen lignificación (FAO, 2022).

A continuación, se presenta los promedios generales semanales de las temperaturas máximas y mínimas tomadas en la comunidad de Toke Pucuro.

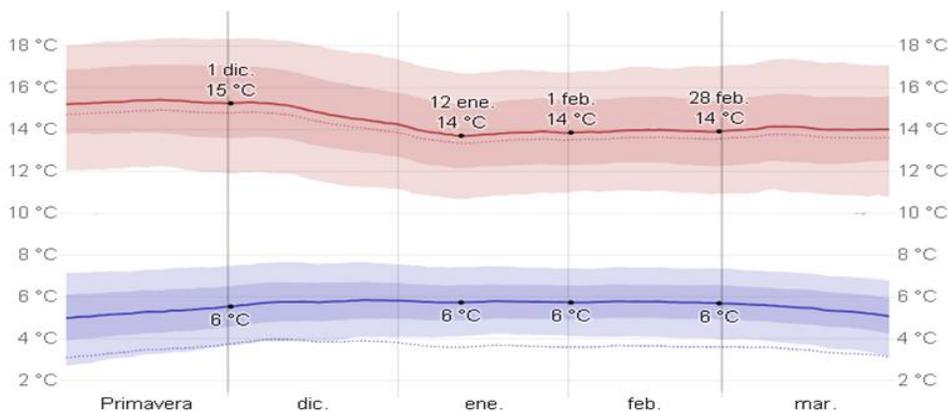


Figura 6. Temperatura media de máximas y mínimas registradas en el mes de diciembre del 2024 a marzo del 2025 (SENAMHI, 2025)

4.1.2. Precipitación

Los datos de la información climática se obtuvieron del registro de la estación en la comunidad de Achacachi próxima a la región de estudio misma que es dependiente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los datos que se observan en la Figura 7, corresponden a los meses de diciembre de 2024 a marzo de 2025.

El gráfico muestra precipitaciones acumuladas durante la primavera (diciembre a marzo), con registros específicos de 49 mm (1 dic.), 89 mm (1 ene.), 103 mm (21 ene.) y 77 mm (28 feb.).

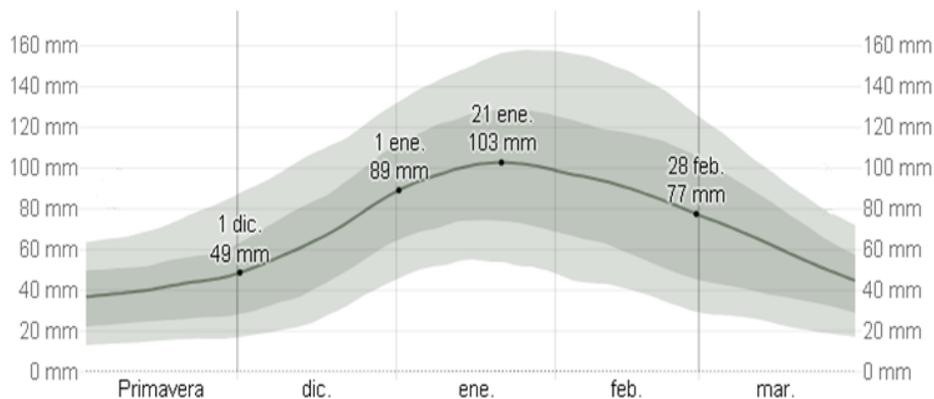


Figura 7. Precipitación pluvial media mensual del mes de diciembre del 2024 al mes de febrero del 2025 (SENAMHI, 2025)

Según Guerrero (1984), la precipitación pluvial necesaria para el desarrollo del cultivo de nabo es de 400 mm, en la zona de ensayo se presentaron precipitaciones pluviales por debajo de este requerimiento, por lo cual se adicionó un riego superficial en un intervalo de cuatro días hasta la aparición del tercer par de hojas verdaderas.

4.2. Variables edáficas

Para poder evidenciar cambios en las características del suelo se realizó el análisis de suelo de cada tratamiento tomando muestras posteriores a la cosecha como se observa en el anexo 12, 13 y 14.

4.2.1. Textura del suelo

En la Figura 8, se puede observar los resultados del análisis de la textura del suelo, que nos indica que es un suelo arcilloso, con 43 % de arcilla, 40 % de limo y 17% de arena.

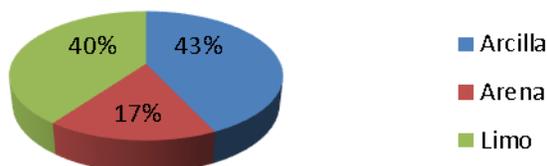


Figura 8. Análisis de la textura del suelo, comunidad Toke Pucuro

Según estudios realizados por PROINPA (2015) en condiciones del altiplano boliviano, los suelos arcillosos requieren modificaciones específicas para el cultivo de nabo, donde la incorporación de 8-10 kg/m² de materia orgánica descompuesta combinada con 100-150 g/m² de arena de río lavada y un incremento del 20% en la dosis de harina de hueso (60 g/m²) logran mejorar el rendimiento hasta en un 40%, aunque persiste una diferencia del 15-20% respecto a los rendimientos obtenidos en suelos francos óptimos, destacando la importancia del drenaje mejorado mediante surcos altos (30-40 cm) y el ajuste en el manejo del riego para contrarrestar las limitantes propias de los suelos arcillosos.

4.2.2. pH del suelo

Los valores del pH del suelo varían en los distintos tiempos es decir antes de la siembra y después de la siembra y hay diferencias entre cada tratamiento, se puede apreciar los siguientes datos:

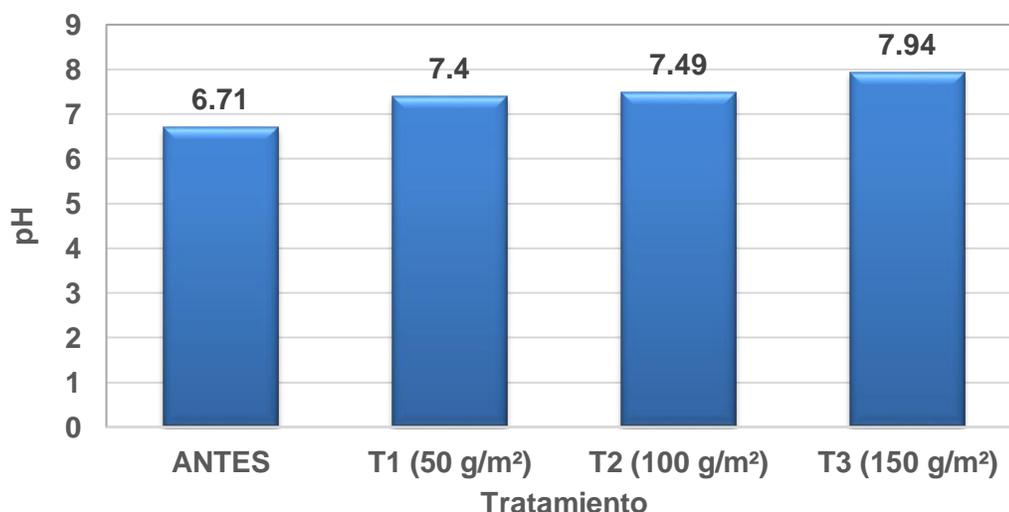


Figura 9. Comportamiento del pH del suelo en los periodos de evaluación

El análisis de los resultados presentados en la Figura 9 revela una variación en los niveles de pH del suelo, mostrando un incremento desde 6.71 (valor inicial) hasta alcanzar 7.94 en el tratamiento T3 (150 g/m²) estos resultados nos indican que la harina de hueso al contener buena cantidad de calcio este aumenta su disponibilidad en el suelo. De acuerdo con la clasificación establecida por Chilon (1997), estos valores se ubican dentro del rango considerado como medianamente básico para las condiciones del suelo.

Mendoza (2015) señala que el uso de abonos orgánicos incrementa la concentración de iones de hidrógeno en el suelo; sin embargo, cuando estas enmiendas incorporan fuentes de calcio, se produce un efecto neutralizante del pH edáfico. El autor destaca que esta capacidad de corrección de la acidez es particularmente eficaz cuando los materiales orgánicos aplicados presentan un contenido significativo de cal.

4.2.3. Capacidad de intercambio catiónico

En la Figura 10, el análisis de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) reveló un valor inicial de 17.815 meq/100g en el suelo previo a la siembra. Al igual que en otros parámetros evaluados, los valores de CIC posteriores a la cosecha presentaron variaciones en función de los diferentes tratamientos aplicados durante el estudio.

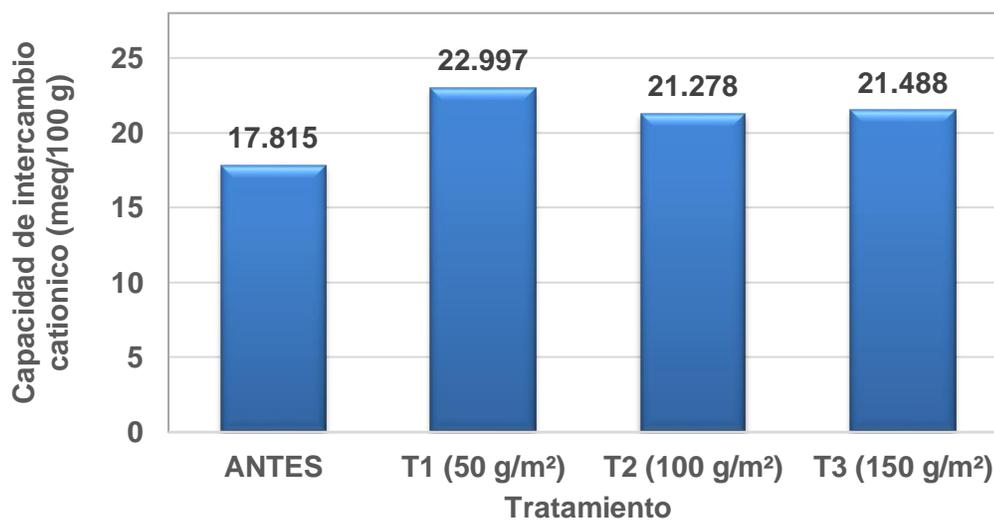


Figura 10. Comportamiento de la C.I.C. en dos momentos de evaluación

Los resultados que se pueden observar evidencian la evolución de los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en los dos periodos de muestreo siendo el T1 (50 g/m²) con 22.997 meq/100 g, el más alto en comparación a los otros tratamientos.

Al respecto Chilon (1996), indica que cuando la capacidad de intercambio catiónico en el suelo presenta valores inferiores a 15 meq/100 g, el suelo manifiesta una limitada capacidad para mantener la estabilidad del pH y un poco y reducida disponibilidad de cationes intercambiables en su fracción arcillosa.

4.2.4. Conductividad eléctrica

La Figura 11 presenta los resultados de conductividad eléctrica del suelo, registrando un valor inicial de 1.84 mmhos/cm antes de la siembra y mostrando variaciones posteriores en función de los diferentes tratamientos aplicados durante el estudio

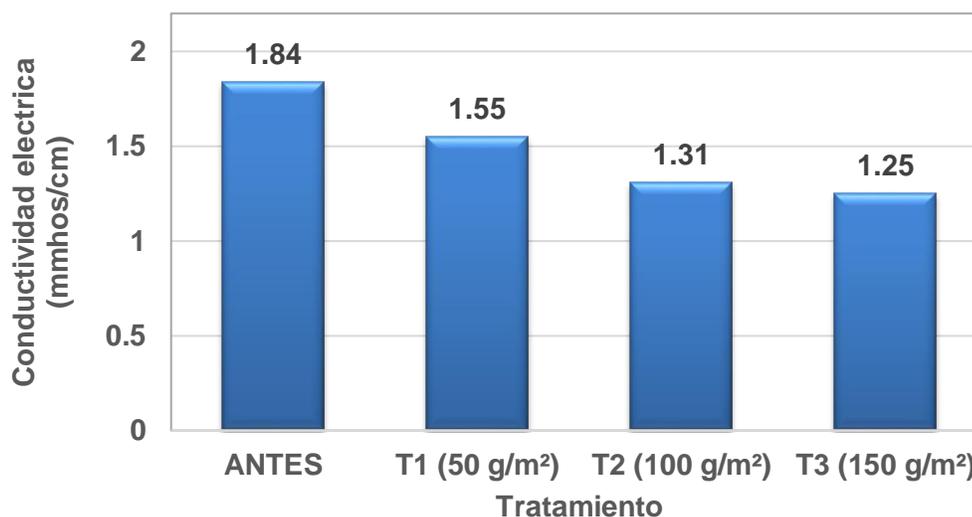


Figura 11. Comportamiento de la C.E. en dos momentos de evaluación

En la Figura 11 se puede observar que la conductividad eléctrica disminuyó de manera gradual, revelando que el uso de la harina de hueso disminuye la presencia de sales en el suelo, ya que pasó de un valor inicial de 1.84 mmhos/cm a tener 1.25 mmhos/cm con la aplicación del T3 (150 g/m²).

Wang, *et al.* (2018) menciona que la harina de hueso calcinada (rica en fosfatos cálcicos y hidroxiapatita) tiene capacidad de fijar iones salinos (Na⁺, K⁺, Cl⁻) en su estructura porosa, reduciendo su disponibilidad en la solución del suelo.

Esta disminución de la conductividad eléctrica también puede atribuirse a procesos de lixiviación de sales durante los periodos de mayor precipitación. Esta observación concuerda con lo señalado por Combatt *et al.* (2009), quien explica que la reducción en la conductividad eléctrica (CE) del suelo se produce principalmente por la disolución y posterior lavado de sales solubles, fenómeno que afecta directamente la magnitud de este parámetro edáfico.

4.2.5. Calcio intercambiable en el suelo

En la Figura 13 podemos ver antes de la siembra la cantidad inicial de calcio intercambiable de 13.315 meq/100g, este elemento como se puede observar tiende a un crecimiento progresivo y significativo.

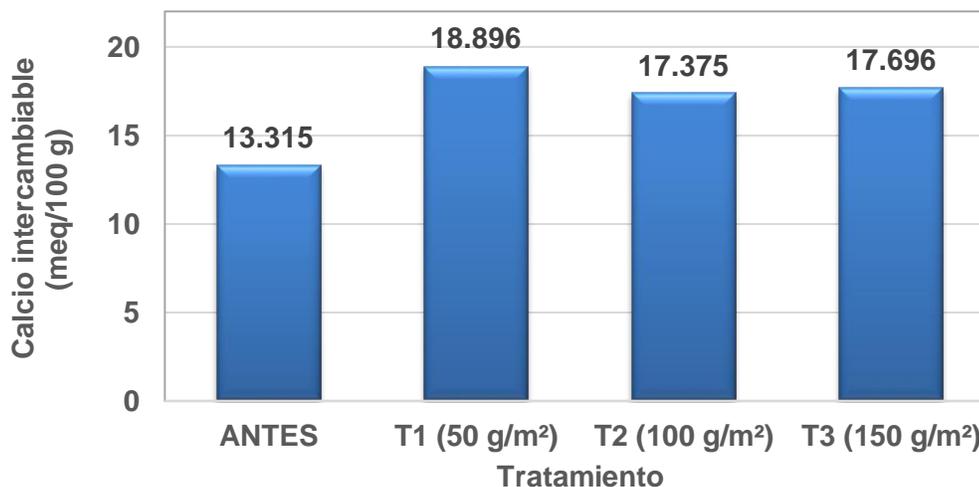


Figura 12. Cantidad de calcio intercambiable en dos momentos de evaluación

Según la clasificación de Pardavé (2004) en su trabajo Nutrición mineral de cultivos andinos, los suelos con contenidos de calcio intercambiable inferiores a 20 meq/100g se consideran marginales para cultivos exigentes en este nutriente (como el nabo en nuestro estudio), requiriendo la aplicación de enmiendas calcáreas (cal agrícola, dolomita o yeso) para optimizar su productividad.

4.2.6. Fósforo asimilable en el suelo

La Figura 14 presenta los niveles de fósforo asimilable (expresado en ppm) en ambos periodos de muestreo, donde se detecta un crecimiento significativo en la disponibilidad de fósforo.

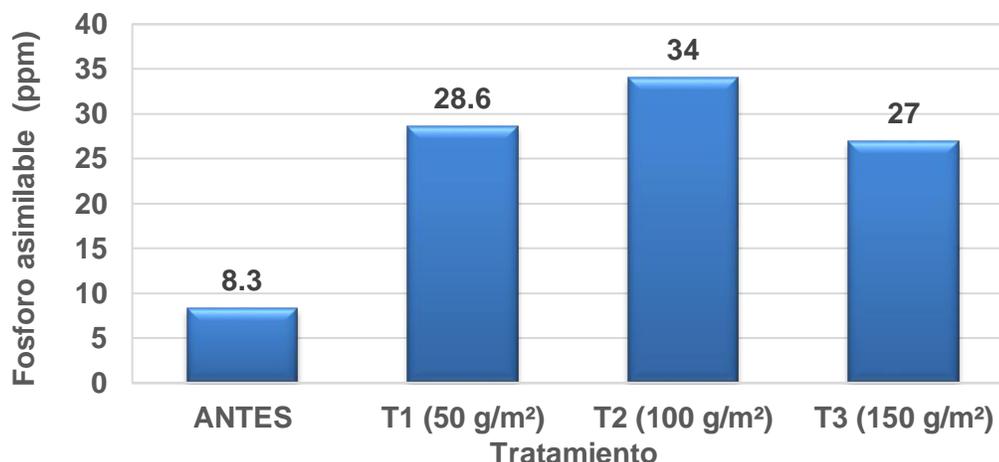


Figura 13. Cantidad de fósforo asimilable en dos momentos de evaluación

Los análisis presentados en la Figura 14, permiten establecer que los suelos del altiplano boliviano presentan bajos contenidos de fósforo asimilable. Los valores registrados en el área de estudio se ubican en el rango superior según la clasificación de Pardavé (2004), que categoriza los niveles de fósforo disponible como: muy bajo (0-8 ppm), bajo (8-16 ppm), medio (16-24 ppm) y alto (>24 ppm).

Se puede observar un incremento en los niveles de fósforo en el suelo, de 8.3 ppm inicial, a tener 34 ppm de fósforo disponible con la aplicación del T2 (100 g/m²), fenómeno que podría atribuirse a la mineralización de la materia orgánica y al aporte de la harina de hueso calcinado aplicado durante el estudio, sumado al efecto de las precipitaciones que favorecieron la liberación de nutrientes en la solución del suelo.

4.3. Variables agronómicas

4.3.1. Altura de planta (cm)

En el Cuadro 3 se evidenció diferencias significativas con respecto a la altura de planta entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), lo que indica que la aplicación de harina de hueso ejerció un efecto notable sobre el desarrollo con respecto a la altura del cultivo de nabo. El coeficiente de variación (CV) obtenido, de un 7.85%, demuestra la confiabilidad de los datos recopilados, valor que se encuentra en los hallazgos reportados en investigaciones llevadas a cabo en condiciones de campo (Hernández, 2020).

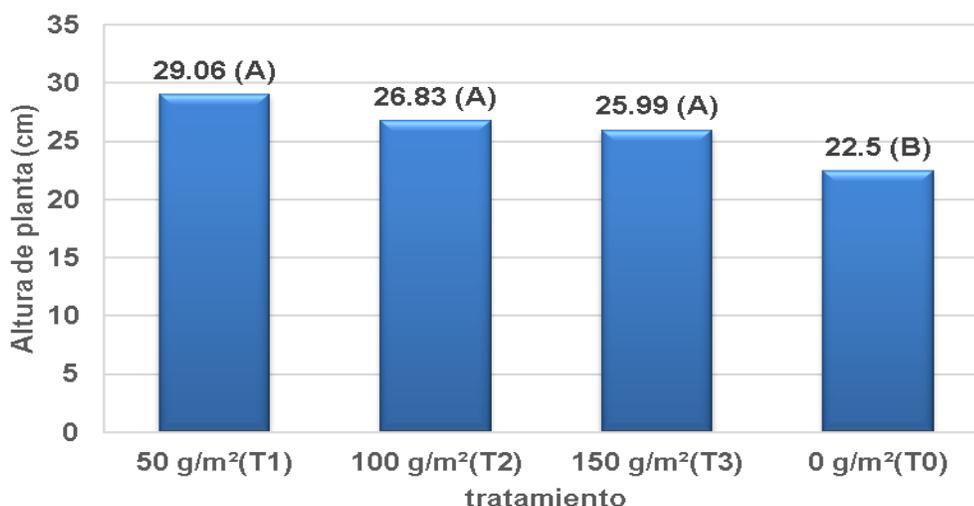
Cuadro 3. Análisis de varianza de la altura de planta

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	0.91	2	0.46	0.11	0.8989 NS
Tratamiento	66.74	3	22.25	5.29	0.0402 *
Error	25.21	6	4.20		
Total	92.86	11			

CV = 7.85 %; *: P < 0,05

Los resultados indican que la aplicación de harina de huesos a 50 g/m² (T1) produce una mayor altura en plantas (29.06 cm), sin diferencias estadísticas significativas con la dosis de 150 g/m² (T3: 26.83 cm), lo que sugiere un posible límite en la eficiencia de absorción de nutrientes. La dosis intermedia (T2: 100 g/m²; 25.99 cm) muestra una reducción en la eficacia. El testigo (T0: 22.50 cm) valida el efecto positivo del fertilizante. Se concluye que 50 g/m² es la dosis óptima.

En la Figura 14, se puede observar que T1 (50 g/m²), T2 (100 g/m²) y T3 (150 g/m²) se diferencian significativamente del T0 (testigo), estos resultados pueden ser debido a que un buen desarrollo radicular fomentado por la aplicación de harina de hueso representa mejor absorción de nutrientes y por consiguiente mayor vigor en la planta.

**Figura 14. Comparación de medias de la altura de planta**

Los nabos tratados con 50 g/m² de harina de hueso calcinado (T1) alcanzaron la mayor altura (29.06 cm), superando en un 29% al testigo sin fertilizar (22.5 cm). Según Silva *et al.* (2018), esto se debe a que estas dosis proporcionan el equilibrio ideal de fósforo

biodisponible (15-16% P_2O_5) y calcio (28-30%), nutrientes clave para el crecimiento vegetativo.

Aunque no se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos T1 (50 g/m²), T2 (100 g/m²) y T3 (150 g/m²), se puede ver que los tratamientos mencionados si presentan diferencias significativas en comparación al T0 (testigo) con estos resultados se puede asumir que el fosforo presente en la harina de hueso es beneficioso para el buen desarrollo del sistema radicular de las plantas, no obstante no se puede negar que un buen desarrollo y crecimiento de este órgano beneficia de manera positiva al crecimiento de la parte foliar, ya que una raíz en óptimas condiciones, realiza de manera más efectiva la absorción de nutrientes y agua para la planta.

Gibert (2023) señala, que al aumentar la dosis (T2: 100 g/m²; T3: 150 g/m²), la mejora fue menor (26.83 cm y 25.99 cm, respectivamente), lo que sugiere que cantidades excesivas pueden generar estrés por acumulación de iones de calcio, sin beneficios adicionales. Estos resultados, consistentes con los hallazgos de Martínez *et al.* (2018) en suelos andinos, se confirma que la dosis moderada (50 g/m²) es la más eficiente para obtener plantas vigorosas sin desperdiciar insumos.

4.3.2. Diámetro de la raíz (mm)

El análisis de varianza (Cuadro 4), pudo evidenciar diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de la raíz entre los tratamientos evaluados ($p < 0.01$), lo que indica que la aplicación de harina de hueso ejerció un efecto notable sobre el desarrollo radicular del cultivo de nabo. El coeficiente de variación (CV) obtenido, de un 9.53%, demuestra fiabilidad de los datos recopilados.

Cuadro 4. Análisis de varianza del diámetro de raíz

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	78.24	2	39.12	3.07	0.1206 NS
Tratamiento	581.46	3	193.82	15.22	0.0033 **
Error	76.43	6	12.74		
Total	736.13	11			

CV= 9.53 %; *: P <0,01

La Figura 15, demuestra claramente los beneficios de la fertilización fosfatada, evidenciando que la harina de hueso resulta efectiva incluso en dosis bajas. El tratamiento

con 50 g/m² (T1) destacó notablemente, alcanzando un diámetro radicular promedio de 90.37 mm, resultado estadísticamente superior a los demás tratamientos. Sin embargo, se observó un efecto contrario al incrementar la dosis: el tratamiento con 150 g/m² (T3) registró el menor diámetro promedio (72.27 mm), cifra incluso inferior al testigo sin fertilización (T0) que obtuvo 74.89 mm. Esta respuesta contrastante sugiere fuertemente un efecto inhibitorio por exceso de fertilización fosfatada en el desarrollo radicular. Los resultados permiten inferir la existencia de un rango óptimo de aplicación, donde dosis moderadas (50-100 g/m²) maximizan los beneficios agronómicos, mientras que concentraciones mayores resultan contraproducentes, posiblemente debido a desequilibrios nutricionales o efectos fitotóxicos.

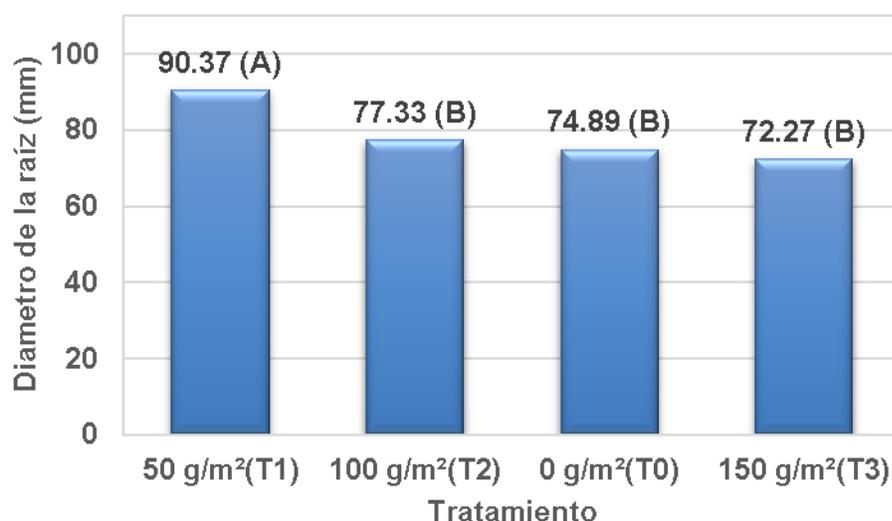


Figura 15. Comparación de medias del diámetro de la raíz

Los estudios realizados por Pérez *et al.* (2022) sugieren que la administración de dosis moderadas de harina de hueso, comprendidas en un rango que abarca de 40 a 60 g/m², favorece la optimización del desarrollo radicular en cultivos de raíz. En contraposición, la aplicación de cantidades excesivas, que superan los 100 g/m², podría inducir condiciones de estrés nutricional durante el desarrollo de las plantas.

El comportamiento superior observado en el tratamiento T1 (50 g/m²) se ajusta a este patrón, donde se considera la posibilidad de que el fósforo biodisponible presente en la harina de hueso desempeñe un papel estimulante en el proceso de división celular (Gómez *et al.*, 2021).

La disminución registrada en los valores correspondientes a los tratamientos T2 y T3 podría atribuirse, en concordancia con lo propuesto por Rodríguez *et al.* (2023), a desequilibrios originados en la relación Ca:P como consecuencia de la aplicación de dosis elevadas, lo que, en última instancia, limitaría la absorción de otros nutrientes esenciales para el adecuado desarrollo vegetal.

4.3.3. Longitud total de la raíz (mm)

El análisis estadístico mostró que no existieron diferencias significativas en la longitud de la raíz entre los tratamientos evaluados ($p=0.2286$), ni efecto significativo de los bloques experimentales. El coeficiente de variación ($CV= 4.98 \%$) indica una baja variabilidad en los datos, lo que sugiere que las mediciones fueron precisas y consistentes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza de la longitud total de la raíz

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	857.41	2	428.70	2.18	0.1946 NS
tratamiento	1130.32	3	376.77	1.91	0.22.86 NS
Error	1181.48	6	196.91		
Total	3169.21	11			

CV = 4.98 %

El crecimiento total de las raíces presenta una variación desde los 265 mm (T0) a 289.44 mm (Figura 16), si bien no existen estadísticamente diferencias estadísticas, se puede evidenciar leves variaciones y podemos asumir que las distintas dosis de harina de hueso no realizaron un efecto en relación a la longitud total de la raíz, y que esta variable fue directamente influenciada por otros factores como ser la precipitación y las características físicas del suelo.

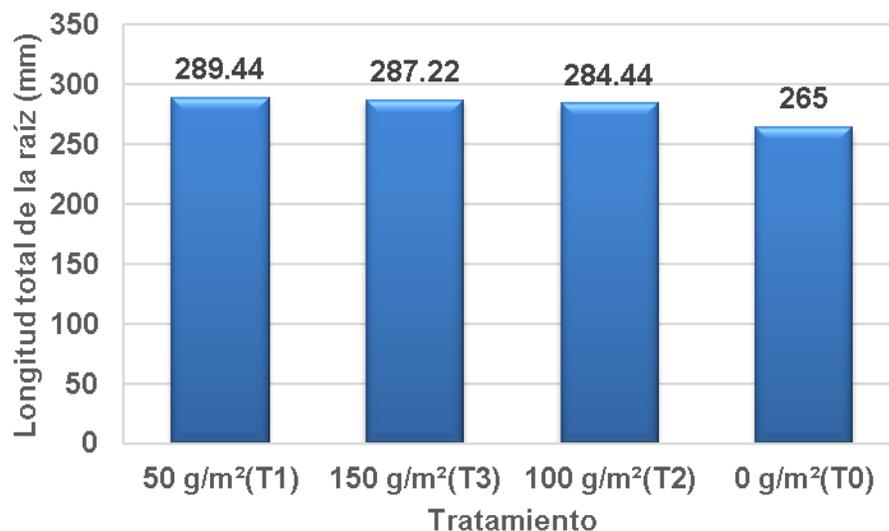


Figura 16. Medias de la longitud total de la raíz

Bengough *et al.* (2011) señalan que la compactación del suelo y su resistencia mecánica son factores clave que limitan la elongación de la raíz, independientemente de la fertilización. En nuestro estudio, es probable que las características físicas del suelo como ser su densidad aparente o estructura, hayan sido determinantes en el desarrollo radicular observado.

Por otra parte, Hodge (2010) demostró que en suelos arcillosos como los de nuestro estudio (Figura 8), la elongación radical se ve limitada incluso con aportes óptimos de nutrientes, debido a la alta resistencia mecánica. Esto explicaría por qué en nuestro estudio, realizado en suelos de Toke Pucuro, las dosis de harina de hueso no generaron diferencias significativas con respecto a la longitud total de la raíz.

4.3.4. Longitud del bulbo (mm)

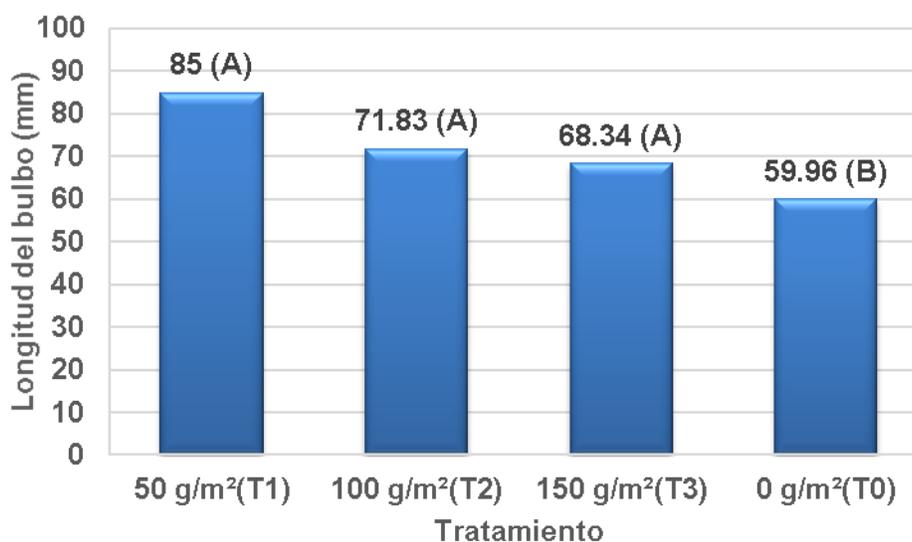
El análisis de varianza en el Cuadro 6, mostró que existen diferencias estadísticamente significativas en la longitud del bulbo entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación (CV=10.72%) indica una variabilidad moderada pero aceptable en los datos.

Cuadro 6. Análisis de varianza de la longitud del bulbo

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	340.56	2	170.26	2.31	0.1702 NS
tratamiento	976.22	3	325.41	4.42	0.0479 *
Error	441.99	6	73.66		
Total	1758.73	11			

CV =10.72 %; *: P < 0.05

En la Figura 17, se observa que los tratamientos T1 (50 g/m²), T2 (100 g/m²) y T3 (150 g/m²) presentaron valores intermedios sin diferencias significativas entre sí, pero produjeron bulbos significativamente más largos que el testigo T0. Todos los tratamientos superaron estadísticamente al testigo evidenciando que los 3 tratamientos aplicados son efectivos para mejorar el crecimiento del bulbo de la raíz.

**Figura 17. Comparación de medias de la longitud del bulbo**

Zhang *et al.* (2018) demostraron que el fósforo es fundamental para la división celular en órganos de reserva como bulbos, lo que explicaría el incremento observado en todos los tratamientos. Nuestros resultados confirman que incluso la dosis más baja (50 g/m²) fue suficiente para estimular este proceso

Según Fernández *et al.* (2020), cultivos como el nabo presentan una meseta de respuesta a fertilizantes fosfatados, donde dosis superiores a un umbral no generan beneficios

adicionales. Esto concuerda con nuestra observación de que no hubo diferencias entre T1, T2 y T3.

4.3.5. Peso de la raíz (g)

El análisis de varianza (cuadro 7) del peso de raíz de nabo muestra que tanto los bloques como los tratamientos tienen efectos significativos. El coeficiente de variación de 6.27 % nos indica que los datos recolectados son confiables.

Cuadro 7. Análisis de varianza del peso de la raíz

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	2313.92	2	1156.96	7.53	0.0231 *
tratamiento	7726.67	3	2576.56	16.76	0.0025 **
Error	922.26	6	153.71		
Total	10965.84	11			

CV = 6.27 %; *: P < 0.05; **: P < 0.01

La Figura 18, nos revela que los tratamientos T1 (50 g/m²) y T2 (100 g/m²) no difieren significativamente en cuanto al peso de la raíz, lo que sugiere que ambas dosis generan un efecto similar en el desarrollo radicular. Por el contrario, los tratamientos T3 (150 g/m²) y T0 (testigo) muestran valores inferiores y estadísticamente equivalentes entre sí, lo que permite inferir que: (1) dosis superiores a 100 g/m² no mejoran el rendimiento e incluso podrían ser contraproducentes, y (2) la ausencia de fertilización (T0) limita significativamente el crecimiento. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que existe un rango óptimo de fertilización (50-100 g/m²) para maximizar el peso de la raíz, mientras que tanto el exceso como la carencia de nutrientes resultan en un desempeño subóptimo del cultivo.

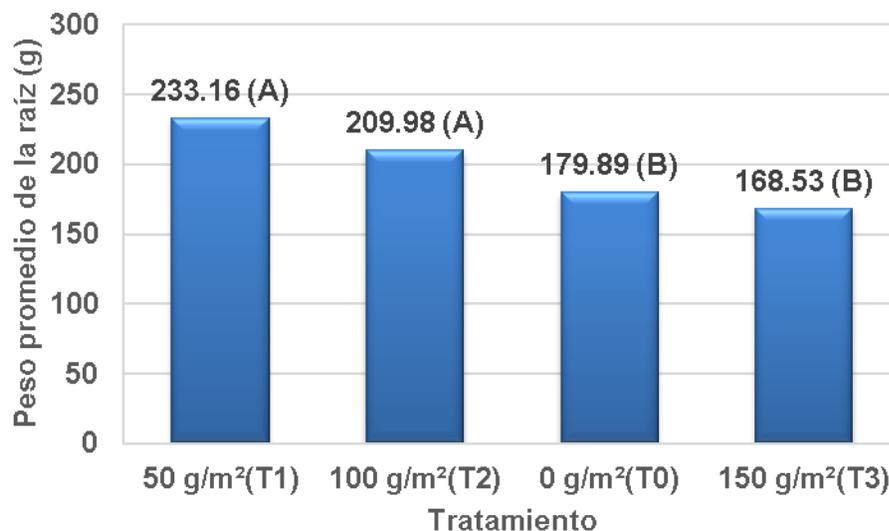


Figura 18. Comparación de medias con respecto al peso promedio de la raíz

Como se observó en el presente estudio, dosis superiores a 100 g/m² reducen el rendimiento, observándose un incremento óptimo con dosis de 50 a 100 g/m² (T1 y T2), mientras que el grupo control (T0) y la dosis alta (T3: 150 g/m²) presentaron rendimientos inferiores. Este patrón coincide con estudios previos que nos señalan que una fertilización moderada mejora el crecimiento radicular en cultivos de raíces, pero un exceso puede inducir estrés nutricional o desbalances en la absorción de nutrientes como menciona Smith *et al.*, (2018).

La superioridad de T1 (50 g/m²) sugiere que es más eficiente en el uso de recursos, al alcanzar pesos similares a T2 (100 g/m²) con menor insumo, lo que podría atribuirse a la capacidad del cultivo de nabo para aprovechar los nutrientes en dosis bajas, como reportan Zhang *et al.* (2020) en condiciones de suelos fértiles. Por otro lado, la reducción en T3 (150 g/m²) podría relacionarse con toxicidad por acumulación de sales o inhibición competitiva de micronutrientes, fenómeno documentado en crucíferas por López (2019).

4.3.6. Rendimiento (t/ha)

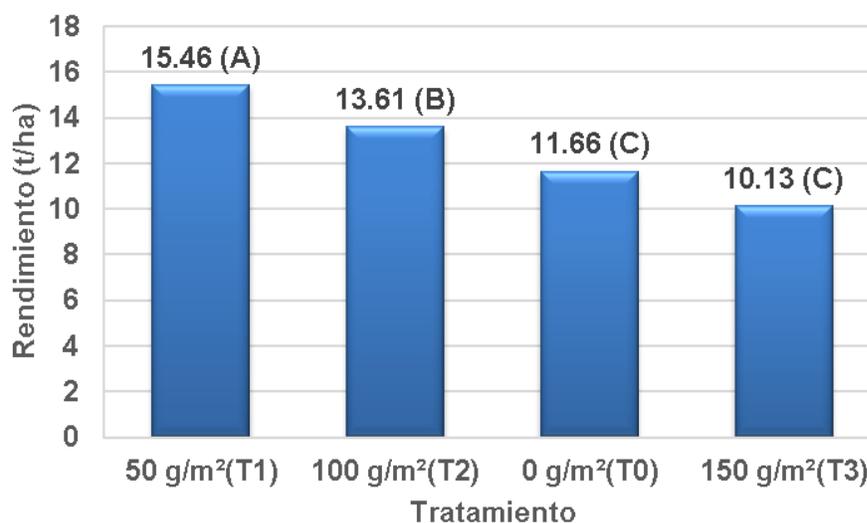
El ANOVA en el Cuadro 8, nos revela que tanto los bloques como los tratamientos afectan significativamente al rendimiento (t/ha), siendo los bloques el factor más influyente. El bajo error y el coeficiente de varianza (6.73%) indican alta precisión en los datos.

Cuadro 8. Análisis de varianza del rendimiento

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Bloque	9.32	2	4.66	6.37	0.0329 *
tratamiento	48.44	3	16.15	22.07	0.0012 **
Error	4.39	6	0.73		
Total	62.14	11			

CV = 6.73 %; *: Pr < 0.05; **: Pr < 0.01

Los resultados que se muestran en la Figura 19, permiten deducir que existe un umbral óptimo de fertilización, donde la dosis moderada de 50 g/m² (T1) maximizó el rendimiento (15.46 t/ha), lo que sugiere un balance adecuado de nutrientes; sin embargo, al superar esta cantidad (T2: 13.61 t/ha; T3: 10.13 t/ha) se observa una disminución progresiva, lo que hace plausible hipotetizar que dosis elevadas podrían inducir estrés nutricional o desequilibrios fisiológicos, mientras que la ausencia total de fertilizante (T0: 11.66 t/ha) limitó el potencial productivo, evidenciando que tanto el déficit como el exceso de fertilización comprometen el rendimiento en este cultivo.

**Figura 19. Comparación de medias con respecto al rendimiento de la raíz**

La inexistencia de una diferencia significativa entre T0 (0 g/m²) y T3 (150 g/m²) sugiere que el exceso de fertilizante puede ser tan contraproducente como su ausencia, fenómeno que puede estar presente en suelos arcillosos.

Como demostraron Silva *et al.* (2018), la aplicación de 50 g/m² de harina de hueso (T1) produjo el mayor rendimiento (15.46 t/ha), superando significativamente al testigo (11.66 t/ha) y confirmando que esta dosis moderada optimiza la disponibilidad de fósforo y calcio para el cultivo. Sin embargo, como advierte Gibert (2023), el exceso de fertilización (150 g/m² en T3) redujo drásticamente el rendimiento a 10.13 t/ha, evidenciando que dosis elevadas pueden ser contraproducentes al afectar el balance nutricional del suelo

Estos hallazgos nos demuestran que la harina de hueso en dosis adecuadas tiene un impacto positivo en el rendimiento del cultivo de nabo, en comparación a los promedios de rendimiento en la zona que no superan las 8-10 toneladas por hectárea, valores que son inferiores al potencial productivo del cultivo que podría alcanzar entre 15-20 t/ha según estudios realizados por López y Vargas (2015).

4.4. Índice de crecimiento

4.4.1. Tasa de crecimiento relativo

4.4.1.1. Diámetro de la raíz

Los tratamientos con harina de hueso mostraron claras ventajas frente al testigo sin fertilizar, en la Figura 20, se puede observar las tasas de crecimiento relativas de cada tratamiento.

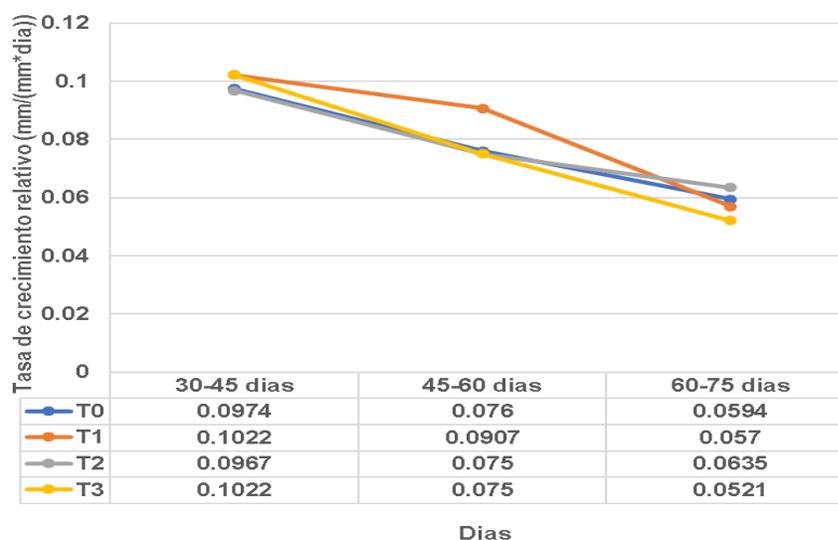


Figura 20. Tasa de crecimiento relativo a partir del día 30 al día 75, con respecto al diámetro de la raíz

En la primera fase (30-45 días), tanto T1 (50 g/m²) como T3 (150 g/m²) lograron la mayor tasa de crecimiento (0.1022 mm/(mm*día)), demostrando que incluso pequeñas cantidades de este fertilizante estimulan bien el crecimiento inicial de las raíces.

Durante la etapa intermedia (45-60 días), el tratamiento 1 destacó con el mejor desempeño (0.0907 mm/(mm*día)), casi igualando su ritmo inicial. Esto nos indica que dosis medias de harina de hueso mantienen mejor el crecimiento cuando la planta está en su fase de máximo desarrollo

Al final del ciclo (60-75 días), el tratamiento 2 (100 g/m²) mostró su verdadero valor, manteniendo la tasa de crecimiento más alta (0.0635 mm/(mm*día)). Esto revela que esta dosis intermedia es la que mejor sostiene el crecimiento hasta la maduración, sin caer bruscamente como ocurrió con T1 y T3.

Los resultados muestran que la harina de hueso mejora significativamente el diámetro de la raíz de nabo, con un efecto dependiente de la dosis y la etapa de crecimiento. En la fase inicial (30-45 días), tanto la dosis baja (T1: 50 g/m²) como la dosis alta (T3: 150 g/m²) promovieron la mayor tasa de crecimiento (0.1022 mm/(mm*día)), sugiriendo que este fertilizante es eficaz desde etapas tempranas. Sin embargo, en la fase intermedia (45-60 días), T1 mantuvo un mejor desempeño (0.0907 mm/(mm*día)), mientras que en la etapa final (60-75 días), la dosis media (T2: 100 g/m²) mostró la mayor tasa (0.0635 mm/(mm*día)), indicando que concentraciones moderadas optimizan el crecimiento sostenido hasta la maduración.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan el papel de los fosfatos orgánicos en el desarrollo radicular, ya que la harina de hueso libera nutrientes gradualmente, favoreciendo un crecimiento prolongado (Smith *et al.*, 2020).

4.5. Análisis económico

4.5.1. Beneficio costo

Este trabajo utilizó como base los costos variables de producción documentados por Riquelme (2011) para realizar sus estimaciones económicas. La metodología completa y los valores específicos empleados en los cálculos aparecen detallados en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de la relación beneficio – costo.

O	RENDIMIENTO O kg/ha	PRECIO/ OPORTU NIDAD Bs	TOTAL, COSTO/VA RIABLE Bs	TOTAL, BENEFICIO BRUTO Bs	TOTAL, BENEFICIO NETO Bs.	RELACION BENEFICIO/ COSTO
T0	11659.26	1.8	12500	20986.67	8486.67	1.68
T1	15463.12	1.8	14700	27833.61	13133.61	1.89
T2	13609.88	1.8	15550	24497.78	8947.78	1.58
T3	10130.86	1.8	16400	18235.55	1835.55	1.11

Como se puede observar en el cuadro 9, el mejor resultado de la relación beneficio-costo lo presenta el tratamiento T1 (50 g/m²) con un valor de 1.89, lo que indica que, por cada boliviano invertido, se obtiene una ganancia de 0.89 bolivianos. Esto demuestra que el tratamiento 1 no solo recupera la inversión, sino que genera un beneficio adicional significativo.

Por otro lado, el tratamiento T3 (150 g/m²) registra la menor rentabilidad (B/C = 1.11), lo que significa que, por cada boliviano invertido, la ganancia es de solo 0.11 bolivianos. Aunque supera el valor de referencia (1.0), su margen de beneficio es muy bajo, lo que lo hace poco atractivo desde el punto de vista económico.

De acuerdo con Riquelme (2011), cuando la relación beneficio-costo (B/C) supera el valor de 1, el tratamiento o inversión se considera económicamente viable, ya que indica que los beneficios brutos cubren los costos totales y generan ganancias. En este estudio, todos los tratamientos (T0 a T3) cumplen este criterio, pero el T1 destaca con una B/C de 1.89, evidenciando mayor eficiencia económica.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de harina de hueso ejerce un efecto significativo en el desarrollo del cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.), particularmente cuando se aplica en dosis moderadas. El tratamiento T1 (50 g/m²) mostró los mejores resultados en cuanto a parámetros morfológicos, registrando un diámetro de raíz de 90.37 mm (20.7% superior al testigo), longitud de bulbo de 85 mm y altura de planta de 29.06 cm. Estos valores fueron consistentemente superiores a los obtenidos en el testigo sin fertilización (T0) y en los tratamientos con mayores dosis (T2 y T3). El análisis de la tasa de crecimiento relativo (TCR) reveló que el T1 presentó el mejor desempeño durante la fase inicial de desarrollo (0.1022 mm/(mm·día)), mientras que en etapas posteriores, el tratamiento T2 (100 g/m²) mostró buenos resultados (0.0635 mm/(mm·día)), confirmando que existe un rango óptimo de aplicación entre 50-100 g/m². Es importante destacar que la dosis más alta (T3: 150 g/m²) presentó efectos negativos, reduciendo el diámetro de raíz a 72.27 mm, lo que sugiere la presencia de estrés nutricional o posible fitotoxicidad cuando se exceden las dosis recomendadas.
- El análisis de los datos de rendimiento permitió establecer que la dosis de 50 g/m² (T1) fue la más efectiva, alcanzando un rendimiento de 15.46 t/ha, lo que representa un incremento del 32.6% respecto al testigo (11.66 t/ha). Este resultado fue estadísticamente superior no solo al control, sino también a los tratamientos con mayores dosis (T2: 13.61 t/ha; T3: 10.13 t/ha). La comparación entre tratamientos evidenció que existe una relación inversa entre el incremento en la dosis de aplicación y el rendimiento obtenido cuando se superan los 100 g/m², observándose una disminución progresiva en la productividad. Estos hallazgos confirman que la fertilización con harina de hueso debe ser cuidadosamente dosificada, ya que si bien es una excelente fuente de fósforo orgánico, su aplicación en exceso puede generar desbalances nutricionales que afectan negativamente el desarrollo del cultivo y, consecuentemente, su rendimiento final.
- La evaluación costo-beneficio demostró que el tratamiento T1 (50 g/m²) presentó la mejor relación beneficio/costo (1.89), generando un beneficio neto de Bs. 13,133.61, lo

que significa que por cada boliviano invertido se recupera la inversión y se obtiene una ganancia adicional de 0.89 bolivianos. Este resultado contrasta marcadamente con el obtenido en el tratamiento T3 (150 g/m²), que mostró la menor rentabilidad (B/C = 1.06) debido a los altos costos de aplicación y al bajo rendimiento obtenido. El análisis comparativo entre los diferentes tratamientos permitió establecer que existe un punto óptimo de aplicación (50 g/m²) que maximiza tanto los parámetros productivos como los económicos. Estos resultados tienen especial relevancia para los agricultores de la región, ya que demuestran que es posible mejorar la productividad del cultivo de nabo mediante el uso racional de fertilizantes orgánicos, optimizando los recursos disponibles y aumentando la rentabilidad de la producción.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Basado en los resultados del estudio, se recomienda a los agricultores de la comunidad de Toke Pucuro aplicar una dosis de 50 g/m² (500 kg/ha) de harina de hueso calcinada para el cultivo de nabo, ya que esta demostró ser la más efectiva en términos de crecimiento vegetal, rendimiento (15.46 t/ha) y rentabilidad económica (relación beneficio/costo de 1.89). Es importante realizar análisis periódicos de suelo para monitorear los niveles de nutrientes y ajustar las dosis de fertilización según las necesidades específicas del terreno, evitando así aplicaciones excesivas que puedan reducir la productividad y rentabilidad del cultivo.
- Se sugiere evitar el uso de dosis superiores a 100 g/m² (1000 kg/ha), ya que el estudio mostró que estas no mejoran el rendimiento y pueden incluso disminuirlo, como se observó con la dosis de 150 g/m² que produjo solo 10.13 t/ha. Para maximizar los beneficios, sería conveniente implementar programas de capacitación técnica para los agricultores, donde se destaque la importancia de usar las dosis adecuadas de fertilizantes orgánicos y se promueva el análisis económico de las prácticas agrícolas.
- Como complemento a la fertilización con harina de hueso, se recomienda incorporar otras prácticas sostenibles como el uso de abonos orgánicos (compost o estiércol) y la rotación de cultivos, lo que ayudaría a mantener y mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo. Finalmente, sería valioso realizar estudios adicionales para evaluar el efecto combinado de la harina de hueso con otros biofertilizantes y su comportamiento en diferentes tipos de suelo, lo que permitiría optimizar aún más las prácticas agrícolas en la región.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASF. 2021. Uso de enmiendas orgánicas en hortalizas de raíz del Altiplano central. Boletín Técnico N°5.
- Bengough, AG. McKenzie, B. Hallett, P. Valentine, T. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62(1):59-68.
- Blanco, J. 2018. Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad agrícola. Inventario Español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad Agrícola. Consultado en 17 may. 2025. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/images/es/tardio_etal2022_lectbavol2_tcm30-640207.pdf. Consultado en 15 mar. 2025.
- Brady, NC. Weil, R. 2016. *The nature and properties of soils*. 15 ed. Harlow, Reino Unido. Pearson. 1104 p.
- Chilon, E. 1997. *Fertilidad de suelos y nutrición de plantas de campo y laboratorio*. La Paz, Bolivia. Ed. CIDAT. 250 p.
- Combatt, E. Cabrera, J. Barrera, J. 2009. Alteración química de la solución de un suelo sulfatado ácido, con encalamiento y lavado en columnas disturbadas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, Córdoba, Colombia. 106 p.
- Cortina, A. 2023. Claves para el éxito del cultivo de nabos y de grelos. *La Fertilidad de la Tierra*. Consultado en 17 may. 2025. Disponible en: <https://www.lafertilidaddelatierra.com/claves-para-el-exito-del-cultivo-de-nabos-y-de-grelos/>.
- ECHOcommunity. 2023. Nabo (berza, colza, rábano blanco). Estados Unidos. Consultado en 17 may. 2025. Disponible en: <https://www.echocommunity.org/es/resources/72243591-437a-475c-8b9c-ef4aea8d281>.
- Engormix. 2023. Usos de la harina de hueso. Consultado en 15 jul. 2024. Disponible en: https://www.engormix.com/balanceados/miscellaneous/usos-harina-hueso_f1958/.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Agricultura familiar y seguridad alimentaria en Bolivia. Consultado en 15 mar. 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/bolivia>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Agricultura sostenible en zonas altoandinas. Consultado en 15 mar. 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/andes>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2022. Producción de hortalizas de clima templado. Consultado en 15 mar. 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/3/cb4470es/cb4470es.pdf>.
- Fernández, JA. García, ML. López-Lefebvre, LR. Rivero, R. Romero, L. 2020. Dose-response relationships in root crops fertilization. *Agricultural Sciences* 11(3):245-258.
- García, E. Ruiz, M. 2010. Análisis del crecimiento en plantas: Una revisión metodológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(2):213-225.
- García, M. López, R. Sánchez, P. 2021. Effects of bone meal amendments on root architecture and soil microbial communities in Mediterranean agroecosystems. *Plant and Soil* 465(1-2):215-230.
- Gibert, J. 2023. Aplicación de la harina de hueso como fuente de fósforo en plántulas. *ABC Rural*. Consultado en 12 may. 2025. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/harina-de-hueso---dr-p-m-gibert-1344580.html>.
- Gómez, A. Martínez, B. Díaz, C. 2021. *Journal of Plant Nutrition* 44(5):712-725.
- González, A. Pérez, M. 2021. Ciclo biológico y manejo agronómico del nabo (*Brassica rapa* L.) en condiciones de altiplano. *Revista de Ciencias Agrarias* 123-130.
- Guerrero, A. 1984. *Cultivos herbáceos extensivos*. 3 ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 434-435 p.
- Gutiérrez, R. Flores, L. Quispe, T. 2020. Efecto de enmiendas óseas en cultivos andinos. *Agricultural Science* 35(2):145-160. Lima, Perú.
- Hernández, L. Castro, M. 2020. *Acta Agronómica* 69(1):45-53.

- Hodge, A. 2010. Roots: The acquisition of water and nutrients from the heterogeneous soil environment. *Progress in Botany* 71:307-337.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2019. Alternativas orgánicas para la nutrición de cultivos andinos. Manual Técnico N°14.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2019. Uso de harina de hueso en cultivos andinos. Manual Técnico N°12.
- INIAP (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2018. Diagnóstico de suelos en el municipio de Santiago de Huata. Informe Técnico.
- Kelley, K. Smith, J. Brown, T. 2018. Nutritional and health benefits of root vegetables. *Journal of Nutritional Science* 1-10.
- López, L. 2019. Fertilidad de suelos y rendimiento en crucíferas. Ed. AgroTech.
- López, R. Vargas, T. 2015. Manual de adaptación de cultivos a suelos pesados en el altiplano. Publicación PROINPA, Serie Técnica No. 12, La Paz, Bolivia. 45-52 p.
- Mantala. 2024. Tallo joven del nabo. España. Consultado en 15 abr. 2025. Disponible en: <https://mantala.eus/producto/tallo-joven-del-nabo/>.
- Maroto, J. 1995. Horticultura herbácea especial. 4 ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 27-32 p.
- Marschner, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. Londres, Reino Unido. Academic Press. 651 p.
- Martínez, A. Sánchez, L. Moreno, C. 2018. Uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura moderna. *Agricultura y Desarrollo Sustentable* 23-35.
- Martínez, F. García, P. López, M. 2020. *Agricultural Research* 12(4):567-575.
- Mendoza, P. Rojas, S. Torres, L. 2016. Efecto de enmiendas orgánicas en propiedades químicas de suelos ácidos. *Revista Latinoamericana de Suelos* 34(2):45-60.

- Ministerio de Agricultura. 2021. Nabo - 187 Turnip root. España. Consultado en 15 may. 2025. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/nabo_tcm30-102704.pdf.
- Mortensen, L. Bullard, J. 1986. Guía de cultivos para el altiplano. La Paz, Bolivia. Editorial Universitaria. 15 may. 2025. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6839/T-2185.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.
- Nabo. 2021. En Huerto.Bio. Santiago de Chile. Consultado en 10 may. 2025. Disponible en: <https://huerto.bio.com/>.
- Ochoa, J. 2009. Diseño y análisis de experimentos: Métodos y aplicaciones. Editorial Universitaria.
- Pardavé, L. 2004. Nutrición mineral de cultivos andinos. Lima, Perú. INIA. 112 p.
- Pascual, M. 2015. Efecto de tres niveles de abono líquido orgánico en la producción del cultivo de nabo (*Brassica rapa* L.) a campo abierto en el municipio de Achocalla. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 143 p.
- Pérez, R. González, M. Silva, A. 2022. Agricultural Science 15(2):89-104.
- PROINPA. 2015. Catálogo de variedades locales de hortalizas en Bolivia. La Paz, Bolivia. 25-32 p.
- Ramírez, A. 1992. Manejo de suelos para la producción agrícola en el altiplano. La Paz, Bolivia. 12 p.
- Riquelme, C. 2011. Formulación y evaluación de proyectos. 1 ed. La Paz, Bolivia. 94-104 p.
- Rodríguez, M. López, J. García, H. 2023. Soil Biology & Biochemistry 67:112-120.
- Rojas, M. Torres, P. Díaz, L. 2022. Experimental Agriculture 58(1):45-60.
- Ruano, J. 1999. Cultivo de hortalizas en el altiplano. La Paz, Bolivia.

- SENAMHI. 2025. Monitoreo Climático. La Paz, Bolivia. Consultado en 29 mar. 2025. Disponible en: <https://senamhi.gob.bo/index.php/clima>.
- Sharpley, AN. McDowell, RW. Kleinman, PJA. 2004. Phosphorus fertilization and water quality. *Journal of Environmental Quality* 33(1):195-202.
- Silva, JA. Bonomelli, C. Ruiz, R. 2018. Optimization of organic fertilizers in sustainable agriculture. *Agronomy Journal* 110(3):975-987.
- Silva, P. Martínez, L. Ríos, D. 2018. Efecto de enmiendas orgánicas en el rendimiento de hortalizas. *Agronomía Tropical* 68(3):112-125.
- Silva, RN. Oliveira, DF. Pereira, ES. 2023. Hormetic responses to organic amendments in tropical soils: Implications for sustainable agriculture. *Frontiers in Agronomy* 5:78-92.
- Smith, J. Brown, T. Wilson, K. 2018. Nutrient use efficiency in root crops. *Journal of Agronomy* 12(3):45-60.
- USDA. 1970. United States Department of irrigation and technology. USA. 50-55 p.
- Wang, H. Chen, L. 2022. Phosphorus-induced toxicity mechanisms in root systems of *Solanum lycopersicum* L. *Journal of Plant Nutrition* 45(8):1125-1140.
- Wang, L. Chen, X. Zhang, Y. 2017. Calcium phosphate-based materials for immobilization of heavy metals and salinity mitigation in soils. *Environmental Science and Technology* 51(10):5617-5625.
- Zhang, H. Li, W. Wang, Y. 2020. Optimal fertilization for *Brassica rapa* L. in loam soils. *Plant and Soil* 450(1):112-125.
- Zhang, Y. Liu, H. Zhou, R. Jin, X. Yang, X. Wang, K. 2018. Phosphorus nutrition improves the productivity of root crops. *Journal of Plant Nutrition* 41(5):612-625.

8. ANEXOS

Anexo 1. Reporte del análisis físico y químico del suelo



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



REF: FAC.AGRO.LAB. N°1077/24

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO:
RESPONSABLE DE ANÁLISIS
SOLICITUD:
FECHA DE ENTREGA:
RESPONSABLE DE MUESTREO
PROCEDENCIA:

JOEL MIRANDA CALLISAYA
 Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 LAPS 24_439
 16/12/2024
 JOEL MIRANDA CALLISAYA
 Departamento LA PAZ
 Municipio SANTIAGO DE HUATA
 Comunidad TOKE PUCURO
 Código T-P-1
 CULTIVO
 MUESTRA N°1
 Coordenadas

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	17
	Limo	%	40
	Arcilla	%	43
	Clase Textural	-	ARCILLOSO
Densidad Real	g/cm ³	2,480	Picnómetro
Densidad Aparente	g/cm ³	1,177	Probeta
pH en H₂O relación 1:2,5	-	6,71	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:2,5	mmhos/cm	1,84	Potenciometría
Calcio Intercambiable	meq/100g S.	13,315	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Potasio Intercambiable	meq/100g S.	0,009	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g S.	17,815	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total	%	0,15	Kjendahl
Materia orgánica	%		Walkley y Black
Fósforo disponible	ppm	8,3	Espectrofotometría UV-Visible

- * El informe de laboratorio es válido si se prestan las firmas y sellos correspondientes
- * En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de la muestra
- * Está prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio



Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 ANALISTA FÍSICO QUÍMICO
 DE SUELOS AGUAS VEGETALES
 LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,
Telf. IIAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • **E-mail:** lafasa.suelos@gmail.com
Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

Anexo 2. Preparación del terreno



Anexo 3. Siembra de la semilla del nabo realizando el espaciamiento entre plantas



Anexo 4. Periodo de evaluación del diámetro, longitud total, longitud del bulbo y altura de la planta



Anexo 5. Desmalezado o deshierbe en las parcelas experimentales



Anexo 6. Cosecha del cultivo de nabo, clasificándolos por bloques y por tratamiento



Anexo 7. Postcosecha del cultivo, deshojado, corte de la de la parte no comercial de la raíz y pesaje del nabo para el cálculo del rendimiento



Anexo 8. Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 1

№	DESCRIPCION	unidad de medida	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	COSTO TOTAL Bs
1	PREPARACION DEL TERRENO				
	roturado c/tractor	Ha	1	500	500
	rastrado c/tractor	Ha	1	400	400
	abono organico (harina de hueso calcinado)	kg	500	1.7	850
	incorporacion de abono organico (harina de hueso calcinado)	Jornal	15	90	1350
2	SIEMBRA				
	mano de obra (siembra)	Jornal	15	100	1500
	mano de obra (surcado y tapado)	Jornal	15	100	1500
3	INSUMOS DE SIEMBRA				
	semilla	Kg	5	280	1400
4	LABORES CULTURALES				
	Mano de obra (Desmalezado)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Raleo)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Aporque)	Jornal	15	100	1500
5	COSECHA Y POST COSECHA				
	Mano de obra (Recoleccion)	Jornal	10	100	1000
	Mano de obra (Deshojado y lavado)	Jornal	7	100	700
	Mano de obra (Embolsado)	Jornal	6	100	600
	Transporte	Global	1	400	400
	COSTO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE NABO				14700

	ITEM	UNIDAD	
1	RENDIMIENTO	kg/ha	15463.12
2	PRECIO VENTA	Bs. /kg	1.80
3	COSTO VARIABLE O TOTAL DE PRODUCCION	Bs.	14700.00
4	PRECIO BRUTO	Bs.	27833.61
5	BENEFICIO NETO	Bs.	13133.61
6	BENEFICIO - COSTO	Bs./Bs.	1.89

Anexo 9. Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 2

№	DESCRIPCION	unidad de medida	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	COSTO TOTAL Bs
1	PREPARACION DEL TERRENO				
	roturado c/tractor	Ha	1	500	500
	rastrado c/tractor	Ha	1	400	400
	abono organico (harina de hueso calcinado)	kg	1000	1,7	1700
	incorporacion de abono organico (harina de hueso calcinado)	Jornal	15	90	1350
2	SIEMBRA				
	mano de obra (siembra)	Jornal	15	100	1500
	mano de obra (surcado y tapado)	Jornal	15	100	1500
3	INSUMOS DE SIEMBRA				
	semilla	Kg	5	280	1400
4	LABORES CULTURALES				
	Mano de obra (Desmalezado)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Raleo)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Aporque)	Jornal	15	100	1500
5	COSECHA Y POST COSECHA				
	Mano de obra (Recoleccion)	Jornal	10	100	1000
	Mano de obra (Deshojado y lavado)	Jornal	7	100	700
	Mano de obra (Embolsado)	Jornal	6	100	600
	Transporte	Global	1	400	400
	COSTO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE NABO				15550

	ITEM	UNIDAD	
1	RENDIMIENTO	kg/ha	13609.88
2	PRECIO VENTA	Bs. /kg	1.80
3	COSTO VARIABLE O TOTAL DE PRODUCCION	Bs.	15550.00
4	PRECIO BRUTO	Bs.	24497.78
5	BENEFICIO NETO	Bs.	8947.78
6	BENEFICIO - COSTO	Bs./Bs.	1.58

Anexo 10. Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento 3

№	DESCRIPCION	unidad de medida	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	COSTO TOTAL Bs
1	PREPARACION DEL TERRENO				
	roturado c/tractor	Ha	1	500	500
	rastrado c/tractor	Ha	1	400	400
	abono organico (harina de hueso calcinado)	kg	1500	1.7	2550
	incorporacion de abono organico (harina de hueso calcinado)	Jornal	15	90	1350
2	SIEMBRA				
	mano de obra (siembra)	Jornal	15	100	1500
	mano de obra (surcado y tapado)	Jornal	15	100	1500
3	INSUMOS DE SIEMBRA				
	semilla	Kg	5	280	1400
4	LABORES CULTURALES				
	Mano de obra (Desmalezado)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Raleo)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Aporque)	Jornal	15	100	1500
5	COSECHA Y POST COSECHA				
	Mano de obra (Recoleccion)	Jornal	10	100	1000
	Mano de obra (Deshojado y lavado)	Jornal	7	100	700
	Mano de obra (Embolsado)	Jornal	6	100	600
	Transporte	Global	1	400	400
	COSTO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE NABO				16400

	ITEM	UNIDAD	
1	RENDIMIENTO	kg/ha	10130.86
2	PRECIO VENTA	Bs. /kg	1.80
3	COSTO VARIABLE O TOTAL DE PRODUCCION	Bs.	16400.00
4	PRECIO BRUTO	Bs.	18235.55
5	BENEFICIO NETO	Bs.	1835.55
6	BENEFICIO - COSTO	Bs./Bs.	1.11

Anexo 11. Resultado del análisis de costos de producción del Tratamiento Testigo

№	DESCRIPCION	unidad de medida	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	COSTO TOTAL Bs
1	PREPARACION DEL TERRENO				
	roturado c/tractor	Ha	1	500	500
	rastrado c/tractor	Ha	1	400	400
2	SIEMBRA				
	mano de obra (siembra)	Jornal	15	100	1500
	mano de obra (surcado y tapado)	Jornal	15	100	1500
3	INSUMOS DE SIEMBRA				
	semilla	Kg	5	280	1400
4	LABORES CULTURALES				
	Mano de obra (Desmalezado)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Raleo)	Jornal	15	100	1500
	Mano de obra (Aporque)	Jornal	15	100	1500
5	COSECHA Y POST COSECHA				
	Mano de obra (Recoleccion)	Jornal	10	100	1000
	Mano de obra (Deshojado y lavado)	Jornal	7	100	700
	Mano de obra (Embolsado)	Jornal	6	100	600
	Transporte	Global	1	400	400
	COSTO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE NABO				12500

	ITEM	UNIDAD	
1	RENDIMIENTO	kg/ha	11659,26
2	PRECIO VENTA	Bs. /kg	1,80
3	COSTO VARIABLE O TOTAL DE PRODUCCION	Bs.	12500,00
4	PRECIO BRUTO	Bs.	20986,67
5	BENEFICIO NETO	Bs.	8486,67
6	BENEFICIO - COSTO	Bs./Bs.	1,68

Anexo 12. Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 1 (50 g/m²)



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRONOMIA N°435/2025

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO:
RESPONSABLE DE ANALISIS
SOLICITUD:
FECHA DE ENTREGA:
RESPONSABLE DE MUESTREO
PROCEDENCIA:

JOEL MIRANDA CALLISAYA
 Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 LAFS 25_T1
 15/04/2025
JOEL MIRANDA
 Departamento LA PAZ
 Municipio SANTIAGO DE HUATA
 Comunidad TOKE PUCURO
 Código T1-HH

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
pH en H ₂ O relación 1:2,5	-	7.4	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:2,5	mmhos/cm	1.55	Potenciometría
Calcio intercambiable	meq/100g S.	18.896	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g S.	22.997	Acetato de amonio 1N(Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Fósforo disponible	■ ppm	28.6	Espectrofotometría UV-Visible

- * El informe de laboratorio es válido si se prestan las firmas y sellos correspondientes
- * En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de la muestra
- * Está prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio




 Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 ANALISTA FÍSICO QUÍMICO
 DE SUELOS AGUAS Y VEGETALES
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS-LAFASA

Anexo 13. Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 2 (100 g/m²)



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRONOMIA N°435/2025

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO:	JOEL MIRANDA CALLISAYA
RESPONSABLE DE ANALISIS	Ing. Elizabeth Yujra Ticona
SOLICITUD:	LAFS 25_T2
FECHA DE ENTREGA:	15/04/2025
RESPONSABLE DE MUESTREO	JOEL MIRANDA
PROCEDENCIA:	Departamento LA PAZ Municipio SANTIAGO DE HUATA Comunidad TOKE PUCURO Código T1-HH

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
pH en H ₂ O relación 1:2,5	-	7.49	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:2,5	mmhos/cm	1.31	Potenciometría
Calcio intercambiable	meq/100g S.	17.375	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g S.	21.278	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Fósforo disponible	ppm	34	Espectrofotometría UV-Visible

- El informe de laboratorio es válido si se prestan las firmas y sellos correspondientes
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de la muestra
- Está prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio




 Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 ANALISTA FÍSICO QUÍMICO
 DE SUELOS AGUAS Y VEGETALES
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS LAFASA

Anexo 14. Análisis de suelo posterior a la aplicación del tratamiento 3 (150 g/m²)



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
 LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
 EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRONOMIA N°435/2025

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: JOEL MIRANDA CALLISAYA
RESPONSABLE DE ANALISIS: Ing. Elizabeth Yujra Ticona
SOLICITUD: LAFS 25_T3
FECHA DE ENTREGA: 15/04/2025
RESPONSABLE DE MUESTREO: JOEL MIRANDA
PROCEDENCIA: Departamento LA PAZ
 Municipio SANTIAGO DE HUATA
 Comunidad TOKE PUCURO
 Código T1-HH

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
pH en H ₂ O relación 1:2,5	-	7.94	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:2,5	mmhos/cm	1.25	Potenciometría
Calcio intercambiable	meq/100g S.	17.696	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g S.	21.488	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Fósforo disponible	ppm	27	Espectrofotometría UV-Visible

- * El informe de laboratorio es válido si se prestan las firmas y sellos correspondientes
- * En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de la muestra
- * Está prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio



Ing. Elizabeth Yujra Ticona
 ANALISTA FÍSICO QUÍMICO
 DE SUELOS, AGUAS Y VEGETALES
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS LAFASA