

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

**EFFECTO DE TRES FUENTES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL
RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE
REPOLLO (*Brassica oleracea L. var. capitata*) EN CONDICIONES DE CAMPO -
K'AYRA-CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br: JOEL TACO ROMERO

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

ASESOR:

MSC. CARLOS ALBERTO FARFÁN
QUINTANA

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "Efecto de tres fuentes de fertilización nitrógenada en el Rendimiento y Características Agronómicas del cultivo de Repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo - Káyra - Cusco".

presentado por: José Taco Romera con DNI Nro.: 71041391 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Agrónomo.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6º del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que corresponda de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de Abril de 2025


Firma
Post firma... Carlos Alberto Farfán Chintanga

Nro. de DNI..... 23865684

ORCID del Asesor..... 0000-0002-8263-1900

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259-483430206

Joel Taco Romero

EFECTO DE TRES FUENTES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS A...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:483430206

138 Páginas

Fecha de entrega

14 ago 2025, 8:49 a.m. GMT-5

23.421 Palabras

Fecha de descarga

14 ago 2025, 8:53 a.m. GMT-5

128.967 Caracteres

Nombre de archivo

TESIS JOEL TACO ROMERO.pdf

Tamaño de archivo

4.4 MB

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)
- ▶ Fuentes de Internet

Fuentes principales

0%	 Fuentes de Internet
1%	 Publicaciones
7%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho cariño, amor y gratitud a mis queridos padres Mónica Romero Hurtado y Germán Taco León, por su apoyo incondicional y su constante insistencia para que alcance una profesión. Gracias por guiarme siempre con su ejemplo de superación, siendo ustedes mi mayor sostén y la principal motivación en la realización de mis metas personales y profesionales.

A mis queridas hermanas Rosa Noemí, Yoma, Mayka y a mi hermano Daniel, por su constante confianza, apoyo incondicional y por estar siempre presentes a lo largo de este camino.

A mis familiares, amigos y enamorada por acompañarme con su aliento, afecto y respaldo incondicional durante mi formación profesional. Cada palabra de ánimo y gesto de apoyo ha sido fundamental en la culminación de esta etapa.

AGRADECIMIENTO

Con eterna gratitud a los docentes de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en especial a la Facultad de Agronomía y Zootecnia, por su valiosa enseñanza y formación profesional a lo largo de mi vida universitaria.

Con afecto especial y sincero agradecimiento a mi Asesor Mcs. Carlos Alberto Farfán Quintana, por la oportunidad de realizar la tesis, por sus sabias enseñanzas, orientaciones, comprensión, experiencias valiosas.

Mi sincero agradecimiento a la Dra. Elizabet Céspedes Flórez y al Ing. Luis Jesús Cuba Mellado por su constante disposición, guía y confianza a lo largo de esta etapa académica.

Agradezco al Mcs.. Víctor Minauro Rojas por, sus valiosas orientaciones por estar siempre dispuesto a colaborar durante el desarrollo de este trabajo

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del Problema Objeto de Investigación.....	2
1.2. Formulación del Problema	3
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
2.3. Justificación de la Investigación	4
III. HIPÓTESIS	6
3.1. Hipótesis General	6
3.2. Hipótesis Específicas	6
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. Antecedentes.	7
4.2 Bases Teóricas.....	10

4.3. Definición de términos	56
V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	58
5.1. Tipo de Investigación.....	58
5.2. Ubicación del Campo Experimental	58
5.3. Materiales.....	60
5.4. Método	64
5.6. Conducción del Experimento.....	69
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
6.1. Efecto de las tres Fuentes de Fertilización Sobre las Características Agronómicas del Cultivo de Repollo	86
6.1.4. Diámetro de la Cabeza de Repollo.....	94
6.1.5. Longitud de la Cabeza de Repollo	97
6.1.5. Altura de la Planta de Repollo.	100
6.2. Efecto de las tres Fuentes de Fertilización Nitrogenada Sobre el Rendimiento del Peso de Cabeza de Repollo	104
VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	108
7.6. Conclusiones:	108
7.2. Sugerencias.	109
IX. BIBLIOGRAFIA	110
X. ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición química del repollo</i>	43
Tabla 2 <i>Interpretación del análisis de suelo</i>	63
Tabla 3 <i>Variables e indicadores</i>	64
Tabla 4 <i>Tratamientos evaluados</i>	65
Tabla 5 <i>Cálculo del fertilizante a utilizar en el experimento</i>	74
Tabla 6 <i>Cantidad de fertilizante utilizado de acuerdo con el campo experimental</i>	74
Tabla 7 <i>Principales malezas del área experimental</i>	78
Tabla 8 <i>Variables e indicadores</i>	85
Tabla 9 <i>Longitud de las raíces, promedio por tratamiento en (cm)</i>	86
Tabla 10 <i>ANVA para la longitud de la raíz en (cm)</i>	86
Tabla 11 <i>Peso de la raíz, promedio por tratamiento en (g.)</i>	87
Tabla 12 <i>ANVA para peso de las raíces en (g).</i>	88
Tabla 13 <i>Prueba de Tukey para el peso de la raíz de repollo en (g)</i>	89
Tabla 14 <i>Diámetro de la raíz, promedio por tratamiento en (cm)</i>	90
Tabla 15 <i>ANVA para el diámetro de las raíces del repollo (cm)</i>	91

Tabla 16 Prueba de Tukey respecto el diámetro de la raíz de repollo en (cm)	92
Tabla 17 Diámetro de la cabeza de repollo, promedio por tratamiento en (cm)	94
Tabla 18 ANVA para el diámetro de la cabeza de repollo en(cm)	94
Tabla 19 Prueba de Tukey respecto al diámetro de las cabezas de repollo en cm	95
Tabla 20 Longitud de la cabeza, promedio por tratamiento en (cm)	97
Tabla 21 ANVA para la longitud de la cabeza en cm	97
Tabla 22 Prueba de Tukey para la longitud de las cabezas de repollo en cm	98
Tabla 23 Altura de la planta de repollo, promedio por tratamiento en (cm)	100
Tabla 24 ANVA para la altura de la planta de repollo.....	101
Tabla 25 Prueba de Tukey para la altura de la planta en cm	102
Tabla 26 Altura de la planta en cm.....	103
Tabla 27 Rendimiento del peso de la cabeza, promedio por tratamiento por parcela neta en t/ha.....	104
Tabla 28 ANVA para el rendimiento del peso de las cabezas por parcela neta en t/ha.	104
Tabla 29 Prueba de Tukey para rendimiento del peso de las cabezas de la parcela neta de repollo en t/ha	105

Tabla 30 <i>Evaluación realizada de peso de cabeza de repollo en gramos (g)</i>	115
Tabla 31 <i>Evaluación realizada de altura de planta de repollo en (cm)</i>	115
Tabla 32 <i>Evaluación realizada de longitud en (cm)</i>	116
Tabla 33 <i>Evaluación realizada de diámetro de cabeza en (cm)</i>	116
Tabla 34 <i>Evaluación realizada de longitud de raíz en (cm)</i>	117
Tabla 35 <i>Evaluación realizada de peso de raíz en (g)</i>	117
Tabla 36 <i>Evaluación realizada de diámetro de raíz en (cm)</i>	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Cultivo de repollo en etapa de crecimiento.....</i>	37
Figura 2 <i>Raíz y tallo del repollo</i>	39
Figura 3 <i>Hojas del repollo</i>	40
Figura 4 <i>Flores del repollo</i>	41
Figura 5 <i>Fruto de la planta de repollo.....</i>	42
Figura 6 <i>Semilla de la planta de repollo.....</i>	42
Figura 7 <i>Etapa de Semillero (Vo) del repollo.....</i>	51
Figura 8 <i>Etapas de establecimiento o postransplante (VI) de la planta de repollo.....</i>	51
Figura 9 <i>Etapa de preformación de la cabeza (R1) de la planta de repollo</i>	52
Figura 10 <i>Etapa de formación de cabeza (R2) de la planta de repollo</i>	53
Figura 11 <i>Ubicación satelital del campo</i>	59
Figura 12 <i>Fotografía de la semilla adquirida.....</i>	60
Figura 13 <i>Fotografía de toma de muestra de suelo</i>	63
Figura 14 <i>Croquis del campo experimental.....</i>	68
Figura 15 <i>Croquis de la unidad experimental</i>	69

Figura 16 <i>Fotografía de construcción de almaciguero</i>	70
Figura 17 <i>Fotografía de plántulas de repollo en emergencia a los 15 días de siembra ..</i>	70
Figura 18 <i>Fotografía de plántulas de repollo en agosto antes de trasplante al campo definitivo</i>	71
Figura 19 <i>Fotografía de roturado y nivelación del terreno.....</i>	72
Figura 20 <i>Fotografía de fertilización del cultivo.....</i>	75
Figura 21 <i>Fotografía de trasplante a campo definitivo del área experimental</i>	75
Figura 22 <i>Fotografía de riego por inundación</i>	76
Figura 23 <i>Fotografía del aporque del cultivo.....</i>	77
Figura 24 <i>Fotografía del marcado de plantas</i>	77
Figura 25 <i>Fotografía del control de maleza</i>	78
Figura 26 <i>Fotografía de cosecha de las 10 plantas etiquetadas</i>	79
Figura 27 <i>Fotografía de medición altura de planta en (cm)</i>	80
Figura 28 <i>Fotografía de medición del diámetro de cabeza en (cm)</i>	81
Figura 29 <i>Fotografía de medición de longitud de cabeza (cm)</i>	81
Figura 30 <i>Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)</i>	82

Figura 31 <i>Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)</i>	82
Figura 32 <i>Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)</i>	83
Figura 33 <i>Fotografía de pesado de cabeza d de repollo en (g)</i>	84
Figura 34 <i>Peso de la raíz del repollo en (g.)</i>	90
Figura 35 <i>Diámetro de la raíz del repollo en cm</i>	93
Figura 36 <i>Diámetro de la cabeza del repollo producida en cm</i>	96
Figura 37 <i>Longitud de la cabeza del repollo en cm</i>	100
Figura 38 <i>Peso de la cabeza, promedio por tratamiento de la parcela neta t/ha</i>	107
Figura 39 <i>Fotografía de la construcción del almácigo para la siembra de repollo</i>	118
Figura 40 <i>Fotografía de la siembra en almácigo de repollo</i>	119
Figura 41 <i>Fotografía de las primeras semanas en almacigo</i>	119
Figura 42 <i>Fotografía del agoste antes del trasplante en campo definitivo</i>	119
Figura 43 <i>Fotografía del recojo muestra para análisis de suelo</i>	120
Figura 44 <i>Fotografía del riego por inundación antes del trasplante</i>	120
Figura 45 <i>Fotografía del trasplante a campo definitivo</i>	120
Figura 46 <i>Fotografía del riego por inundación después del trasplante</i>	121

Figura 47 <i>Fotografía de la primera fertilización.....</i>	121
Figura 48 <i>Fotografía del riego por inundación antes del trasplante</i>	121
Figura 49 <i>Fotografía del aporque del cultivo y segunda fertilización</i>	122
Figura 50 <i>Fotografía de las plantas de repollo después del riego</i>	122
Figura 51 <i>Fotografía del repollo en etapa de crecimiento formación de cabezas</i>	122
Figura 52 <i>Fotografía de la cosecha de las cabezas de repollo.....</i>	123
Figura 53 <i>Fotografía de la cosecha y comercialización.....</i>	123
Figura 54 <i>Fotografía de la comercialización del repollo.....</i>	123
Figura 55 <i>Fotografía de la comercialización de repollo</i>	124
Figura 56 <i>Informe de análisis de suelo</i>	124

RESUMEN

Esta investigación titulada “Efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada en el rendimiento y características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo - K'ayra - Cusco”, evaluó el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada en el rendimiento y características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo en el Centro Agronómico K'ayra (Cusco), durante la campaña agrícola 2023. El estudio comparó los fertilizantes ENTEC 26, Urea, Nitrato de amonio y un testigo sin fertilización, utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones.

Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos: Rendimiento: ENTEC 26 registró el mayor rendimiento (98.55 t/ha), Nitrato de amonio (82.71 t/ha), Urea (76.69 t/ha) y Testigo (25.03 t/ha). con respecto a las características agronómicas: Diámetro de cabeza: Urea (27.52 cm), ENTEC 26 (26.63 cm), Nitrato de amonio (25.41 cm), Testigo (16.60 cm), Longitud de cabeza: ENTEC 26 (21.51 cm), Urea (18.44 cm), Nitrato de amonio (17.58 cm), Testigo (9.31 cm); Altura de planta: ENTEC 26 (41.44 cm), Nitrato de amonio (38.80 cm), Urea (38.28 cm), Testigo (24.72 cm)

En conclusión, la fertilización nitrogenada incrementó significativamente el rendimiento y mejoró los parámetros agronómicos del repollo, demostrando que el ENTEC 26 fue la fuente más efectiva. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar fertilizantes nitrogenados adecuados para optimizar la producción de repollo en condiciones similares a las de K'ayra Cusco.

Palabras Clave: ENTEC 26, Nutriente, Fertilizante, Abono.

INTRODUCCIÓN

El repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) es una hortaliza de alta importancia económica y nutricional, apreciada por su versatilidad culinaria y su aporte de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. En el Cusco, especialmente en el ámbito del Centro Agronómico K'ayra, las condiciones agroclimáticas favorecen su cultivo, constituyendo una fuente relevante de ingresos para los productores locales.

Sin embargo, los rendimientos obtenidos en campo se mantienen por debajo de su potencial productivo, alcanzando menos de 15 t/ha frente a las 25–30 t/ha reportadas en sistemas de manejo óptimo. Entre las causas más relevantes se encuentra el manejo inadecuado de la fertilización nitrogenada, debido al uso de fuentes de baja eficiencia. El nitrógeno, nutriente esencial para el desarrollo vegetativo y la formación de cabezas comerciales, presenta altas pérdidas por lixiviación y volatilización cuando se emplean fertilizantes convencionales como la urea o el nitrato de amonio. Ante esta problemática, los fertilizantes estabilizados, como ENTEC 26, ofrecen una liberación más controlada del nitrógeno, aumentando su disponibilidad para el cultivo y reduciendo pérdidas al ambiente.

En este contexto, la presente investigación evalúa el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y las características agronómicas del repollo en condiciones de campo en el Centro Agronómico K'ayra – Cusco. Los resultados obtenidos buscan aportar información técnica que permita optimizar la productividad y fomentar un manejo sostenible del cultivo en la región.

El autor

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema Objeto de Investigación

En el Cusco, el cultivo de repollo representa una actividad hortícola de relevancia económica para pequeños y medianos productores. No obstante, en los últimos años se ha registrado una disminución significativa en sus rendimientos, pasando de promedios cercanos a 25 t/ha a menos de 15 t/ha, lo que compromete la rentabilidad de las unidades productivas y el abastecimiento a los mercados locales.

Una de las principales causas de los bajos rendimientos es el manejo inadecuado de la fertilización nitrogenada. El desconocimiento sobre la eficiencia agronómica de diferentes fuentes como urea, nitrato de amonio y fertilizantes estabilizados limita el aprovechamiento del nitrógeno, favoreciendo pérdidas por lixiviación, volatilización y baja absorción por el cultivo. Esta situación repercute negativamente no solo en el rendimiento, sino también en la sostenibilidad ambiental, al incrementar los riesgos de contaminación de suelos y aguas y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de evaluar comparativamente el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y las características agronómicas del repollo, con el fin de identificar la alternativa más eficiente bajo las condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. *Problema General*

¿Cómo es el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y las características agronómico en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var capitata*) en condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco?

1.2.2. *Problemas Específicos*

1. ¿Cómo son las características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var capitata*): altura de planta, diámetro de cabeza, peso de cabeza, longitud de cabeza, longitud de raíz, peso de raíz y diámetro de raíz bajo el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada?
2. ¿Cuál es el rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L.var? capitata*) bajo el efecto tres fuentes de fertilización nitrogenada en condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco?

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada en el rendimiento y las características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco.

2.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar las características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*): altura de planta, diámetro de cabeza, peso de cabeza, longitud de cabeza, longitud de raíz, peso de raíz y diámetro de raíz, bajo el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada.
2. Determinar el rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) bajo el efecto tres fuentes de fertilización nitrogenada en condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco.

2.3. Justificación de la Investigación

Económico

En Cusco y otras zonas altoandinas, el repollo es un cultivo clave cuya rentabilidad se ve afectada por bajos rendimientos; el uso de fertilizantes eficientes como ENTEC 26 puede reducir pérdidas, optimizar costos y mejorar la competitividad del productor

Social

Mejorar la producción de repollo en zonas como K'ayra contribuye directamente a la seguridad alimentaria, al generar alimentos accesibles y de alta calidad nutricional para la población local. Además, al fortalecer la economía rural, se promueve la estabilidad social y el bienestar de las comunidades agrícolas, reduciendo la migración y fomentando el desarrollo local sostenible.

Ambiental

El uso racional de fertilizantes es esencial para mitigar los efectos negativos de la agricultura intensiva. El empleo de fertilizantes estabilizados como ENTEC 26, que disminuyen la lixiviación y emisiones de nitrógeno, permite conservar la calidad del suelo y las fuentes hídricas, reduciendo el impacto ambiental de la actividad agrícola y promoviendo una producción más sostenible.

Investigación

Este estudio responde a la necesidad de generar conocimientos locales sobre el comportamiento del repollo frente a diferentes fuentes de nitrógeno, evaluando parámetros agronómicos clave como altura de planta, peso y diámetro de cabeza, y características de raíz. La experimentación en condiciones reales de campo en el Centro Agronómico K'ayra – Cusco permite generar evidencia aplicable a sistemas de producción similares, aportando recomendaciones técnicas específicas que contribuyan a la innovación agronómica adaptada al contexto regional.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

La aplicación de tres fuentes de fertilización nitrogenada en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo en K'ayra, Cusco, influí significativamente en el rendimiento y las características agronómicas del cultivo, siendo algunas fuentes más eficientes que otras.

3.2. Hipótesis Específicas

- HE1. La fuente de fertilización nitrogenada (ENTEC 26), mejora de manera significativamente las características agronómicas del repollo: como la altura de planta, diámetro de cabeza, peso de cabeza, longitud de cabeza, longitud de raíz, peso de raíz y diámetro de raíz, en comparación con las fuentes urea y nitrato de amonio.
- HE2. La fuente de fertilización nitrogenada (ENTEC 26) incrementa significativamente el rendimiento en kg/ha del repollo en comparación con las fuentes (urea) y (nitrato de amonio).

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes.

Portillo (2015) evaluó el efecto individual y combinado de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento del repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), utilizando fertilización química. El experimento se realizó en El Guayabo, Olopa (Chiquimula, Guatemala), bajo un diseño trifactorial en bloques completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Las dosis aplicadas fueron de 150 kg/ha de N, 250 kg/ha de P y 150 kg/ha de K. Los resultados indicaron que la combinación N + P generó los mayores rendimientos y mejor calidad de cabeza, mientras que la aplicación de 150 kg/ha de N fue la más rentable económicamente.

Aleman (2007) evaluó en su tesis titulada evaluación de dosis de fertilización nitrogenada y densidad de siembra sobre el rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), el autor evaluó el efecto de tres dosis de nitrógeno (75, 150 y 225 kg/ha) y dos densidades de siembra (28,571 y 22,222 plantas/ha), bajo un diseño bifactorial en bloques completamente al azar. Se analizaron variables como diámetro polar y ecuatorial, peso fresco, rendimiento, calidad y rentabilidad. Los mejores resultados en rendimiento, dimensiones de cabeza y rentabilidad se obtuvieron con 150 kg/ha de nitrógeno y una densidad de 28,571 plantas/ha, mientras que el mayor número de cabezas formadas se logró con 225 kg/ha de nitrógeno y la mayor densidad de siembra.

Reyes (2020) evaluó en su investigación sobre el cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), evaluó el efecto de cuatro enmiendas de fertilización (compost, lombricomposta, 18-46-0 y 12-30-10) sobre el comportamiento agronómico de dos híbridos: Cabbage F1 y Maddox F1. El estudio, realizado bajo un diseño bifactorial en bloques completos al azar, consideró

variables fenotípicas, rendimiento y relación costo-beneficio. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) tanto por variedad como por tipo de fertilización en variables como ancho de hoja, número de hojas, altura de planta y diámetro de cabeza. El mayor rendimiento (49,250 kg/ha) se obtuvo con la variedad Maddox F1 combinada con fertilizantes sintéticos, demostrando mayor eficiencia agronómica y económica.

Ochoa (2021) evaluó en su investigación titulada “*Abonamiento nitrogenado y estiércol de ovino en el rendimiento de col (Brassica oleracea L. var. capitata)*”, evaluó el efecto de diferentes dosis de nitrógeno mineral (0, 50, 100 y 150 kg/ha) y estiércol de ovino (5 y 10 t/ha) sobre el rendimiento de la variedad Corazón de Buey – Charleston Wakefield en condiciones altoandinas de Ayacucho. El experimento se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial $4N \times 2E$. Se registraron mejoras significativas en todas las variables evaluadas (longitud y diámetro de cabeza, peso individual y rendimiento), destacando la dosis de 150 kg/ha de nitrógeno y 10 t/ha de estiércol como la más productiva (59.96 t/ha). No obstante, la combinación de 50 kg/ha de nitrógeno con 10 t/ha de estiércol fue la más eficiente desde el punto de vista agronómico y económico.

Torrejón (2021) evaluó en su tesis titulada “*Efectos de dos tipos de fertilizantes y abonos en el rendimiento del repollo Corazón de Buey (Brassica oleracea L. var. capitata) en María, Luya, Amazonas*”, evaluó el impacto de fuentes de fertilización orgánica y mineral sobre el rendimiento del cultivo de repollo. El experimento se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con nueve tratamientos y tres repeticiones. Se aplicó análisis de varianza (ANVA) y prueba de Tukey al 5 % de significancia para identificar diferencias estadísticas. Los resultados mostraron efectos significativos en variables agronómicas como peso

de cabeza, longitud de planta, y dimensiones de la cabeza. El tratamiento T3 (Nutrifer Papa Sierra + Gran Guano) destacó con los valores más altos, alcanzando un rendimiento de 105.35 t/ha. Estos hallazgos evidencian que la combinación de fertilizantes orgánicos y minerales mejora significativamente el desempeño del cultivo.

Teipe (2017) evaluó el efecto de tres abonos orgánicos con micronutrientes en el rendimiento del repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en condiciones de campo en el Centro Agronómico K’ayra – Cusco. Utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar con siete tratamientos, encontró que el tratamiento con humus de lombriz más micronutrientes (2.00 kg/planta) obtuvo los mejores resultados en peso de cabeza (2.00 kg), raíz (0.22 kg), diámetro de cabeza (21.75 cm), altura de planta (48.00 cm) y longitud de raíz (24.75 cm). El ciclo del cultivo osciló entre 119.25 y 122.50 días. El estudio demostró el potencial de los abonos orgánicos enriquecidos para mejorar el rendimiento del repollo en zonas altoandinas.

Ancasi (2018) evaluó el efecto de diferentes dosis de dolomita y humus de lombriz en el rendimiento y las características agronómicas del repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) en el Centro Agronómico K’ayra – Cusco, bajo condiciones de campo. El estudio consideró parámetros como peso fresco de cabeza, diámetro y longitud de cabeza, longitud de raíz y altura de planta. El tratamiento con 0.75 t/ha de dolomita y 6 t/ha de humus de lombriz obtuvo los mejores resultados en peso, diámetro y longitud de cabeza, así como en la longitud de raíz, evidenciando un desarrollo radicular más robusto y eficiente. Por su parte, la mayor altura de planta se logró con 1 t/ha de dolomita y 6 t/ha de humus, lo que sugiere una interacción positiva entre la disponibilidad de calcio y magnesio de la dolomita y la materia orgánica aportada por el humus.

4.2 Bases Teóricas

4.2.1. Importancia de la Fertilización en la Agricultura

Ringuelet, A., & Gil,I. (2005) sostienen que el uso adecuado de fertilizantes contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y promueve un desarrollo vegetal vigoroso, lo que se refleja en un incremento tanto en la cantidad como en la calidad de los alimentos producidos. Asimismo, destacan que los agroquímicos permiten suplir deficiencias nutricionales del suelo, fortaleciendo así a las plantas frente a condiciones ambientales adversas.

4.2.2. Historia y Evolución de los Fertilizantes

Ringuelet, A., & Gil,I. (2005) señalaron que fue a partir de las investigaciones del químico alemán Justus von Liebig, realizadas a mediados del siglo XIX, que se comenzó a comprender el papel esencial de la nutrición mineral en las plantas. Liebig concluyó que las plantas no se nutrían directamente de la materia orgánica en descomposición, sino de ciertos elementos o compuestos liberados durante dicho proceso. Sus estudios se basaron en el análisis de cenizas vegetales y en ensayos con soluciones nutritivas.

Como resultado de estos hallazgos, en Europa se inició la producción de fertilizantes fosfatados a partir de huesos tratados con ácido sulfúrico, en respuesta a la pobreza de los suelos europeos y la creciente demanda alimentaria, ante el fracaso de las prácticas agrícolas tradicionales para reponer los nutrientes extraídos por los cultivos.

Posteriormente, en Alemania, se desarrolló en 1910 el proceso Haber-Bosch, que permitió la industrialización de la fijación del nitrógeno gaseoso (N_2) del aire, justo cuando las reservas de

guano una fuente natural rica en nitrógeno comenzaba a escasear debido a la sobreexplotación y al impacto en las colonias de aves productoras. Este avance, junto con el mejoramiento genético vegetal, impulsó la denominada "revolución verde", permitiendo un notable incremento en los rendimientos agrícolas.

Para ese entonces, cerca del 40 % del nitrógeno consumido a nivel mundial ya provenía de la fijación industrial mediante fertilizantes. Sin embargo, en América, y en particular en Argentina, la adopción de estas tecnologías se postergó debido a la disponibilidad de suelos "nuevos" y fértiles. No fue sino hasta la década de 1970 que el país experimentó un incremento sostenido en la productividad por hectárea cultivada.

4.2.3. Leyes Fundamentales de Fertilización

4.2.3.1. Ley de la Restitución

Serrano & Ruano (2007) enfatizan que, al concluir el ciclo de cultivo, es fundamental que el suelo mantenga las mismas condiciones de fertilidad que poseía al inicio. En términos de nutrientes, esto implica la necesidad de reponer aquellos que han sido extraídos durante las cosechas, asegurando así que no se pierda la fertilidad del suelo a lo largo de las sucesivas campañas agrícolas. La restitución de nutrientes al suelo debe abordarse desde una perspectiva tanto económica como agronómica, ya que es vital para garantizar la adecuada nutrición de la próxima cosecha. Sin embargo, la fertilización no debe limitarse únicamente a compensar la pérdida de elementos nutritivos a causa de la cosecha. Si bien este enfoque es necesario, resulta insuficiente por varias razones fundamentales:

Diversidad de nutrientes: Los cultivos no solo extraen ciertos nutrientes específicos, sino que también requieren un equilibrio de varios elementos para un crecimiento óptimo. Por lo tanto, la fertilización debe contemplar una variedad de nutrientes y micronutrientes que puedan ser necesarios para diferentes cultivos y sus fases de desarrollo.

Mejora las propiedades del suelo: La fertilización debe enfocarse en mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, no solo en reponer nutrientes. Esto incluye la mejora de la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la actividad microbiana, factores que son esenciales para la sostenibilidad a largo plazo de la fertilidad del suelo.

Efecto a largo plazo: La práctica de fertilización debe considerarse dentro de un marco de gestión sostenible. Esto significa que las decisiones de fertilización deben tener en cuenta el impacto a largo plazo en la salud del suelo y la producción agrícola. Las prácticas inadecuadas de fertilización pueden llevar a la degradación del suelo y la reducción de su capacidad productiva a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, la fertilización debe tener como objetivo principal no solo la restitución de nutrientes, sino también la conservación y mejora continua de la fertilidad del suelo, garantizando así un sistema agrícola sostenible y productivo.

4.2.3.2. Ley del Mínimo

Serrano & Ruano (2007) mencionan que en 1940 Liebig formuló el principio de que "el rendimiento de una cosecha está determinado por el nutriente presente en menor cantidad". En otras palabras, la escasez de un nutriente esencial limitará el crecimiento del cultivo, y ningún

exceso de otros nutrientes puede compensar esta deficiencia. Esta ley destaca la importancia de mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo, ya que solo cuando cada uno está presente en la cantidad suficiente se puede alcanzar el rendimiento óptimo. Además, la interacción entre los nutrientes puede ser positiva cuando el efecto conjunto de dos o más nutrientes supera lo que se lograría si cada uno actuara por separado. Por ejemplo, si se satisface la necesidad de potasio en un cultivo, esto contribuye a aumentar la eficacia del nitrógeno, maximizando el impacto positivo de la fertilización. Así, el manejo adecuado de todos los nutrientes es clave para obtener el mejor rendimiento agrícola.

4.2.3.3. Ley de los Rendimientos Decrecientes

Serrano & Ruano (2007) mencionan que la Ley de los rendimientos decrecientes, también conocida como la Ley de Mitscherlich, sostiene que "al aumentar la dosis de un fertilizante, el incremento en la producción por cada unidad adicional suministrada tiende a disminuir, hasta que llega un momento en que el rendimiento no solo deja de aumentar, sino que también puede disminuir". En otras palabras, hay un límite en la cantidad de fertilizante que se puede aplicar antes de que los resultados se vuelvan contraproducentes.

El rendimiento máximo se logra cuando se utiliza una cantidad de fertilizante adecuada para maximizar el potencial de producción de los cultivos y del suelo, sin tener en cuenta el costo asociado a estos insumos. Por otro lado, el rendimiento óptimo o económico se alcanza cuando los beneficios obtenidos de la cosecha son suficientes para cubrir los gastos en fertilizantes. Este punto representa una clave de equilibrio para el agricultor.

4.2.4. Fertilización Nitrogenada

Cerisola (2015) manifiesta que el nitrógeno es un elemento clave en la expansión foliar, la fotosíntesis y la producción de biomasa, influyendo directamente en el rendimiento agrícola. Este macronutriente es esencial para las plantas, ya que forma parte de los aminoácidos, las proteínas y la clorofila.

El autor destaca la importancia de los fertilizantes nitrogenados, subrayando que su uso resulta fundamental para aumentar la producción de cultivos. Junto con el agua y la temperatura, el nitrógeno se considera el tercer factor más determinante en la producción de alimentos de origen vegetal. Su influencia se extiende tanto a la cantidad como a la calidad del rendimiento agrícola.

Además, Cerisola (2015) señala que el nitrógeno promueve un mayor desarrollo del área foliar, favorece la expansión y el engrosamiento de las hojas, y mejora la tasa fotosintética. Su adecuada disponibilidad permite optimizar el proceso fotosintético, prolongar la duración del área foliar activa y aumentar la tasa de asimilación neta, lo que se traduce en una mayor producción de biomasa y un mejor rendimiento del cultivo.

4.2.5. Fuentes de Fertilización Nitrogenada

4.2.5.1. Inorgánicos

4.2.5.1.1 Urea

Morales & Arriaga (2019) indican que la urea se ha consolidado como la principal fuente de fertilización nitrogenada a nivel global, especialmente en los países en desarrollo. Entre las ventajas de este fertilizante en comparación con otros, se destacan su alto contenido de nitrógeno,

que permite su incorporación al suelo antes de la siembra, y su capacidad para ser utilizado en suelos neutros o ligeramente alcalinos debido a su reacción ácida. Además, la urea presenta un costo de transporte más bajo por unidad de nitrógeno y es más seguro de manejar. Su producción implica la reacción entre amoníaco y dióxido de carbono, llevada a cabo en un recipiente especial a temperaturas que varían entre 170 y 210 °C y presiones que oscilan entre 170 y 400 atmósferas.

Propiedades y comportamiento físico, químico y biológico de la UREA

Baranda (2000) clasifica las características de la urea de la siguiente manera:

1. Propiedades físicas

- **Estado físico:** Sólido cristalino o granular blanco.
- **Solubilidad en agua:** Alta (1080 g/L a 20 °C), lo que permite una rápida disponibilidad del nitrógeno.
- **Punto de fusión:** 132 °C.
- **Higroscopicidad:** Tiende a absorber humedad, lo cual puede dificultar su almacenamiento.

2. Propiedades químicas

- Fórmula química: CO(NH₂)₂.
- Contenido de nitrógeno: 46%, exclusivamente en forma ureica.
- Reacción en el suelo: Se hidroliza rápidamente por acción de la enzima ureasa, generando amoníaco (NH₃) y dióxido de carbono (CO₂):
$$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$$

3. Propiedades biológicas

- Transformación mediada por microorganismos: La ureasa, producida por bacterias y hongos del suelo, es esencial para convertir la urea en formas disponibles de nitrógeno.
- Influencia sobre el microbiota: La rápida liberación de NH₃ puede generar zonas localizadas de toxicidad temporal para microorganismos y plantas si hay acumulación.
- Impacto ecológico: Favorece la mineralización rápida del nitrógeno, pero también puede inducir acidificación del suelo a largo plazo, debido a la nitrificación del amonio

Desventajas

- La aplicación de urea puede provocar la pérdida de nitrógeno (N) en forma de gas amoniaco (NH₃) debido a su procesamiento al ser introducida en el suelo.
- Dado que la urea es apolar, en sistemas de riego por goteo tiende a desplazarse hacia la periferia del bulbo húmedo, lo que reduce su eficiencia.
- Por esta razón, su uso en riego por goteo no es recomendable.
- Si se decide aplicar urea en goteo, es aconsejable hacerlo en dosis bajas, menores de 4 kg N/ha.
- La urea genera un cambio de pH notable: inicialmente, el pH aumenta y posteriormente disminuye.
- Su proceso de hidrólisis produce una alta concentración de amonio.

- Su uso no es recomendado en suelos calcáreos.
- Es crucial incorporar la urea al suelo rápidamente después de su aplicación superficial.

Ventajas agronómicas de la urea

- La urea, como fertilizante, ofrece la ventaja de contener un alto porcentaje de nitrógeno (46%), fundamental para el metabolismo de las plantas.
- Presenta un bajo costo por unidad de nitrógeno.
- Su costo de transporte es menor, gracias a la alta concentración de nutrientes por unidad de masa.
- Es muy recomendable para el pre-abonado, siendo incorporado al suelo antes de la siembra.
- Actúa como un fertilizante de reacción ácida, lo que la hace adecuada para suelos neutros a ligeramente alcalinos.

4.2.1.1.2. Nitrato de Amonio

Según EuroChem Agro Iberia (s.f.) el nitrato de amonio es un compuesto químico que se compone de dos unidades: el ión nitrato y el ión amonio. Este compuesto se utiliza principalmente como fertilizante debido a su elevado contenido de nitrógeno. Las plantas pueden utilizar tanto el nitrato como el amonio; el primero se aprovecha directamente, mientras que el segundo se convierte en abono. Además, el nitrato de amonio es higroscópico, lo que implica que tiene una alta afinidad por el agua, permitiéndole absorber el vapor de agua presente en el ambiente. Es un

producto altamente oxidante, que puede llegar a causar explosiones por calentamiento, especialmente cuando se presenta en forma de polvo fino y en presencia de catalizadores como el permanganato de potasio o el hidróxido de bario.

El nitrato de amonio es un fertilizante popular, ya que proporciona la mitad del Nitrógeno en forma de nitrato y la otra mitad en forma de amonio. La forma nitrato se mueve fácilmente con el agua del suelo hacia las raíces, donde está inmediatamente disponible para su toma por la planta. La fracción de amonio es absorbida por las raíces o es convertida gradualmente en nitrato por los microorganismos del suelo.

Muchos productores de verduras prefieren una fuente de nitratos inmediatamente disponibles para la nutrición vegetal y utilizan nitrato de amonio. Es popular para la fertilización de pasturas y verdes, ya que es menos susceptible a las pérdidas por volatilización que los fertilizantes a base de urea cuando se aplica sobre la superficie del suelo.

Propiedades físicas

- **Estado físico:** Sólido cristalino blanco, altamente soluble en agua.
- **Higroscopidad:** Muy higroscópico, tiende a absorber humedad del ambiente, lo que puede causar apelmazamiento.
- **Punto de fusión:** Aproximadamente 170 °C.
- **Densidad:** 1.72 g/cm³.
- **Explosividad:** En determinadas condiciones (altas temperaturas o contaminación con materia orgánica) puede comportarse como un explosivo.

Propiedades químicas

- Fórmula química: NH₄NO₃.
- Contenido de nitrógeno: Aporta dos formas: 33–34% de nitrógeno total, aproximadamente la mitad como nitrógeno nítrico (NO₃⁻) y la otra mitad como amoniacal (NH₄⁺).
- Reactividad en el suelo: El NO₃⁻ es rápidamente disponible para las plantas, mientras que el NH₄⁺ puede ser retenido temporalmente en el complejo de cambio del suelo o transformado por nitrificación.
- pH: Tiende a tener un efecto acidificante moderado en suelos debido al proceso de nitrificación del NH₄⁺. Quemada & Gabriel. (2012).

Propiedades biológicas

- **Transformaciones en el suelo:** El NH₄⁺ es transformado en NO₃⁻ por la acción de bacterias nitrificantes como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.
- **Impacto sobre el microbiota:** Aportes moderados de NH₄⁺ pueden estimular la actividad microbiana, pero un exceso puede ser tóxico o alterar el equilibrio del suelo.
- **Efecto ambiental:** El NO₃⁻ es susceptible a la lixiviación, lo que puede contaminar aguas subterráneas, y en condiciones anaerobias puede ser reducido a N₂O, un gas de efecto invernadero. (Ramos, 2010)

4.2.5.2. Estabilizados

Los fertilizantes estabilizados, como ENTEC 26, contienen inhibidores de la nitrificación como el DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato), que retardan la conversión del nitrógeno amoniacal a nítrico, reduciendo así las pérdidas por lixiviación y emisiones de óxidos de nitrógeno (EuroChem Iberia, s.f.).

4.2.5.2.1. ENTEC 26.

ENTECA 26 ® es una línea de fertilizantes nitrogenados estabilizados desarrollada por EuroChem Agro. Su característica principal es la incorporación del inhibidor de la nitrificación DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato), que retarda la conversión del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) a nítrico (NO_3^-). Esta tecnología permite una liberación más eficiente y prolongada del nitrógeno en el suelo, reduciendo las pérdidas por lixiviación y volatilización, y aumentando la disponibilidad de este nutriente para las plantas.

Séguin (EuroChem Agro Iberia (s.f.). Gracias al DMPP, el nitrógeno amoniacal permanece activo durante semanas o incluso meses en el suelo, permitiendo que las plantas absorban tanto amonio como nitrato de forma sostenida. Esto conlleva beneficios como una mayor eficiencia del uso del nitrógeno, reducción de aplicaciones, flexibilidad en el momento del abonado y una menor contaminación ambiental

Propiedades físicas

- Presentación granulada o perlada, con buena fluidez y resistencia mecánica, adecuada para la aplicación a campo.

- Estabilidad ante la humedad y manipulación, sin compactación excesiva.
- Alta solubilidad en agua, permitiendo una rápida disponibilidad inicial del amonio.

(EuroChem North America, 2020)

Propiedades químicas

- Contiene entre 26% y 46% de nitrógeno, dependiendo de la formulación (puede presentarse como ENTEC 26 ® 26 o ENTEC 26 ® 46).
- El DMPP actúa inhibiendo la acción de bacterias nitrificantes (como *Nitrosomonas*), retardando la conversión de NH_4^+ a NO_3^- .
- Reduce significativamente la acidificación del suelo, ya que mantiene el nitrógeno en forma amoniacal por más tiempo (EuroChem North America, 2020).

Propiedades y comportamiento biológico

- Al mantener el nitrógeno como amonio por más tiempo, fomenta una absorción gradual y constante por parte de las plantas.
- Disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero como N_2O , lo que contribuye a una agricultura más sostenible

Ventajas del uso de ENTEC 26

- Mejor aprovechamiento del nitrógeno: Mantiene el nivel adecuado durante el ciclo del cultivo, evitando los excesos y defectos que se producen con los planes de abonado convencional.

- Óptimo rendimiento de los cultivos: Un mejor aprovechamiento del nitrógeno y una nutrición parcialmente amoniacal, se traducen en mejoras en el rendimiento de los cultivos.
- Facilita el trabajo de los agricultores: Ahorro de tiempo por una disminución de las pasadas de abonado, aplicación más flexible y más disponibilidad para realizar otras tareas agrarias
- Mejor calidad de las cosechas: Disminución del contenido de nitratos en hojas y frutos y la obtención de frutos con calibres más homogéneos.
- Reduce el impacto ambiental: Disminución de la contaminación de las aguas por nitratos y de la emisión de óxidos de nitrógeno a la atmósfera.
- Granulación de calidad, sin polvo y con granos homogéneos, lo que permite una cómoda y correcta aplicación.
- Prácticamente sin pérdidas de nitrógeno por volatilización debido a la ausencia de nitrógeno en forma ureica.
- ENTEC 26 alta tecnología para una mejor fertilización.
- El fertilizante ENTEC 26 ofrece importantes beneficios ambientales gracias a su tecnología de liberación controlada de nitrógeno y el uso de inhibidores de la nitrificación. Al reducir la formación de nitratos, disminuye la contaminación por lixiviación hacia cuerpos de agua, lo que previene la eutrofización y protege los ecosistemas acuáticos. Además, al inhibir la conversión del amonio en nitratos, se reducen las emisiones de óxidos de nitrógeno (N_2O), contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

Características del ENTEC 26

- Es altamente selectivo con los microorganismos responsables de la transformación del nitrógeno en el suelo.
- Presenta un efecto bacteriostático y no bactericida, por tanto, no afecta a los procesos naturales del suelo.
- Después de su acción se degrada sin dejar absolutamente ningún residuo nocivo para el suelo y sus organismos.
- No es absorbido por los cultivos y no produce, en ningún caso, síntomas de fitotoxicidad.
- Queda retenido en el complejo arcillo-húmico del suelo por lo que no se pierde por lavado

4.2.6. Clasificación de los Fertilizantes

Según Cerisola (2015) los fertilizantes se clasifican de la siguiente manera:

4.2.6.1. Por su Origen

Cerisola (2015) manifiesta que los fertilizantes minerales, en su mayoría, están compuestos por sales inorgánicas, aunque existen excepciones como la urea y la cianamida. Los más comunes incluyen los fertilizantes nitrogenados, fosfóricos, potásicos y calizos, que se utilizan ampliamente en la agricultura.

Estos fertilizantes pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Sintéticos:** Incluyen productos como el fosfato di amónico, el sulfato de magnesio y el nitrato de amonio, que son fabricados a partir de procesos industriales y diseñados para proporcionar nutrientes específicos de manera eficiente.
- **Naturales:** Son aquellos extraídos directamente de fuentes naturales, como la roca fosfato o el nitrato de sodio, también conocido como salitre de Chile. Estos fertilizantes son más sostenibles desde el punto de vista ambiental, ya que no pasan por procesos de síntesis industrial.
- **Orgánicos:** Estos provienen de residuos de origen animal, como las deyecciones, o de material vegetal, como los rastrojos. Además de aportar nutrientes esenciales, tienen un efecto positivo en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo, incluyendo la estabilidad estructural y la capacidad de retener agua y nutrientes.

Entre los fertilizantes minerales, una subclasificación más detallada permite entender mejor sus efectos y usos en función de las necesidades específicas de los cultivos y el tipo de suelo en que se aplican, lo que los convierte en una herramienta clave para optimizar la fertilidad y sostenibilidad de los suelos agrícolas.

4.2.6.2. Por su Composición Química

Cerisola (2015) señala que Los fertilizantes pueden clasificarse en varias categorías según su composición y el modo en que se elaboran:

Fertilizantes Simples: Estos están compuestos por una única sustancia, aunque pueden contener uno o más elementos nutrientes en su molécula. Ejemplos comunes de fertilizantes simples incluyen la urea, el nitrato de amonio, el sulfato de amonio y el superfosfato simple. Estos fertilizantes son ideales para satisfacer las necesidades específicas de nutrientes en las plantas.

Fertilizantes Compuestos: Resultan de la mezcla de uno o más fertilizantes simples. Por ejemplo, un fertilizante etiquetado como 8-24-16 indica la cantidad de nutrientes que contiene en 100 kg de producto (conocida como "riqueza"). En este caso, el fertilizante proporciona 8 kg de nitrógeno (N), 24 kg de pentóxido de fósforo (P_2O_5) y 16 kg de óxido de potasio (K_2O), lo que también puede interpretarse como un 8% de N, 24% de P_2O_5 y 16% de K_2O . Este tipo de fertilizante es útil para aportar múltiples nutrientes de manera equilibrada.

Fertilizantes Complejos: Se obtiene a través de reacciones químicas que combinan diferentes nutrientes, lo que permite que los elementos nutritivos se distribuyan de manera más uniforme en el producto en comparación con los fertilizantes de mezcla. Ejemplos de fertilizantes complejos incluyen el fosfato de amonio y el nitrato de potasio. La uniformidad en la distribución de nutrientes en estos fertilizantes los hace especialmente efectivos y convenientes para aplicaciones agrícolas.

Esta clasificación es fundamental para entender cómo cada tipo de fertilizante puede satisfacer las necesidades específicas de los cultivos, optimizando así el rendimiento agrícola y la salud del suelo

4.2.7. Característica de los Fertilizantes Nitrogenados

Cerisola (2015) señala que varios factores son fundamentales para definir las características de un fertilizante. Entre ellos se encuentran:

- **Composición química:** Se refiere a la combinación de elementos y compuestos que conforman el fertilizante, determinando así su capacidad para proporcionar nutrientes esenciales a las plantas.
- **Índices de acidez:** Mide la cantidad de partes en peso de carbonato de calcio (CaCO_3) necesarias para neutralizar la acidez de 100 partes del fertilizante. Un valor alto indica mayor acidez, lo que puede afectar negativamente el pH del suelo.
- **Índice de basicidad:** Representa el número de partes en peso de carbonato de calcio que equivalen al efecto neutralizador de 100 partes del fertilizante. Un índice elevado indica que el fertilizante puede elevar el pH del suelo.
- **Índice de higroscopidad:** Indica la humedad relativa, a 30°C , por encima de la cual el fertilizante empieza a absorber agua del ambiente. Una alta higroscopidad puede dificultar el manejo del producto en condiciones húmedas.
- **Índice salino:** Expresa el impacto del fertilizante sobre la presión osmótica de la solución del suelo. Utiliza como referencia el salitre de Chile, y permite evaluar el potencial del fertilizante para afectar la disponibilidad de agua para las plantas
- **Tamaño de partícula:** Influye en la solubilidad, la velocidad de liberación de nutrientes y la facilidad de aplicación. Las partículas finas se disuelven más rápido, mientras que las gruesas liberan nutrientes de forma más lenta.

- **Contenido de humedad:** Hace referencia a la cantidad de agua contenida en el fertilizante, lo cual puede afectar tanto su eficacia como su almacenamiento.
- **Incompatibilidad:** Se refiere a la posibilidad de que el fertilizante reaccione negativamente con otros productos, reduciendo su efectividad o generando efectos adversos en los cultivos.

4.2.8. Fijación del Nitrógeno

La fijación del nitrógeno es un proceso crucial para convertir el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas. Este proceso puede clasificarse en tres categorías principales:

1. **Fijación Atmosférica:** Este método ocurre a través de descargas eléctricas y otros fenómenos físicos que generan energía. Estos eventos pueden provocar la formación de compuestos químicos que permanecen en la atmósfera o que se depositan en el suelo mediante la lluvia, aportando así nitrógeno al ecosistema.
2. **Fijación Industrial:** En este proceso, se produce amoníaco (NH_3) a partir del nitrógeno (N_2) presente en el aire y del hidrógeno (H_2), que se obtiene de fuentes como el carbón, el gas natural o los derivados del petróleo. Este proceso se lleva a cabo a altas presiones, y consiste en la reacción química:

La reacción se realiza en presencia de un catalizador, generalmente magnetita (Fe_3O_4), junto con potasio (K), aluminio (Al) y calcio (Ca), a temperaturas superiores a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presiones que varían entre 200 y 1000 bares, dependiendo del método utilizado. El más empleado es el proceso modificado por Haber y Bosch.



3. Fijación Biológica: Este tipo de fijación es realizada por microorganismos, y puede ser clasificada en dos subtipos:

4. Fijación No Simbiótica:

- Aerobias (*Azotobacter*): Estas bacterias se encuentran en suelos aireados y bien abastecidos de calcio y materia orgánica. En climas templados, pueden fijar entre 10 y 20 kg de nitrógeno por hectárea.
- Anaerobias (*Clostridium*): Se desarrollan en suelos con mala aireación, toleran pH más bajos y también requieren materia orgánica para su actividad.

5. Fijación Simbiótica:

Este proceso involucra a bacterias del género *Rhizobium*, que infectan las raíces de las plantas leguminosas. La cantidad de nitrógeno fijada puede variar entre 50-100 kg por hectárea al año en cultivos como porotos y arvejas, y hasta 150-200 kg por hectárea al año en alfalfa y tréboles. La fijación simbiótica se ve favorecida por la disponibilidad de fósforo (P), potasio (K) y molibdeno (Mo), y es más efectiva en suelos que son bajos en nitrógeno amoniacal y nítrico.

4.2.9. Efectos del uso de Fertilizantes

Cerisola (2015) señala que un manejo inadecuado de la fertilización puede dar lugar a una serie de efectos adversos en el medio ambiente y la salud del suelo. Entre estos efectos se incluyen:

- **Contaminación del agua:** El uso excesivo de fertilizantes puede provocar la eutrofización de lagos y cuerpos de agua, lo que resulta en un crecimiento descontrolado de algas que agota el oxígeno y perjudica la vida acuática.

- **Alteración de los ciclos naturales de nutrientes:** La aplicación indiscriminada de fertilizantes puede desestabilizar los ciclos de nutrientes en el suelo, afectando la fertilidad y la salud del ecosistema.
- **Introducción de elementos nocivos al suelo:** Muchos fertilizantes contienen impurezas, como metales pesados, que pueden infiltrarse en el suelo, provocando una degradación de su calidad y potencialmente contaminando los cultivos.
- **Aceleración de la acidificación del suelo:** Un uso excesivo de ciertos tipos de fertilizantes puede conducir a una acidificación acelerada del suelo, lo que afecta negativamente al microbiota y la disponibilidad de nutrientes.
- **Inhibición en la absorción de nutrientes esenciales:** La saturación del suelo con fertilizantes puede interferir con la capacidad de las raíces de las plantas para absorber nutrientes vitales, comprometiendo su crecimiento y desarrollo.
- **Promoción de efectos tóxicos en las raíces de las plantas:** El exceso de fertilizantes puede generar condiciones tóxicas que afectan directamente a las raíces, lo que puede resultar en un debilitamiento de las plantas y una disminución en la producción agrícola.

4.2.10. Fertilización Equilibrada

Ringuelet & Gil (2005) destacan que una gestión adecuada de los nutrientes se basa, principalmente, en evitar excesos de alguno de ellos, como es el caso del nitrógeno. Este elemento, considerado el "motor del crecimiento vegetal", muestra rápidamente su eficacia tras la aplicación, ya que promueve un crecimiento vigoroso y un color verde oscuro en las plantas. No obstante, un exceso de nitrógeno puede generar desequilibrios que impactan negativamente en los cultivos.

Según Ringuelet & Gil (2005) en los cereales, el exceso de nitrógeno puede provocar el vuelco de las plantas, debido al desarrollo de tallos más largos y débiles, lo que aumenta la competencia con las malezas y la susceptibilidad a plagas, ocasionando pérdidas significativas en la producción. En otros cultivos, como el algodón, este exceso puede disminuir tanto la cantidad como la calidad de la cosecha. Además, el nitrógeno no absorbido por las plantas se pierde en el ambiente, ya que el suelo tiene poca capacidad de retenerlo, lo que contribuye a la contaminación.

Ringuelet & Gil (2005) en situaciones donde los recursos financieros del agricultor son limitados, el acceso a créditos es caso o la tenencia de la tierra es incierta, es común que, al encontrar la urea a un precio relativamente atractivo por unidad de nitrógeno, el agricultor opta por suministrar únicamente este nutriente a sus cultivos. A corto plazo, esta decisión puede parecer lógica, ya que el nitrógeno es el nutriente más necesario y al que los cultivos responden con mayor rapidez, favoreciendo un crecimiento visible. De hecho, la urea es el fertilizante más utilizado a nivel mundial debido a su capacidad de promover un rápido crecimiento en los cultivos.

Sin embargo, esta práctica puede no ser sostenible a largo plazo, ya que el desequilibrio en la fertilización conlleva riesgos para la producción agrícola y el medio ambiente, destacando la importancia de un manejo integral de nutrientes en los sistemas agrícolas.

4.2.11. Aplicación de Fertilización

Ringuelet & Gil (2005) indica que el método de aplicación de los fertilizantes es un componente esencial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y la regulación de la absorción de los nutrientes por la planta dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo climático. Para un

aprovechamiento óptimo del cultivo y un potencial mínimo de contaminación del medio ambiente, el agricultor debe suministrar los nutrientes en el momento preciso en que el cultivo los necesite. Esto es de gran relevancia para los nutrientes móviles como el nitrógeno, que pueden ser fácilmente solubilizados por el agua y lixiviados (“lavados”) del suelo hacia los acuíferos (napas de agua subterráneas), si no es absorbido por las raíces de las plantas. En los casos de aplicación de urea y de fosfato di amónico, las pérdidas pueden darse a través de la emisión de amoníaco en el aire. Ambos fertilizantes deben ser mezclados en el suelo con alguna herramienta agrícola inmediatamente después de la aplicación, si no hay una lluvia inmediata o riego para incorporarlos en el suelo. Esto sucede en mayor grado en los suelos alcalinos (calcáreos). Todos los nutrientes primarios y secundarios deberían incorporarse seguidamente después de la aplicación; en zonas en las que no se esperan lluvias abundantes, para evitar pérdidas por volatilización (pérdida de gases, especialmente de N) y por erosión eólica (arrastre por viento) y, en el caso de ocurrir lluvias, para evitar pérdidas debido al escorrentimiento superficial.

4.2.11.1 Factores o Labores que Favorecen un Buen Aprovechamiento de los Fertilizantes

Ringuelet & Gil (2005) mencionan que la mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo tiene buenas propiedades físicas y bioquímicas. Los principales factores determinantes de buenas cualidades del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido equilibrado de nutrientes, la capacidad de almacenamiento de agua, la capacidad de absorción o retención de cationes, el pH del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo, boro o aluminio libre en suelos ácidos). Los suelos

difieren ampliamente en estos factores. Para saber cómo mejorar estas características los agricultores deben tener un conocimiento básico de su suelo.

4.2.12. Nutrientes

Se llama nutrientes a aquellos elementos químicos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. De los casi 100 elementos químicos existentes en la naturaleza, solamente dieciséis son esenciales para el crecimiento de las plantas. Los nutrientes o elementos esenciales provienen del:

Aire: carbono (C), como dióxido de carbono (CO₂);

Agua: hidrógeno (H) y oxígeno (O);

Suelo: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Macronutrientes o macroelementos: Vitorino (1989) menciona que los vegetales los consumen en grandes cantidades (entre 20 y 300 kg por hectárea) porque la concentración en sus tejidos es alta (10 veces o más que los micronutrientes).

Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes o pueden llegar a serlo a causa de la extracción de estos por parte de los cultivos a lo largo de los años, especialmente cuando se realizan cultivos de alta producción, más exigentes en nutrientes que la vegetación nativa o natural.

Los macronutrientes se clasifican en:

- **Primarios:** son los primeros en alcanzar niveles de deficiencia en el suelo, debido a que los vegetales los consumen en cantidades relativamente altas: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).
- **Secundarios:** habitualmente no están en déficit: calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S). menciona lo siguiente de los macronutrientes:
 - **Nitrógeno.** El nitrógeno es uno de los elementos más importantes en la nutrición de la planta, puesto que participa activamente en la formación de la estructura vegetal, es decir la formación de hojas, tallo, yemas, brotes, tubérculos, flores, frutos, raíces, etc. y en otros procesos esenciales. El nitrógeno es absorbido por la planta en forma nítrica (NO_3^-) y amoniacial (NH_4^+).
 - **Fosforo.** Es asimilado por las plantas en forma de ácido fosfórico y participa activamente en los procesos metabólicos, de importancia vital como la formación de azúcares y almidón y en la estructura de las membranas celulares como fosfolipidos. Y además es importante en la calidad y el peso de los frutos y órganos de reserva y se sostiene que favorece la formación de raíces.
 - **Potasio.** El potasio es asimilado como catión Y desempeña importantes funciones en la nutrición de las plantas, así tenemos:

El potasio participa en la formación de paredes celulares, cutículas, fibras, vasos conductores, etc. Participa en la síntesis de hidratos de carbono (azúcares y almidón) y albúminas.

- **Magnesio:** El magnesio es absorbido por la planta en forma de catión (Mg^{2+}), su importancia radica en el siguiente:

Participa en la formación del almidón y otros glúcidos.

- **Azufre.** Es un elemento mayor, debido a atmosférico y el que se encuentra en el agua de lluvia, es suficiente para cubrir la cantidad considerable que requiere la planta. Pero debido a que el azufre 90% de las necesidades de la planta por eso en la práctica no se realiza enmiendas con azufre, salvo casos especiales
- **Micronutrientes o microelementos:** Vitorino (1989) menciona que: Son requeridos sólo en pequeñas cantidades para el crecimiento correcto de las plantas (en general, menos de 1 kg/ha):
 - **Hierro:** Formación de clorofila, a pesar de que este elemento no forma parte de esta sustancia, se dice que es un catalizador que ayuda a la formación de la clorofila y actúa como portador de oxígeno.
 - **Zinc:** El zinc es importante participa en los procesos de respiración celular.
 - **Manganeso:** Es importante por lo siguiente: Interviene en la respiración celular.
 - **Cobre:** El cobre es elemento esencial de algunas enzimas vegetales.

- **Molibdeno:** En las plantas como las fabáceas es muy importante debido a que es indispensable para la formación de los nódulos y la fijación de nitrógeno por parte de las bacterias simbióticas.

4.2.13. Origen del Repollo

Diversos autores coinciden en que el repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) es una especie de origen europeo, aunque su domesticación y dispersión presentan cierta variabilidad geográfica. Moroto (2002) señala que existen formas silvestres de esta especie en regiones costeras de países como Inglaterra, Francia y Grecia, lo que sugiere un origen diverso, pero con un patrón común en zonas litorales. En una línea similar, Jaramillo (2006) indica que el repollo es originario de Europa occidental incluyendo Inglaterra, Dinamarca, Francia, España y Holanda, así como de Asia occidental y las costas del mar Mediterráneo. Por su parte, Montes y Holle (1972) sostienen que este cultivo probablemente se originó en el noreste de Europa, la costa norte del Mediterráneo y, posiblemente, en regiones de Asia Menor.

4.2.13.1. Distribución

Valencia (1995) sostiene que el repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) tiene su origen en la región occidental de Europa, desde donde se expandió progresivamente hacia países de Asia, Estados Unidos y América del Sur. En el caso del Perú, este cultivo se encuentra ampliamente difundido, principalmente en la costa central y en diversas zonas altoandinas que presentan condiciones agroclimáticas favorables para su desarrollo.

4.2.13.2. Nombres Comunes

Jaramillo (2006) señala El repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) es una hortaliza cultivada mundialmente que recibe distintos nombres según el idioma: chou pommé blanc en francés, wittekool en holandés, weisskohl en alemán y, en países hispanohablantes, repollo, col o col blanca

4.2.13.3. Posición Taxonómica del Repollo

Ancasi (2018) manifiesta que, según el sistema de clasificación fitogenética de las plantas propuesto por Arthur Cronquist en 1979, el repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) se ubica taxonómicamente de la siguiente manera

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Capparales

Familia: Brassicaceae.

Género: Brassica.

Especie: *Brassica oleracea L. var. capitata*

Nombre común: Repollo, col.

Figura 1

Cultivo de repollo en etapa de crecimiento

**4.2.13.4. Variedades:**

Valcarcel (2002) indica que existen numerosas variedades clasificadas en grupos de acuerdo con la forma y consistencia de la cabeza y de las que la forman. Existen los siguientes grupos:

Repollos de hoja lisa:

Aquellas variedades que forman cabezas compactas de hojas lisas y orbiculares. Es el repollo más común, caracterizado por sus hojas lisas de diferente intensidad de color verde. Las hojas exteriores son de coloración más intensa que las hojas internas.

Box (1968) indica que “*Brassica oleracea L. var. Quintal* es una planta comestible de la familia de las Brassicaceae, y una herbácea bianual, cultivada como anual, cuyas hojas lisas forman un característico cogollo compacto. También se le conoce como repollo blanco por su característico color verde pálido, para diferenciarla de la lombarda que se le conoce como repollo

morado. Las diferentes variedades se obtuvieron a partir de la especie silvestre, conocida desde hace siglos, mediante cruces y selección para adaptarlas a diferentes condiciones climáticas.

Repollo de hoja rizada:

Este tipo de repollo se caracteriza por formar cabezas menos compactas y hojas rizadas u onduladas, rasgos que, aunque le otorgan una apariencia distintiva y atractiva, disminuyen su rusticidad y aumentan su vulnerabilidad frente a condiciones climáticas desfavorables, plagas, enfermedades y espigamiento prematuro. Generalmente, presenta un ciclo de cultivo más corto que las variedades de cabeza compacta, lo que puede limitar su adaptación en zonas altoandinas con climas severos

Repollo de hoja morada:

Este grupo se distingue por presentar hojas lisas de tonalidad morada o púrpura intensa, especialmente en la zona que forma la cabeza, coloración atribuida a la presencia de antocianinas, compuestos con propiedades antioxidantes beneficiosas para la salud. Entre las variedades más conocidas y cultivadas destacan Red Acre, Red Rock y Mammoth Red Rock, apreciadas por su capacidad de adaptarse bien a climas templados, así como por su atractivo visual y alto valor nutricional.

4.2.13.5. Características botánicas

Jaramillo (2006) indica respecto a lo morfológico las siguientes características:

Raíz:

La planta forma una raíz principal llamada pivote que penetra considerablemente en el suelo y cuya finalidad primordial es servir de anclaje a la planta, de esta raíz pivotante se deriva un sistema secundario o fasciculado, para la obtención de agua y nutriente. El 80% de las raíces se encuentra entre 5 y 30 cm de profundidad.

Tallo:

El tallo del repollo es de naturaleza herbácea, con porte erecto, tamaño reducido y escasa ramificación. A medida que la planta se desarrolla, este órgano adquiere una textura parcialmente leñosa. Su altura usualmente no supera los 30 centímetros, debido a que su elongación se detiene en etapas tempranas del crecimiento. Esta limitada longitud favorece la disposición densa de las hojas alrededor del tallo, lo que da lugar a la formación de una cabeza compacta, que representa la parte de interés comercial.

Figura 2

Raíz y tallo del repollo



Nota. Tomado de Vida en la tierra (s.f.)

Hojas:

Las hojas del repollo presentan una disposición alterna y son de tipo simple, sin presencia de estípulas. En muchas ocasiones, muestran lóbulos en su morfología. Su color puede variar entre un tono verde glauco y matices rojizos, en función de la variedad cultivada. Los márgenes son ligeramente dentados y la forma predominante es oval.

Figura 3*Hojas del repollo*

Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

Cabeza:

Como consecuencia de la hipertrofia de la yema vegetativa terminal y de la disposición envolvente de las hojas superiores, se forma una cabeza compacta de hojas muy apretadas que constituye la parte comestible, allí la planta acumula reservas, nutritivas y en caso de no ser colectadas, estas reservas se movilizaran para la alimentación de la planta necesario para la emisión del tálamo floral.

Flores:

Las flores se forman generalmente en racimos terminales las cuales se desarrollan a partir del tallo principal. Son de color amarillas, hipóginas, compuestas de cuatro sépalos y cuatro pétalos formando una abertura terminal en forma de cruz, seis estambres, cuatro largos y dos cortos, en estilo corto con estigma en forma de cabezuela, un ovario súpero con dos celdas ovariales y un óvulo por celda.

Figura 4

Flores del repollo



Nota. Tomado de Vida en la tierra (s.f.)

Frutos:

El fruto es una cápsula llamada silicua, la exhibe dehiscencia longitudinal a través de una hendidura de las paredes a lo largo de la línea de la placenta al momento de la madurez fisiológica, para la dispersión natural de las semillas.

Figura 5

Fruto de la planta de repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

Semilla:

Las semillas del repollo son de tamaño reducido, con un diámetro aproximado de 1/16 de pulgada. Presentan una forma globular, superficie lisa y adquieren una coloración marrón o café al alcanzar su madurez fisiológica.

Figura 6

Semilla de la planta de repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006).

4.2.14.6. Composición Química

Tabla 1

Composición química del repollo

COMPONENTES	REPOLLO	REPOLLO ROJO	REPOLLO	TIPO
	COMUN		SAVOY	
Agua (%)	92.40	90.20	92.00	
Proteínas (g)	1.30	2.00	2.40	
Grasas (g)	0.20	0.20	0.20	
Fibra (g)	0.80	1.00	0.80	
Cenizas (g)	0.70	0.70	0.80	
Calcio (mg)	49.00	42.00	67.00	
Fosforo (mg)	29.00	35.00	54.00	
Hierro (mg)	0.40	0.80	0.90	
Sodio (mg)	20.00	26.00	22.00	
Potasio (mg)	233.00	268.00	269.00	
Vitamina A (UI)	130.00	40.00	200.00	
Tiamina (mg)	0.05	0.09	0.05	
Riboflavina (mg)	0.05	0.06	0.08	
Ácido ascórbico (mg)	47.00	61.00	55.00	
Niacina (mg)	0.30	0.40	0.30	

Nota: Extraido de “Horticultura herbácea especial” (Moroto, 2002)

4.2.14. Rendimiento de Repollo

Moroto (2002) indica que el rendimiento de repollo en el Perú en orden de mérito corresponde las siguientes regiones: Lima con 19572 kg/ha; Arequipa con 16610 kg/ha y Andrés Avelino Cáceres (Huánuco, Pasco, Junín) con 14318 kg/ha, la región Loreto acumula 4318 kg/ha.

Según FAO (2022) la producción mundial de repollo asciende a aproximadamente 70 millones de toneladas anuales cultivadas en unos 3,8 millones de hectáreas, lo que equivale a un rendimiento promedio global de entre 25 y 35 t/ha. Bajo sistemas de manejo intensivo que combinan riego tecnificado y elevadas dosis de fertilizantes, es posible alcanzar rendimientos de hasta 50 t/ha e incluso 85 t/ha en condiciones óptimas de suelo y clima, China lidera la producción mundial, con cerca del 50 % del total, seguida de India, Estados Unidos y Rusia

4.2.15. Manejo Agronómico del Cultivo

4.2.15.1. Preparación del Suelo

Funetes & Perez (2003) indica que el laboreo mínimo debe incluir pasos cruzados de arado y el número de rastreadas necesarias que profundicen al menos 0,30 m, a fin de voltear el suelo. Los pasos de rastra deberán realizarse con intervalos de una semana a fin de exponer y destruir las fuentes de inóculos por efecto solar. En suelos compactos lo primero que hay que hacer es subsolar a una profundidad de 0.50 a 0.70 m. cabe recordar que la humedad del suelo al momento de prepararlo es muy importante, debiéndose evitar los extremos, pero siempre más hacia lo seco

4.2.15.2. Siembra

Funetes & Perez (2003) señalan que la siembra del repollo se desarrolla en dos fases: la primera consiste en la elaboración y preparación de los semilleros, y la segunda, en el trasplante de las plántulas. El repollo se reproduce por semilla, recurriendo generalmente al uso de semilleros, técnica que ha sido modernizada en los últimos años. El tiempo de permanencia en semillero varía entre 30 y 50 días. Las plantas se adaptan bien al trasplante, el cual puede realizarse bajo el sistema

de surcos. Las plántulas están listas para trasplantarse cuando presentan al menos cuatro hojas verdaderas, lo que ocurre entre los 22 y 28 días después de la siembra.

Por su parte Caceres (1980) indica que, con 50 gramos de semilla de buena calidad, con un 75 % de germinación, pueden obtenerse alrededor de 5,000 plantas. El tiempo requerido para alcanzar un tamaño adecuado para el trasplante es de 4 a 6 semanas. Además, resalta la importancia de desinfectar el sustrato y prevenir plagas y enfermedades en esta etapa crítica.

En cuanto a la densidad de siembra, el repollo puede establecerse con diversas configuraciones, aunque la más común es en surcos de 0.60 a 1.50 metros de ancho, con distancias entre plantas de 0.30 a 0.60 metros, dependiendo del cultivar y de las condiciones regionales. Una buena producción de plántulas se garantiza mediante un riego adecuado, control de enfermedades fúngicas, equilibrio nutricional, eliminación de malezas, aporques, manejo fitosanitario, condiciones climáticas favorables y personal capacitado.

4.2.15.3. Riego

El riego en el cultivo de repollo debe ser regular y abundante durante la fase de crecimiento vegetativo. Sin embargo, en la etapa de inducción floral y formación de la pella, es recomendable que el suelo se mantenga con una humedad adecuada, preferentemente en estado de capacidad de campo, evitando tanto el exceso como la escasez de agua.

Krarup (1992) señala que, para lograr altos rendimientos y buena calidad en el cultivo de col, es esencial evitar el estrés hídrico causado por déficit, exceso o mala calidad del agua. El riego debe ser frecuente tras el trasplante, cada 7 a 10 días según la temperatura, estimándose un

consumo total de 4,000 m³/ha durante el ciclo. El mayor requerimiento ocurre durante la máxima cobertura foliar y formación de la pella. En esta etapa, se recomienda mantener el suelo en capacidad de campo, sin excesos de humedad. Es crucial aplicar un primer riego tras la plantación para garantizar un buen establecimiento

4.2.16. Fertilización del Cultivo de Repollo

Gutierrez (1993) indica que, para lograr una cosecha exitosa, es fundamental conocer las necesidades nutricionales específicas de los cultivos. En el caso del cultivo de col repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), el autor hace especial énfasis en la importancia de una correcta práctica de abonamiento y fertilización, centrando su análisis en tres macroelementos esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos nutrientes son determinantes para el desarrollo óptimo del cultivo, ya que influyen directamente en aspectos como el crecimiento vegetativo, la formación y compactación de la cabeza, así como en la resistencia a factores adversos como enfermedades, estrés hídrico y deficiencias del suelo.

Según Gutiérrez, una adecuada planificación en la aplicación de estos nutrientes permite maximizar el rendimiento, mejorar la calidad comercial del producto y prolongar su vida útil postcosecha. Por lo tanto, el manejo técnico y racional de la fertilización constituye un componente clave en los sistemas de producción sostenible del repollo

4.2.16.1. Nitrógeno (N)

Gutierrez (1993) sostiene que el cultivo de repollo presenta una necesidad de nitrógeno que puede oscilar entre 100 y 225 kg/ha, dependiendo de las condiciones del suelo y del manejo previo

del terreno. Para asegurar una disponibilidad adecuada de este nutriente durante el ciclo del cultivo, recomienda que el fertilizante nitrogenado sea distribuido en tres aplicaciones fraccionadas, colocadas en banda a ambos lados del surco. Esta estrategia debe aplicarse antes del inicio de la formación de la cabeza, etapa crítica en la cual la planta tiene una alta demanda nutricional.

Asimismo, el autor señala que deben utilizarse dosis bajas de nitrógeno en determinadas situaciones agronómicas, como cuando el repollo se establece luego de un cultivo que ha sido intensamente fertilizado, en suelos de textura arcillosa con alta capacidad de retención de nutrientes, o cuando las condiciones ambientales como temperatura y humedad favorecen un crecimiento acelerado del cultivo. Estas precauciones buscan evitar excesos de nitrógeno que puedan generar problemas como el crecimiento vegetativo desbalanceado, retraso en la formación de la cabeza, o incremento en la susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Un manejo adecuado del nitrógeno, según suelo y clima, mejora el rendimiento y calidad del cultivo, reduciendo pérdidas.

4.2.16.2. Fosforo (P)

Gutierrez (1993) señala que el fósforo es un nutriente esencial en el desarrollo de cultivos como el repollo, especialmente durante las primeras etapas de crecimiento, ya que promueve el desarrollo radicular y mejora el establecimiento de las plántulas en campo. En suelos con bajo contenido de fósforo disponible (menos de 15 ppm), el autor recomienda una aplicación de entre 225 a 280 kg/ha de P₂O₅. Esta dosis debe incorporarse al voleo y antes de realizar el rayado de la cama de siembra, para garantizar su disponibilidad en la zona radicular desde las etapas iniciales del cultivo.

En suelos con fertilidad media, es decir, aquellos que presentan concentraciones de fósforo entre 15 a 30 ppm, Gutiérrez sugiere una dosis moderada de 170 a 225 kg/ha de P₂O₅, también aplicados al voleo antes del establecimiento del cultivo. Para suelos con alto nivel de fósforo (más de 30 ppm), se recomienda reducir considerablemente la dosis, aplicando un máximo de 90 kg/ha de P₂O₅, con el fin de evitar la acumulación excesiva de este nutriente, que puede generar desequilibrios nutricionales y contaminación ambiental.

Además, el autor resalta que una adecuada fertilización fosfatada, basada en el análisis de suelos y las necesidades del cultivo, contribuye significativamente a mejorar el rendimiento, la calidad de las pellas y la eficiencia en el uso de insumos agrícolas.

4.2.16.3. Potasio (K)

Al respecto Gutiérrez (1993) señala que, en suelos que requieren suplementación con potasio, es recomendable aplicar dosis que oscilen entre 110 y 220 kg/ha de óxido de potasio (K₂O). Esta aplicación debe realizarse al voleo e incorporarse al suelo antes del rayado de las camas, a fin de asegurar una adecuada disponibilidad del nutriente para el cultivo durante las etapas iniciales de desarrollo. El potasio cumple un papel esencial en la regulación de la apertura y cierre estomático, lo cual influye directamente en la eficiencia del uso del agua y en la resistencia del cultivo frente al estrés hídrico. Asimismo, interviene en la síntesis de proteínas, el transporte de azúcares y la formación de tejidos vegetales, siendo un nutriente determinante para lograr cabezas de repollo bien conformadas, firmes y de mayor peso. La deficiencia de este macronutriente puede traducirse en bordes necróticos en las hojas, menor resistencia al almacenamiento.

4.2.17. Condiciones Climáticas

Moroto (2002) manifiesta que el repollo en cuanto a clima y suelo requiere de las siguientes condiciones:

4.2.17.1. Clima

Generalmente se adaptan mejor a ambientes húmedos, siendo muy sensible a la sequía. En lo referente a temperatura vegetan óptimamente con temperaturas diurnas de 13°C – 18°C y nocturnas de 10°C – 12°C, en la floración prematura intervienen el genotipo de las variedades y diversos factores como las bajas temperaturas y sequías.

4.2.17.2. Suelo.

Se adapta bien a terrenos ricos de textura media y arcillosa que detengan buena humedad, pero sin presentar problemas de encharcamiento. No le favorecen los suelos ácidos, sobre todo en ellos son más frecuentes los ataques de la hernia de la col (*Plasmodiophora brassicae Woronin*). El repollo es considerado como medianamente resistente a la salinidad.

4.2.17.3. Características de la Semilla

La Torre (2002) dice que la semilla debe tener todas las características propias de la variedad como: Precocidad, color, tamaño, estar libre de impurezas (semillas 13 extrañas u otros), tener buen poder germinativo, (no menor al 75%), sana (libre de enfermedades) y de buena calidad, se considera que la duración del poder germinativo de la semilla de repollo alcanza aproximadamente 2-3 años en condiciones óptimas, de ahí la importancia de utilizar semillas

fresca. La cantidad de semilla/ha depende del sistema de siembra, siendo de 1 Kg/ha para sembrío directo y de 0.5 Kg/ha para sembrío indirecto o por almácigo.

4.2.18. *Métodos de Siembra*

Moroto (2002) menciona que existen dos métodos de siembra:

4.2.18.1. *Método Directo*

Se realiza en el campo definitivo para lo cual se utiliza 2 Kg/ha de semilla con dos semillas por golpe y se realiza por raleo si es necesario cuando la planta tenga de 10 a 15 cm de altura, el distanciamiento depende de la variedad

4.2.18.2. *Método Indirecto*

Tradicionalmente la siembra se realiza en almacigueras que se llevan a cabo en camas de 1.5 m – 2 m de ancho y 10 m de largo. La siembra suele hacerse al voleo, empleándose entre 2 y 3 gramos de semilla por metro cuadrado y pudiéndose contar con una producción media de 200 a 300 plantas por metro cuadrado de almacigueras.

4.2.19.1. *Etapa de Semillero (Vo)*

Se extiende desde la siembra de la semilla hasta el trasplante y comprende el estado de cotiledón, en que todavía no están presentes las hojas verdaderas y el de la plántula, cuando presenta cinco hojas verdaderas.

Figura 7

Etapa de Semillero (V0) del repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

4.2.19.2. Etapas de Establecimiento o Postransplante (V1)

Comprende desde la etapa de trasplante cuando las plantas tienen entre seis y ocho hojas, hasta el estado de 9 a 12 hojas, al final de esta etapa, la base del tallo es todavía visible cuando la planta es vista desde arriba y los peciolos de las hojas son alargado.

Figura 8

Etapas de establecimiento o postransplante (V1) de la planta de repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

4.2.19.3. Etapa de Preformación de la Cabeza (R1)

Comprende dos etapas de crecimiento uno es el de preformación de la copa, que se extiende desde el fin de la etapa anterior hasta el momento en que la base del tallo y de las hojas están ocultas cuando la planta es vista desde arriba. En este estado los peciolos de las hojas son cortos, las hojas del corazón crecen en forma vertical y son visibles sin tener que mover las hojas circundantes. El total de hojas en este estado oscila entre 13 y 19; la etapa de formación de la copa se inicia cuando la copa tiene 20 hojas hasta alcanzar 26. Aquí las hojas más profundas del corazón que crecen todavía en forma vertical están ya ocultas por las hojas circundantes, todas las hojas producidas durante esta etapa llegarán más tarde a ser las hojas exteriores que no tocan la cabeza en la planta madura.

Figura 9

Etapa de preformación de la cabeza (R1) de la planta de repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

4.2.19.4. Etapa de Formación de Cabeza (R2)

Esta etapa comprende un estado temprano de formación de cabeza, que se inicia cuando esta tiene 5 u 8 cm de diámetro. En este estado las hojas internas del corazón se desarrollan

rápidamente, formando una estructura semejante a una bola de hojas superpuestas, rodeadas por las hojas más circundantes, las cuales no ejercen presión contra la cabeza en desarrollo, llamada también el estado de llenado de la cabeza, cuando esta tiene entre 8 a 15 cm de diámetro, todavía sin una consistencia firme, la presión hacia afuera la ejercen las hojas que se van formando en el corazón; finalmente, comprende el estado de madurez , cuando la cabeza adquiere la máxima dureza y tamaño de aproximadamente 12 a 18 cm al final de esta etapa, la cabeza adquiere la consistencia ideal y está lista para cosechar.

Figura 10

Etapa de formación de cabeza (R2) de la planta de repollo



Nota. Tomado de Jaramillo (2006)

4.2.20. Endurecimiento

Pletsch (2006) explica que de 7 a 10 días antes del trasplante se debe reducir el agua de riego en el semillero para que las plántulas se pongan más consistentes o firmes, lo que acondicionará para soportar el arranque y establecimiento en el campo.

4.2.21. Trasplante

Moroto (2002) indica que el trasplante se realiza entre los 40 y 45 días después de la siembra, efectuándose a raíz desnuda y en seco, sobre surcos separados entre 0.50 m y 1.50 m, dejando entre plantas una distancia de aproximadamente 0.40 m. Inmediatamente después del trasplante, se procede a realizar el riego de plantación.

Pletsch (2006) indica que entre 7 a 10 días antes del trasplante se debe reducir el agua de riego en el semillero para que las plántulas se pongan más consistente o firmes lo que acondicionará para soportar el arranque y establecimiento en el campo.

4.2.22. Momento de la cosecha

Siura & Ugas (2006) indica que, entre 90 a 120 es el momento óptimo de cosecha del repollo está determinado por la madurez fisiológica y comercial del cultivo, la cual se alcanza cuando las cabezas presentan una consistencia compacta, firme al tacto y un tamaño característico de la variedad cultivada

4.2.23. Comercialización

Siura & Ugas (2006) señalan que el precio del repollo varía de acuerdo con el tamaño, la calidad y la época del año. La calidad está determinada por características internas, como el sabor, el aroma y la textura de las cabezas, así como por características externas, como el color, la presencia de golpes o raspaduras, la frescura y la limpieza (libre de polvo y residuos de cosecha). La venta en el mercado generalmente se realiza por unidades, tajadas o por peso (kilogramos).

4.2.24. Plagas y Enfermedades

Landazabal & Segura (2008) indica que las plagas y enfermedades más conocidas del cultivo de repollo.

4.2.24.1. Plagas

- Gusano cortador (*Agrotis spp*). Para prevenir el ataque de estos cortadores, es recomendable una preparación oportuna del terreno y la eliminación de las malezas varias semanas antes de sembrar o trasplantar, para destruir los sitios de ovoposición y las plántulas que sirven de alimento a algunas larvas pequeñas.
- Polilla del repollo (*Plutella xylostella*.) Este es, quizá el insecto de mayor importancia en el cultivo de las brasicas. Las larvas son pequeñas, verdes azulados y alcanzan hasta 12 mm de longitud; en los primeros estadios se alimenta en el envés de las hojas y producen pequeñas raspaduras, aunque la epidermis superior queda intacta.
- Gusano del repollo (*Ascia monuste*). Son larvas verdosas, aterciopeladas, con rayitas claras muy destructivas que atacan todo el follaje del repollo. Se combaten con los mismos productos utilizados contra plutela.
- Áfidos (*Brevicoryne brassicae*) Una alta infestación de áfidos ocasiona la distorsión de los brotes y de las hojas y amarillamiento; puede causar hasta la muerte de las plantas.

4.2.24.2. Enfermedades

- Mancha de anillo (*Mycosphaerella brassicicola*). El hongo ocasiona manchas circulares con anillos concéntricos que aparecen primero en el haz y luego en el envés de las hojas.

Pueden atacar cualquier zona de la parte aérea. En las lesiones se ven las fructificaciones del hongo. El hongo puede sobrevivir en el suelo de una estación a otra en residuos de cosecha y también en el suelo.

- Manchas negras (*Alternaria sp*). Produce manchas en las hojas y los tallos, el borde es irregular y contienen anillos concéntricos.
- Mildiu veloso (*Peronospora parasitica*). Ataca cuando la humedad ambiental es alta y persiste una condición lluviosa. Causa manchas amarillas en la parte superior de la hoja y en la parte inferior crece un micelio blanco.

4.3. Definición de términos

ENTEC 26. (EuroChem North America, 2020) menciona que es un fertilizante nitrogenado granulado, con alto contenido de amonio al cual se le añadió la molécula inhibidora de la nitrificación que permite minimiza las pérdidas de nitrógeno por lavado (lluvias o riegos pesados) y asegura la estabilidad y máximo aprovechamiento de este elemento por la planta al impedir el paso de nitrógeno amoniacal a nítrico.

Nitrato de amonio. Pletsch (2006) indica que es un fertilizante popular, ya que proporciona la mitad del nitrógeno en forma de nitrato y la otra mitad en forma de amonio. La forma nitrato se mueve fácilmente con el agua del suelo hacia las raíces, donde está inmediatamente disponible para su toma por la planta.

Fertilizante Pletsch (2006), menciona que es toda sustancia o mezcla de sustancias que incorporada al suelo o aplicada sobre la parte aérea de las plantas, suministre él o los elementos

que requieren los vegetales para su nutrición, con el propósito de estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar la calidad de las cosechas.

Nutriente. Pletsch (2006) menciona que se llama nutrientes a aquellos elementos químicos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. De los casi 100 elementos químicos existentes en la naturaleza, solamente dieciséis son esenciales para el crecimiento de las plantas.

Abono. Cerisola (2015) menciona que es el material orgánico que aporta elementos fertilizantes Correctivo: material que añadido al suelo mejora su estructura: en el caso de suelos básicos (sódicos y salinos), el aporte de materia orgánica, azufre o yeso (no es una práctica común).

Rendimiento. Hurtado (1999) menciona que es la cantidad de producto físico obtenido por unidad de superficie y por unidad de tiempo. El producto físico puede ser expresado en kilogramos o toneladas y la unidad de superficie en hectáreas.

Manejo agronómico: Cerisola (2015) menciona que son labores culturales que se hace en un cultivo específico para mejorar la producción y rendimiento por unidad de área, también llamado: buenas prácticas agrícolas (BPA) tales como: riego, aporque, despunte, resiembra, deshije, podas, decapitación floral.

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es experimental, dado que se empleó Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) para evaluar los efectos de las diferentes fuentes de fertilización nitrogenada sobre el cultivo de repollo.

5.2. Ubicación del Campo Experimental

5.2.1. *Ubicación Política*

- Región : Cusco
- Departamento : Cusco
- Distrito : San Jerónimo
- Localidad : Centro Agronómico K'ayra

5.2.2. *Ubicación Geográfica*

- Altitud : 3219 m s.n.m
- Latitud : 13°33'18.28" sur
- Longitud : 71°52'18.20" Oeste

5.2.3. *Ubicación Hidrográfica*

- Cuenca : Vilcanota (willkamayu)
- Sub cuenca : Watanay
- Micro cuenca : Wanakauri

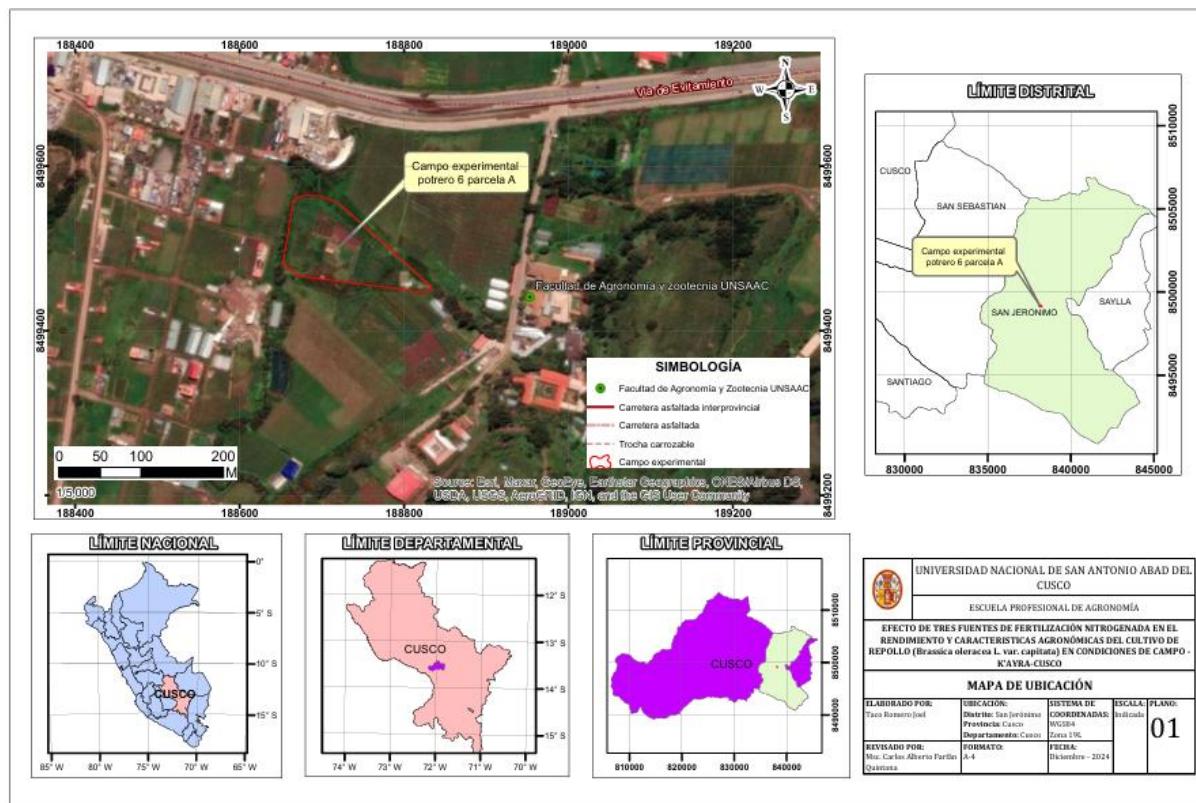
5.2.5. Ubicación Ecológica

Según la clasificación del diagrama bioclimático de Holdridge (1967), el Centro Agronómico K'ayra se encuentra ubicado dentro de la zona de vida natural denominado Bosque seco -Montano Bajo Subtropical (bs-MBS).

5.2.6. Ubicación Satelital del Campo

Figura 11

Ubicación satelital del campo



Fuente: *elaboración propia*.

5.2.7. Ubicación Temporal

La presente investigación se llevó a cabo durante la campaña agrícola del año 2023, entre los meses de julio a diciembre, en el potrero 6, parcela A, perteneciente al Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA), ubicado en el Centro Agronómico K'ayra, distrito de San Jerónimo, provincia y región del Cusco.

5.3. Materiales

5.3.1. Material Genético

Se utilizó semilla certificada de repollo de la variedad Quintal, adquirida en un establecimiento agro veterinario autorizado agro veterinaria Belén. Esta variedad es reconocida por su alto rendimiento y adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas, lo que la convierte en una opción adecuada para estudios de evaluación agronómica. A continuación, se presenta una descripción del material genético utilizado:

Figura 12

Fotografía de la semilla adquirida



Características agronómicas del cultivo de repollo

El repollo es una hortaliza de ciclo corto, cuyo comportamiento agronómico está influenciado por factores como la fertilización y el espaciamiento. Su ciclo de cultivo se extiende entre 90 y 120 días desde el trasplante hasta la cosecha, dependiendo de la variedad y condiciones ambientales. Las plantas alcanzan una altura promedio de 30 a 40 cm, y forman cabezas compactas de hasta 30 cm de diámetro, con pesos que varían entre 2 y 6 kg. En condiciones óptimas, el rendimiento puede oscilar entre 40 y 90 t/ha. El color de la cabeza es verde oscuro, con un contraste marcado respecto a las hojas externas, lo cual es valorado comercialmente. Para una adecuada densidad de población, se recomienda establecer entre 35,000 y 45,000 plantas por hectárea, con un espaciamiento de 40 cm entre plantas y 60 cm entre surcos.

5.3.2. Insumos

- ENTEC 26: 26% N (es un fertilizante estabilizado con 26% de nitrógeno total)
- Nitrato de amônio: aproximadamente 34% N
- Urea :46% N (es la fuente con mayor concentración de nitrógeno)
- Fosfato di amónico: 18% N
- Cloruro de potasio

5.3.3. Materiales de Campo

- Cordel y estacas
- Libreta de campo
- Yeso y wincha
- Carteles para identificar los tratamientos

5.3.4. *Equipos*

- Cámara fotográfica.
- Pulverizador manual de 15 Lt.
- Equipo de computo
- Jeringa
- Tractor agrícola con arado y rastra
- Balanza digital

5.3.5. *Herramientas*

- Etiquetas
- Lampas, picos.
- Cinta métrica, wincha

5.3.6. *Toma de Muestra para Análisis de Suelo*

La toma de muestras de suelo se realizó el 01 de agosto de 2023. Para ello, se recorrió la parcela experimental en zig-zag y, de manera completamente aleatoria, se seleccionaron seis puntos de muestreo. En cada uno de ellos se excavó una “V” con pala para retirar la capa superficial, extrayendo una lámina vertical de aproximadamente 30 cm de espesor. Se recortaron y limpieron las submuestras de suelo, eliminando impurezas, y se homogenizaron mediante el método de cuarteo hasta obtener 1 kg representativo. La muestra, etiquetada y embalada, fue enviada al laboratorio de la Institución Valle Grande (Cañete, Lima) para su análisis físico, químico y de microelementos, cuyos resultados figuran en los anexos.

Figura 13

Fotografía de toma de muestra de suelo

**Tabla 2**

Interpretación del análisis de suelo

Tipo de análisis	Resultados	Interpretación
pH	7.68	Ligeramente alcalino
Materia orgánica	1.72 %	Bajo
Fosforo disponible	11.80 ppm	Bajo
Catión potasio	0.42 mEq/ 100 g	Alto
C.E.	1.54 Ds/m	Ligeramente salino
Arena	38.39	
Limo	29.99	Franco arcilloso
Arcilla	31.62	

5.4. Método

5.4.1. Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones y 16 unidades experimentales. Los tratamientos se asignaron por balotario y se analizaron con ANVA en SAS, considerando niveles de significancia del 95 % y 99 %.

A. Variables e indicadores

La variable independiente fue la fuente de fertilización nitrogenada, con tres tratamientos: ENTEC 26, nitrato de amonio y urea. Las variables dependientes, vinculadas al desarrollo y rendimiento del repollo, incluyeron rendimiento, altura de planta, diámetro y longitud de cabeza, así como longitud y diámetro de raíz. A continuación, se detallan estas variables junto con sus indicadores de evaluación.

Tabla 3

Variables e indicadores

Variables dependientes	Indicadores
2. Rendimiento	Peso de cabeza de repollo t/ha
2. características agronómicas	
• Altura de planta	Cm/planta
• Diámetro de la cabeza	Cm/ planta
• Longitud de cabeza	Cm /planta
• Longitude de raiz	Cm /planta
• Diâmetro de raiz	Cm /planta

B. Tratamientos

Tabla 4

Tratamientos evaluados

Nº Tratamientos	Descripción	Peso por hectárea (kg/ha)
T1	Urea 46% N	232.60
T2	Testigo	00
T3	ENTEC 26% N	411
T4	Nitrato de amonio 33% N	324

5.4.2. Características del Campo Experimental

5.4.2.1. Dimensiones del Campo Experimental

- Largo total: 24. m
- Ancho total: 13 m
- Área neta sin calles 240 m²
- Área neta del experimento 192 m²
- Área total: 312 m²

5.4.2.2. Número y Dimensiones del Bloque

- Número de bloques 4
- Ancho 5.0 m
- Largo 12m
- Área 60.0m²

5.4.2.3. Número y Dimensiones de Parcelas

- Número de parcelas 16
- Número de parcelas por bloque 4
- Largo: 5m
- Ancho: 3m
- Área total de parcela: 15 m²

5.4.2.4. Número y Dimensiones de Surcos

- Numero de surcos por/parcela 6
- Distancia entre surcos 0.50 m
- Largo de surcos 5 m
- Distancia entre plantas 0.50 m

5.4.2.5. Número de Plantas

- Número de plantas /surco 10
- Número de plantas / parcela 60
- Número de plántulas/ parcela neta 32
- Número de plantas / tratamiento 240
- Número de plantas por experimento 960

5.4.2.6. Calles Exteriores

- Calles exteriores largo 20 m
- Ancho 0.5m
- Calle exterior ancho 12 m
- Largo 0.5 m
- Numero de calles 2
- Área calles exterior 36 m²

5.4.2.7. Calle entre Bloques

- Numero de calles 3
- Largo de calles 12 m
- Ancho 1 m
- Área de calle entre bloques 36 m²

5.4.2.8. Plantas

- Plantas por hectárea 40,000
- Plantas/ surco 10
- Plantas/bloque 60
- Plantas/ tratamiento 240
- Planta / tratamiento neto 32
- Nivel de fertilización 225-225-220

5.5.1.1. Croquis del Campo Experimental

Figura 14

Croquis del campo experimental

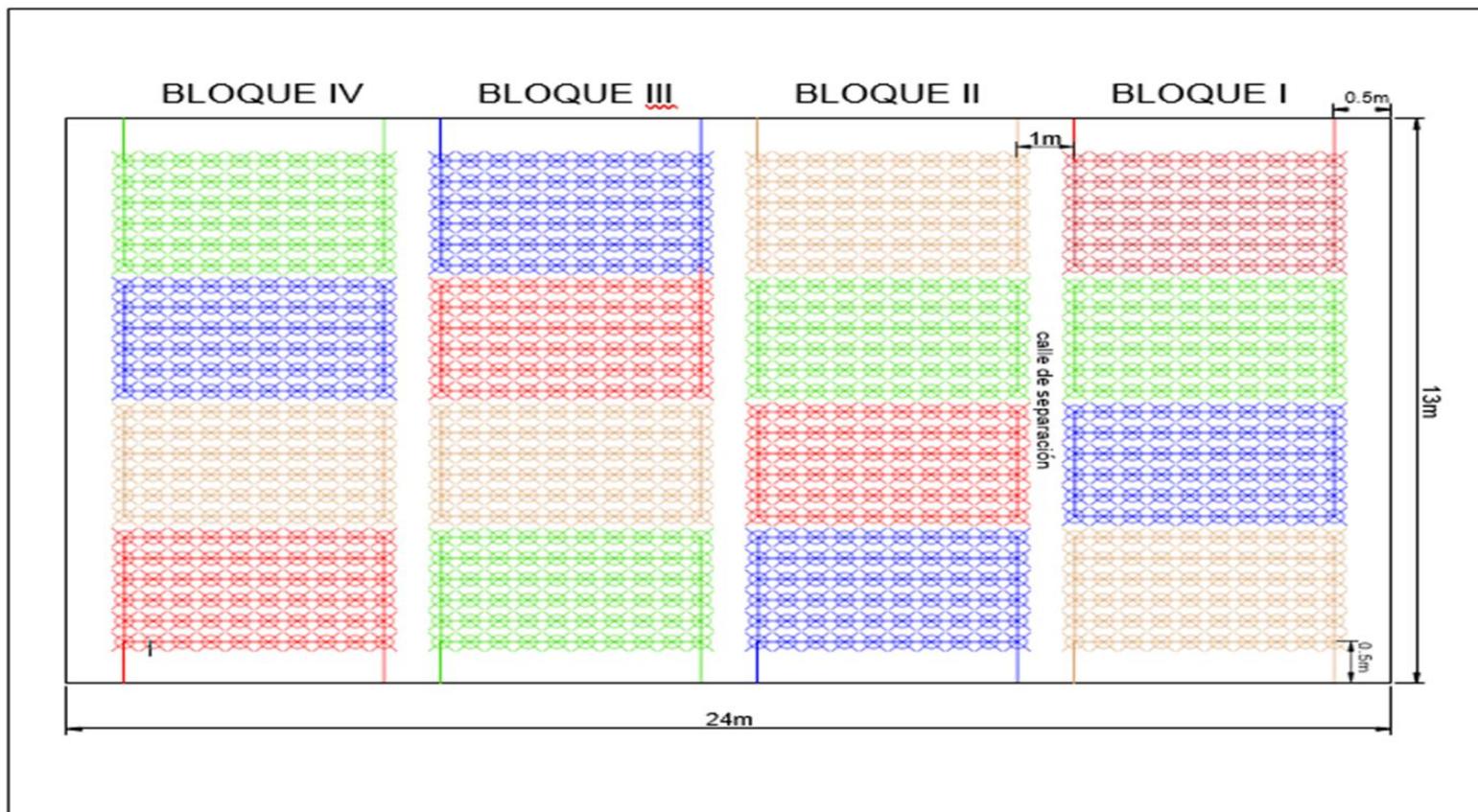


Figura 15*Croquis de la unidad experimental*

5.6. Conducción del Experimento

5.6.1. Manejo del Cultivo

5.6.1.1. Dimensiones del Almaciguero

El 4 de julio de 2023 se llevó a cabo la construcción del almaciguero, para lo cual se seleccionó un lugar con buena exposición solar y protección contra el viento. El almaciguero fue construido con dimensiones de 1.00 metro de largo por 1.50 metros de ancho, utilizando madera como material principal, y herramientas básicas como martillo y clavos para su ensamblaje.

Figura 16

Fotografía de construcción de almaciguero

**5.6.1.2. Siembra en Almaciguera**

La siembra de semillas de repollo variedad “Quintalero” se realizó el 5 de julio de 2023.

Se empleó un sustrato compuesto por tierra agrícola, compost y arena de río en proporciones equilibradas. Las semillas se sembraron en pequeños surcos, se cubrieron con el mismo sustrato y se regaron manualmente. Finalmente, el almaciguero fue cubierto con malla raschel para proteger las plántulas del sol, las bajas temperaturas y posibles daños por ave.

Figura 17

Fotografía de plántulas de repollo en emergencia a los 15 días de siembra



5.6.1.3. Agoste o Endurecimiento de las Plántulas

El agoste se efectuó una semana antes del trasplante, con el objetivo de aumentar la vigorosidad y resistencia de las plántulas. Esta práctica permitió que las plantas se adaptaran gradualmente a condiciones más exigentes, facilitando así su establecimiento en el campo definitivo.

Figura 18

Fotografía de plántulas de repollo en agosto antes de trasplante al campo definitivo



5.6.1.4. Preparación del Terreno

Esta actividad se realizó el 15 de julio de 2023, utilizando un tractor agrícola equipado con arado de discos y rastras. El objetivo principal fue la eliminación de malezas emergentes, la exposición de huevos, larvas y pupas de plagas, así como la mejora de la oxigenación del suelo. El arado se efectuó a una profundidad aproximada de 0,30 m. Posteriormente, se realizó el rastrado, dejando el suelo completamente mullido y en condiciones óptimas para el trasplante.

Figura 19

Fotografía de roturado y nivelación del terreno



5.6.1.5. Trazo y Replanteo del Campo Experimental:

El trazo y replanteo del campo experimental se realizó el 18 de agosto de 2023. Para ello, se dividió el área en cuatro bloques, delimitando sus respectivas calles de acceso. A continuación, se procedió al replanteo de los tratamientos dentro de cada bloque. Para esta labor se utilizaron estacas, cordel y yeso, lo que permitió una correcta demarcación y organización del diseño experimental en campo.

5.6.1.6. Nivel de Aplicación de Fertilizantes

La fertilización recomendada por Gutiérrez (1993) busca satisfacer las necesidades nutricionales del repollo para optimizar su desarrollo y rendimiento. En esta investigación se aplicó una dosis de 225-225-220 kg/ha (N-P-K) en todos los tratamientos, excepto en el testigo, que no recibió fertilización.

Optimización del crecimiento vegetativo

Nitrógeno (N): La alta proporción de nitrógeno (225 kg/ha) estimula significativamente el crecimiento vegetativo. Este macronutriente es esencial para la formación de proteínas y clorofila, contribuyendo al desarrollo de hojas fuertes y saludables.

Estímulo al desarrollo radicular

Fósforo (P): La dosis equilibrada de fósforo (225 kg/ha) favorece el desarrollo radicular, fundamental para la formación de raíces robustas que mejoran la absorción de nutrientes y aumentan la resistencia de las plantas ante condiciones de estrés.

Fortalecimiento de la resistencia y calidad de frutos

Potasio (K): La proporción adecuada de potasio (220 kg/ha) contribuye a la resistencia de las plantas frente a enfermedades, sequías y otros factores estresantes. Además, el potasio es esencial para mejorar el tamaño, sabor y textura de las cabezas de repollo.

Incremento de la producción: La combinación equilibrada de nitrógeno, fósforo y potasio en la proporción 225-225-220 está diseñada para promover un crecimiento saludable y balanceado, lo que puede traducirse en un aumento significativo en la producción.

Sostenibilidad ambiental: Previene desequilibrios del suelo, reduce la lixiviación y contribuye a prácticas agrícolas sostenibles que preservan su calidad.

Eficiencia en el uso de recursos: El suministro óptimo de nutrientes mejora la eficiencia de los fertilizantes, incrementa el rendimiento y reduce costos para el agricultor.

Tabla 5*Cálculo del fertilizante a utilizar en el experimento*

Nivel de fertilización 225-225-220 de N - P - K.							
Descripción de unidades	Área m ²	Urea 46% N (kg)	Nitrato de amonio 33%N (kg)	ENTEC 26% N(kg)	Fosfato di amónico 18%N P2O5 (kg)	Cloruro de potasio KCl (kg)	Total
Hectárea	10000	232.60	324	411	421	183.3	
Bloque	60	1.4	1.94	2.47	2.53	1.05	
Tratamiento	15	0.35	0.484	0.617	0.63	0.26	
Planta		0.005	0.008	0.0103	0.010	0.004	

Tabla 6*Cantidad de fertilizante utilizado de acuerdo con el campo experimental*

Fertilizantes a utilizarse	Nivel recomendable	Cantidad resultante (kg/ha)
Urea 46 %	225-00-00	232.60
ENTEC 26 26%	225-00-00	411
Nitrato de amonio 33%	225-00-00	324
Fosfato di amónico 18 N - 46 %	00-225-00	421
Cloruro de potasio 60%	00-00-220	183.3
Total		

El 19 de agosto de 2023, al momento del trasplante, se aplicó fosfato diamónico. Posteriormente, a los 16 días después del trasplante, se realizó la aplicación de cloruro de potasio. En La segunda fertilización se realizó el 5 de octubre de 2023, utilizando únicamente urea y nitrato de amonio. cuanto a los fertilizantes nitrogenados, la primera fertilización se llevó a cabo el 5 de septiembre de 2023, aplicándose ENTEC 26, nitrato de amonio y urea en forma de corona alrededor de las plantas.

Figura 20

Fotografía de fertilización del cultivo



5.6. 1.7. Trasplante en Campo Definitivo

El trasplante se efectuó el 19 de agosto de 2023, a los 45 días después de la siembra del almácigo, cuando las plántulas presentaban cuatro hojas verdaderas y una altura promedio de entre 8 y 15 cm. Las plantas se establecieron en el campo definitivo con un distanciamiento de 0,50 m entre plantas y 0,50 m entre surcos, asegurando una distribución uniforme para un adecuado desarrollo del cultivo.

Figura 21

Fotografía de trasplante a campo definitivo del área experimental



5.6.1.8. Riego en el Cultivo

El riego se realizó por surcos, utilizando una motobomba como fuente de impulsión, debido a la ausencia de infraestructura para riego presurizado. Inicialmente, se aplicó de forma interdiaria para mantener la humedad cercana a la capacidad de campo; luego, se continuó con una frecuencia semanal, según las necesidades del cultivo.

Figura 22

Fotografía de riego por inundación



5.6.1.9. Aporque

El aporque se realizó el 27 de septiembre de 2023, en una sola intervención, cuando las plantas alcanzaron un tamaño adecuado para dicha labor. Esta actividad se llevó a cabo manualmente, utilizando herramientas como lampa y pico, con el propósito de favorecer la aireación del suelo, mejorar el anclaje de las plantas y prevenir el encharcamiento en la base del tallo.

Figura 23

Fotografía del aporque del cultivo



5.6.1.10. Marcado de Plantas

En la presente investigación se establecieron seis surcos por tratamiento, lo que representó un total de 60 plantas por tratamiento. De estas, se seleccionaron al azar 10 plantas ubicadas en los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental, con la finalidad de realizar las evaluaciones correspondientes durante el desarrollo del cultivo.

Figura 24

Fotografía del marcado de plantas



5.6.1.11. Control de Malezas

El control de malezas se realizó aprovechando el aporque; estas labores juntas se realizaron con lampa. el resto del control de malezas se realizará durante todo el periodo vegetativo del cultivo de acuerdo con la presencia de las malezas dentro del cultivo.

Figura 25

Fotografía del control de maleza



Tabla 7

Principales malezas del área experimental

Nombre común	Nombre científico	Familia
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Poaceae
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	Fabaceae
Nabo o yuyo	<i>Brassica campestris</i>	Brassicaceae

5.6.1.12. Cosecha

La cosecha se realizó en un solo momento el día 20 de diciembre del 2023 de forma manual cuando las cabezas del repollo estaban compactas.

Figura 26

Fotografía de cosecha de las 10 plantas etiquetadas



5.7. Evaluación de Variables.

La evaluación de las variables que se describen a continuación efectuó cuando el cultivo de repollo estaba en estado fenológico de madurez comercial. Cosechando las 10 plantas de cada tratamiento, con los que se tomaran los promedios para cada tratamiento con sus respectivas unidades de medida establecidas.

5.7.1. Metodología del Primer Objetivo

- Para evaluar las características agronómicas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*): altura de planta, diámetro de cabeza, peso de cabeza, longitud de cabeza,

longitud de raíz, peso de raíz y diámetro de raíz, bajo el efecto de tres fuentes de fertilización nitrogenada

Características agronómicas:

Altura de planta (cm):

La altura de planta se midió con una wincha milimétrica, desde la superficie del sustrato hasta el ápice de las hojas más altas de la cabeza, registrando los datos en centímetros al momento de la cosecha en cada unidad experimental.

Figura 27

Fotografía de medición altura de planta en (cm)



Diámetro de cabeza (cm):

La evaluación se realizó en el momento de la cosecha, una vez separada la cabeza del tallo con ayuda de un cuchillo. Utilizando una wincha milimétrica, se midió el diámetro en la parte más ancha de la cabeza del repollo. Los datos obtenidos, expresados en centímetros, fueron utilizados para los análisis estadísticos correspondientes.

Figura 28

Fotografía de medición del diámetro de cabeza en (cm)

**Longitud de cabeza(cm):**

La evaluación se realizó con ayuda de una wincha milimétrica, midiendo desde el ápice superior de la cabeza hasta su base. Los datos obtenidos, expresados en centímetros, fueron utilizados para los análisis estadísticos correspondientes.

Figura 29

Fotografía de medición de longitud de cabeza (cm)



Longitud de raíz (cm):

Se midió la longitud de la raíz principal del repollo extrayendo la planta y registrando, con wincha milimétrica, la distancia desde la base del tallo hasta el extremo de la raíz, expresada en centímetros.

Figura 30

Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)

**Peso de raíz (g):**

La evaluación se realizó extrayendo cuidadosamente la planta del suelo, eliminando el exceso de tierra adherida a la raíz. Luego, se procedió a pesar la raíz principal en una balanza digital, registrando el peso en gramos.

Figura 31

Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)



Diámetro de raíz cm:

La evaluación se realizó utilizando una wincha milimétrica, midiendo el diámetro de la raíz principal en su parte más ancha. Los datos obtenidos, expresados en centímetros, fueron utilizados para los análisis estadísticos correspondientes.

Figura 32

Fotografía de medición de la longitud de raíz en (cm)

**5.7.1. Metodología del Segundo Objetivo**

Para determinar el rendimiento del cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*) bajo el efecto tres fuentes de fertilización nitrogenada en condiciones de campo del Centro Agronómico K'ayra – Cusco.

A. Rendimiento t/ha:

El rendimiento se estimó a partir del peso fresco de las cabezas de repollo cosechadas en la parcela neta. Las plantas fueron cortadas, se eliminaron las hojas externas deterioradas y se pesó únicamente la parte comercial del producto.

Peso de cabeza de repollo (g): Durante la cosecha, las cabezas de repollo fueron separadas de la raíz con un cuchillo. Luego, se retiraron las hojas externas deterioradas y se pesó únicamente la parte comercial, utilizando una balanza de precisión. Con estos datos se estimó el rendimiento por hectárea (t/ha) mediante las siguientes fórmulas.

Figura 33

Fotografía de pesado de cabeza d de repollo en (g)



Hurtado (1999) indica que es la cantidad de producto físico obtenido por unidad de superficie y por unidad de tiempo. El producto físico puede ser expresado en kilogramos o toneladas y la unidad de superficie en hectáreas se calcula de la siguiente manera.

- **Rendimiento total (t/ha) = (Peso promedio de la cabeza de repollo) X (Número de cabezas de repollo por hectárea)**

Donde

- Peso promedio de la cabeza de repollo se obtendrá pesando una muestra representativa de las cabezas cosechadas.

- Número de cabezas de repollo por hectárea se calculará a partir de la densidad de siembra y el área cultivada.

Aguilar & Santoya (2013) indican que el rendimiento de un producto agrícola se refiere a la cantidad de producción que se obtiene por unidad de superficie cultivada, dada por la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{Peso por area neta x 1ha})}{\text{Area neta total}}$$

5.8. Variables e Indicadores

Tabla 8

Variables e indicadores

Variables independientes	Variables dependientes	Indicadores
Fuente de fertilización nitrogenada	<p>1. Rendimiento</p> <p>2. Características agronómicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altura de planta • Diámetro de cabeza • Longitud de cabeza • Longitud de raíz • Diámetro de raíz 	<ul style="list-style-type: none"> • kg/planta - t/ha • cm/planta • cm/planta • cm/planta • cm/planta

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Efecto de las tres Fuentes de Fertilización Sobre las Características Agronómicas del Cultivo de Repollo.

6.1.1. Longitud de la Raíz de Repollo.

Tabla 9

Longitud de las raíces, promedio por tratamiento en (cm)

Bloques	Tratamientos				Σ
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	
I	28.60	23.43	25.86	26.20	104.09
II	28.32	36.93	26.18	28.23	119.65
III	26.60	29.32	31.58	24.72	112.21
IV	29.67	29.39	26.17	25.89	111.13
Σ	113.19	119.07	109.79	105.03	447.08
Promedio	28.30	29.77	27.45	26.43	27.94

Tabla 10

ANVA para la longitud de la raíz en (cm)

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	26.18	8.73	0.823	3.86	6.99	NS	NS
Tratamientos	3	30.44	10.15	0.957	3.86	6.99	NS	NS
Error	9	95.46	10.61					
Total	15	152.08					CV	11.65%

En la tabla 10 se presenta el análisis de varianza ANVA para la longitud de la raíz del repollo. Los resultados muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 0.957 < F_t = 3.86$ y 6.99), ni entre bloques ($F_c = 0.823 < F_t$), lo cual indica que la longitud de la raíz no fue influenciada significativamente por las diferentes fuentes de fertilización nitrogenada ni por la ubicación dentro del campo experimental. El coeficiente de variabilidad fue de 11.65%, considerado aceptable, lo que demuestra una buena homogeneidad en los datos y brinda confianza en los resultados obtenidos.

En cuanto a los resultados descriptivos, el tratamiento con ENTEC 26 registró la mayor longitud promedio de raíz (29.77 cm), seguido por urea (28.30 cm), nitrato de amonio (27.45 cm) y el testigo sin fertilización (26.43 cm). El promedio general fue de 27.94 cm.

6.1.2. Peso de la Raíz del Repollo

Tabla 11

Peso de la raíz, promedio por tratamiento en (g.)

Bloques	Tratamientos				Σ
	Urea	ENTECA 26	Nitrato de amonio	Testigo	
I	202.10	176.00	194.60	137.00	709.70
II	216.80	181.90	240.80	139.10	778.60
III	278.10	216.80	240.60	242.17	977.67
IV	175.90	205.10	205.50	179.70	766.20
Σ	872.90	779.80	881.50	697.97	3232.17
Promedio	218.23	194.95	220.38	166.97	202.01

Tabla 12

ANVA para peso de las raíces en (g).

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	5629	1876	3.09	3.86	6.99	NS	NS
Tratamientos	3	10265	3422	5.64	3.86	6.99	*	*
Error	9	5460	607					
Total	15	21354					CV	12.20%

En la tabla 12 se presenta el análisis de varianza ANVA para para peso de las raíces en. Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 5.64 > F_t = 3.86$), pero no entre bloques ($F_c = 3.09 < F_t$), lo que indica que el peso de la raíz fue influenciado principalmente por las fuentes de fertilización nitrogenada aplicadas.

El coeficiente de variabilidad fue de 12.20%, valor considerado aceptable, lo que refleja buena homogeneidad en los datos y respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.

En cuanto a los resultados descriptivos, el mayor peso de raíz se registró con el tratamiento de nitrato de amonio (220.38 g), seguido por urea (218.23 g), ENTEC 26 (194.95 g) y el testigo sin fertilización (166.97 g). El promedio general para esta variable fue de 202.01 g. Estos resultados evidencian que el uso de fuentes nitrogenadas, en especial nitrato de amonio y urea, promueve un mayor desarrollo radicular en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea L. var. capitata*), en comparación con la condición sin fertilización.

Prueba Tukey

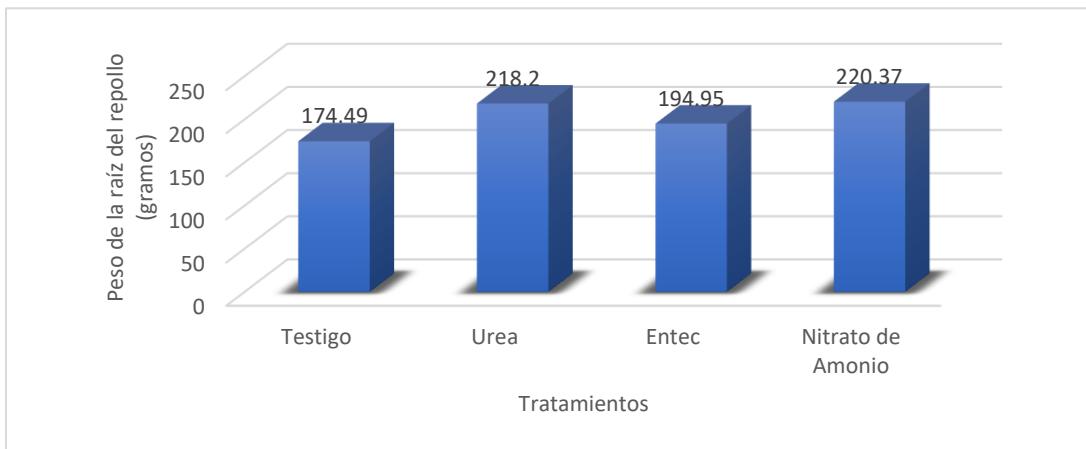
Tabla 13

Prueba de Tukey para el peso de la raíz de repollo en (g)

O.M.	Tratamiento	Unidad	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	Nitrato de amonio	220.37	a	a
II	Urea	218.22	a	a
III	ENTEC 26	194.95	a	a
IV	Testigo	174.49	a	a

De acuerdo con la tabla 13, la prueba de Tukey no mostró diferencias estadísticas significativas en el peso de la raíz entre tratamientos al 95 % y 99 % de confianza, ya que todos fueron agrupados en la misma categoría. No obstante, se evidenció una tendencia numérica favorable al uso de nitrógeno, destacando el nitrato de amonio (220.37 g) y la urea (218.22 g), seguidos por ENTEC 26 (194.95 g) y el testigo (174.49 g).

Los resultados respaldan a Ochoa (2021) y Reyes (2020) sobre el efecto positivo del nitrógeno en el desarrollo radicular. Nitrato de amonio y urea mostraron mayor respuesta por su rápida disponibilidad, mientras que ENTEC 26 tuvo un efecto sostenido menor. Todas las fuentes superaron al testigo en peso de raíz sin diferencias significativas, indicando menor sensibilidad a fertilizantes que otras variables como el rendimiento de cabeza. Taipe (2017) y Ancasi (2018) también destacaron que fuentes orgánicas e inorgánicas y enmiendas al suelo mejoran el desarrollo radicular y foliar del repollo.

Figura 34*Peso de la raíz del repollo en (g.)***6.1.3. Diámetro de la Raíz de Repollo****Tabla 14***Diámetro de la raíz, promedio por tratamiento en (cm)*

Bloques	Tratamientos				Σ Bloques
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	
I	3.63	3.88	3.42	2.14	13.06
II	3.39	3.35	3.55	2.60	12.88
III	3.27	3.73	3.81	3.26	14.06
IV	2.67	3.67	3.76	2.99	13.10
Σ	12.96	14.63	14.53	10.98	53.10
Promedio	3.24	3.66	3.63	2.67	3.32

Tabla 15

ANVA para el diámetro de las raíces del repollo (cm)

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	2.188	0.729	5.258	3.863	6.992	*	*
Tratamientos	3	0.2138	0.071	0.514	3.863	6.992	NS	NS
Error	9	1.248	0.139					
Total	15	3.650					CV	11.22%

En la tabla 15 se muestra el análisis de varianza ANVA para el diámetro de la raíz del repollo. El resultado indica que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($F_c = 0.514 < F_t = 3.86$ y 6.99), por lo que se concluye que las distintas fuentes de fertilización nitrogenada no influyeron significativamente sobre esta variable.

Sin embargo, se evidenció una diferencia estadística significativa entre bloques ($F_c = 5.258 > F_t = 3.86$), lo que sugiere que existieron efectos atribuibles a factores de variación dentro del campo experimental, como microambientes, pendiente, textura del suelo o distribución de humedad.

El coeficiente de variabilidad fue de 11.22%, lo cual indica una variabilidad aceptable y refuerza la confiabilidad y representatividad de los promedios obtenidos.

En cuanto a los resultados descriptivos, el tratamiento con ENTEC 26 presentó el mayor diámetro promedio de raíz (3.66 cm), seguido por nitrato de amonio (3.63 cm), urea (3.24 cm) y el testigo sin fertilización (2.67 cm). El promedio general fue de 3.32 cm.

Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los resultados muestran una tendencia favorable en el incremento del diámetro de la raíz con el uso de fertilizantes nitrogenados, especialmente con ENTEC 26 y nitrato de amonio

Prueba Tukey

Tabla 16

Prueba de Tukey respecto el diámetro de la raíz de repollo en (cm)

O.M.	Tratamiento	Unidad	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	ENTECA 26	3.66	a	a
II	Nitrato de amonio	3.63	a	a
III	Urea	3.24	ab	a
IV	Testigo	2.75	b	a

La tabla 16 muestra que el tratamiento con ENTECA 26 alcanzó el mayor diámetro de raíz con 3.66 cm, seguido muy de cerca por nitrato de amonio (3.63 cm), luego urea (3.24 cm), mientras que el testigo sin fertilización registró el menor valor (2.75 cm). Si bien los valores son relativamente cercanos entre sí, se aprecia una tendencia clara de aumento en el diámetro de raíz con la aplicación de nitrógeno, en especial con fertilizantes estabilizados como ENTECA 26.

Los resultados coinciden con Ochoa (2021), quien señaló que el nitrógeno mejora tanto el crecimiento aéreo como el desarrollo radicular del repollo, al aumentar la absorción de agua y nutrientes esenciales. Alemán (2007) también relacionó mayores dosis de nitrógeno (150 y 225 kg/ha) con mejores características morfológicas, aunque sin evaluar el diámetro radicular. La diferencia entre ENTECA 26 y urea radica en la mayor eficiencia de ENTECA 26, debido a su

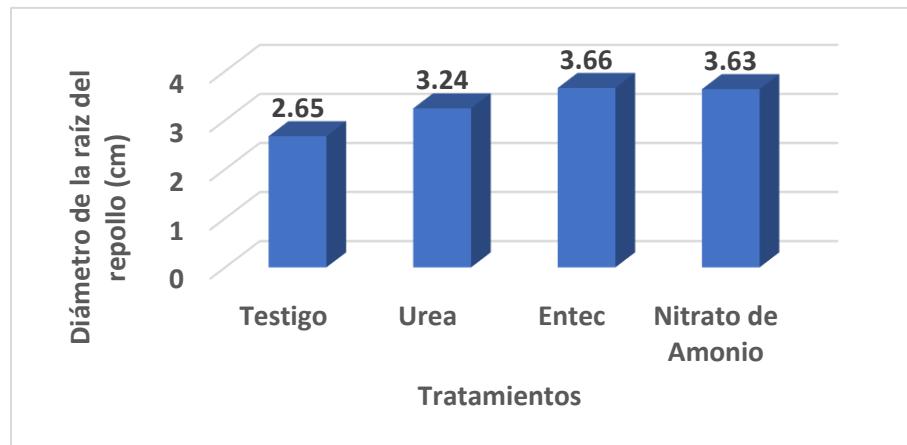
tecnología de liberación controlada, que permite un crecimiento más sostenido y equilibrado del sistema radicular. Por su parte, el nitrato de amonio presentó un efecto similar, pero más puntual y menos duradero, lo que puede limitar su beneficio en etapas posteriores del cultivo.

El menor valor del testigo (2.75 cm) evidencia que la falta de nitrógeno limita el desarrollo radicular, afectando la absorción de nutrientes y la estabilidad de la planta (Reyes, 2020; Alemán, 2007). Aunque las diferencias estadísticas no fueron tan marcadas, los resultados indican que la fertilización nitrogenada favorece el crecimiento de raíces, destacando ENTEC 26 y nitrato de amonio como las fuentes más efectivas, seguidos por la urea, mientras que el testigo quedó muy por debajo.

Taipe (2017) y Ancasi (2018) demostraron que enmiendas orgánicas y fertilizantes mejoran el desarrollo y rendimiento del repollo en K'ayra – Cusco.

Figura 35

Diámetro de la raíz del repollo en cm



6.1.4. Diámetro de la Cabeza de Repollo.

Tabla 17

Diámetro de la cabeza de repollo, promedio por tratamiento en (cm)

Bloques	Tratamientos				Sigma
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	
I	29.16	25.72	23.97	13.31	92.16
II	26.00	24.20	25.93	18.39	94.52
III	26.94	28.30	25.38	15.65	96.26
IV	27.99	28.28	26.36	19.06	101.69
Sigma	110.09	106.50	101.64	66.41	384.64
Promedio	27.52	26.63	25.41	16.60	24.04

Tabla 18

ANVA para el diámetro de la cabeza de repollo en(cm)

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	12.33	4.11	1.24	3.86	6.99	NS	NS
Tratamientos	3	303.99	101.33	30.67	3.86	6.99	*	*
Error	9	29.73	3.30					
Total	15	346.05					CV	7.56%

El análisis de varianza ANVA tabla 18 mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F_c = 30.67 > F_t = 3.86$ y 6.99), lo que indica que las fuentes de fertilización nitrogenada influyeron significativamente en el diámetro de la cabeza de repollo. No se detectaron diferencias significativas entre bloques ($F_c = 1.24 < F_t$), por lo tanto, la variabilidad no está relacionada con la distribución en el campo.

El coeficiente de variabilidad fue de 7.56%, lo que refleja una baja dispersión y buena homogeneidad en los datos, garantizando la confiabilidad de los promedios.

En cuanto a los resultados descriptivos el mayor diámetro promedio de cabeza se obtuvo con urea (27.52 cm), seguido por ENTEC 26 (26.63 cm), nitrato de amonio (25.41 cm) y el testigo sin fertilización (16.60 cm). El promedio general fue de 24.04 cm.

Estos resultados demuestran que el uso de fuentes nitrogenadas, especialmente urea y ENTEC 26, promueve un mayor desarrollo del diámetro de la cabeza de repollo en comparación con el testigo

Prueba Tukey

Tabla 19

Prueba de Tukey respecto al diámetro de las cabezas de repollo en cm

O.M.	Tratamiento	Unidad	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	Urea	27.52	a	a
II	ENTECA 26	26.63	a	a
III	Nitrato de Amonio	25.41	a	b
IV	Testigo	16.60	c	c

La Tabla 19 muestra que el mayor diámetro de cabeza de repollo se obtuvo con urea (27.52 cm), seguido de ENTEC 26 (26.63 cm) y nitrato de amonio (25.41 cm), mientras que el testigo sin fertilización presentó un valor significativamente menor (16.60 cm). Según la prueba de Tukey,

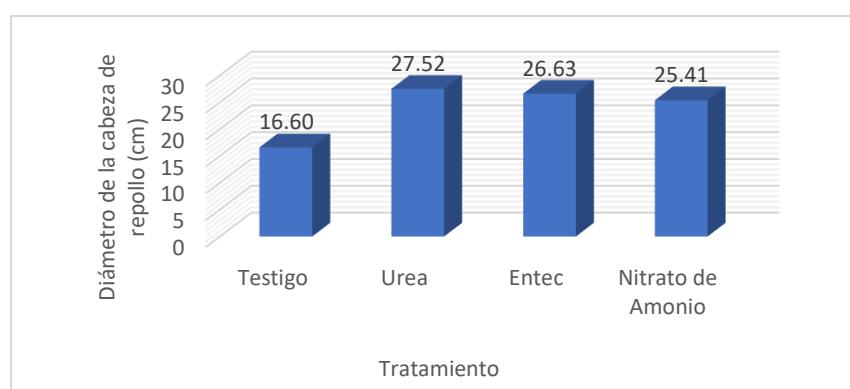
todos los tratamientos fertilizados superaron estadísticamente al testigo, confirmando el efecto positivo del nitrógeno en esta variable morfológica.

Este resultado concuerda con lo indicado por Alemán (2007), quien reportó que el nitrógeno promueve un mayor crecimiento y expansión foliar. La urea mostró una leve superioridad, posiblemente por su rápida disponibilidad, lo que favorece un desarrollo temprano, aunque esto no siempre se traduce en mayor rendimiento final. En cambio, ENTEC 26, con liberación controlada, demostró eficiencia sostenida, logrando resultados similares.

Estudios como los de Reyes (2020) y Torrejón (2021) respaldan estos hallazgos, destacando que las fuentes minerales superan a las orgánicas en esta característica. El bajo valor del testigo evidencia el papel limitante de la deficiencia de nitrógeno en el desarrollo estructural del repollo. Taipe (2017) y Ancasi (2018) destacan que enmiendas orgánicas y fertilizantes mejoran el rendimiento y crecimiento del repollo en K'ayra – Cusco. Taipe resaltó el humus Enriquecido, y Ancasi la combinación de dolomita y humus.

Figura 36

Diámetro de la cabeza del repollo producida en cm



6.1.5. Longitud de la Cabeza de Repollo

Tabla 20

Longitud de la cabeza, promedio por tratamiento en (cm)

Bloques	Tratamientos				Sigma
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	
I	18.80	23.22	18.64	10.04	70.69
II	17.75	21.04	18.37	9.51	66.67
III	18.79	21.05	17.04	8.08	64.96
IV	18.40	20.74	16.27	9.62	65.04
Sigma	73.75	86.06	70.31	37.26	267.37
Promedio	18.44	21.51	17.58	9.31	16.71

Tabla 21

ANVA para la longitud de la cabeza en cm

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	5.40	1.80	3.14	3.86	6.99	NS	NS
Tratamientos	3	326.00	108.68	189.08	3.86	6.99	*	*
Error	9	5.20	0.57					
Total	15	336.60					CV	4.52%

El análisis de varianza ANVA tabla 21 mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F_c = 189.08 > F_t = 3.86$ y 6.99), lo que indica que las distintas fuentes de fertilización nitrogenada influyeron significativamente en la longitud de la cabeza de repollo. No se observaron

diferencias estadísticas entre bloques ($F_c = 3.14 < F_t$), por lo que la variabilidad no está relacionada con la distribución en el campo.

El coeficiente de variabilidad fue de 4.52%, valor bajo que indica alta homogeneidad en los datos y confiabilidad en los promedios obtenidos.

En cuanto a los resultados descriptivos, el mayor promedio de longitud de cabeza se registró en el tratamiento con ENTEC 26 (21.51 cm), seguido de urea (18.44 cm), nitrato de amonio (17.58 cm) y el testigo (9.31 cm). El promedio general fue de 16.71 cm.

Estos resultados evidencian que el uso de fertilizantes nitrogenados, especialmente ENTEC 26, promueve un mayor desarrollo en la longitud de las cabezas de repollo frente al testigo sin fertilización.

Prueba Tukey

Tabla 22

Prueba de Tukey para la longitud de las cabezas de repollo en cm

O.M.	Tratamiento	Unidad	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	ENTECA 26	21.51	a	a
II	Urea	18.44	b	b
III	Nitrato de Amonio	17.58	b	b
IV	Testigo	9.31	c	c

Según los resultados de la tabla 22, el tratamiento con ENTEC 26 logró la mayor longitud de cabeza del repollo con 21.51 cm, seguido por urea (18.44 cm) y nitrato de amonio (17.58 cm).

En contraste, el testigo sin fertilización obtuvo un valor significativamente inferior (9.31 cm). La prueba de Tukey confirmó diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos, lo que evidencia el efecto positivo de la fertilización nitrogenada en el desarrollo estructural del cultivo.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Ochoa (2021), quien observó un incremento lineal en la longitud de cabeza con mayores dosis de nitrógeno, alcanzando hasta 24.18 cm con 150 kg/ha, resultado comparable al obtenido con ENTEC 26 en este estudio. Además, el uso combinado de estiércol de ovino y nitrógeno también mejoró esta variable, aunque con menor eficiencia que las fuentes estabilizadas.

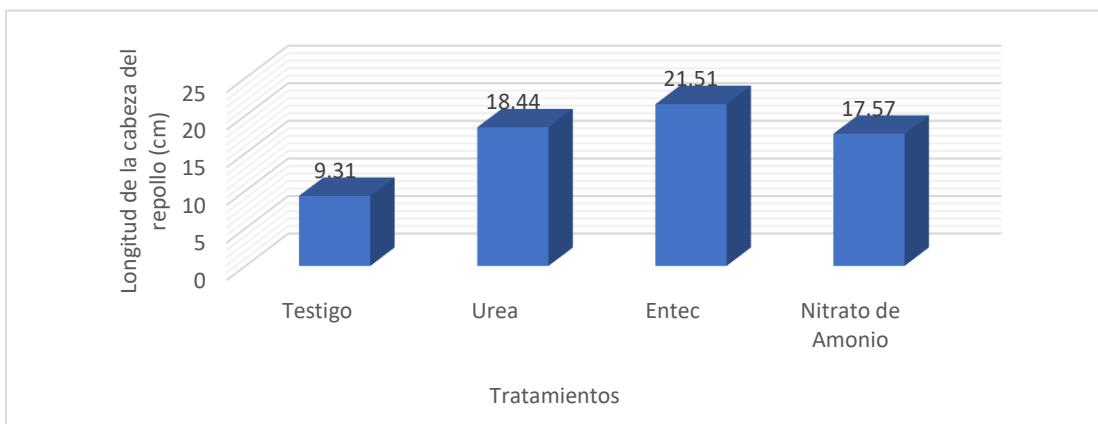
De manera similar, Torrejón (2021) identificó diferencias significativas en longitud de cabeza según el tipo de fertilizante, destacando los tratamientos que combinaron fertilización orgánica y mineral. Aunque en esta investigación no se evaluó materia orgánica, se demostró que una fuente estabilizada como ENTEC 26 puede superar el rendimiento de fertilizantes convencionales como la urea y el nitrato de amonio. Por su parte, Reyes (2020), aunque no analizó directamente la longitud, señaló efectos positivos de la fertilización sintética sobre el diámetro y peso de cabeza, variables morfológicamente relacionadas, lo cual respalda la tendencia observada en este trabajo. Estos hallazgos complementan a Taipe (2017) y Ancasi (2018), quienes mostraron que abonos orgánicos enriquecidos y la combinación de dolomita con humus mejoran peso, tamaño y desarrollo del repollo.

En conclusión, la calidad y tipo de fertilizante nitrogenado incide significativamente en el desarrollo estructural del repollo. La superioridad de ENTEC 26 sugiere que, bajo las condiciones

de K'ayra – Cusco, su uso permite maximizar el crecimiento de la cabeza, representando una alternativa eficiente frente a otras fuentes nitrogenadas.

Figura 37

Longitud de la cabeza del repollo en cm



6.1.5. Altura de la Planta de Repollo.

Tabla 23

Altura de la planta de repollo, promedio por tratamiento en (cm)

Bloques	Tratamientos					Σ
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	Bloques	
I	39.29	44.42	40.53	22.84		147.08
II	37.74	39.91	38.50	29.09		145.24
III	37.04	42.64	38.42	24.65		142.76
IV	39.04	38.80	37.74	22.29		137.87
Σ	153.10	165.77	155.19	98.87		572.94
Promedio	38.28	41.44	38.80	24.72		35.81

Tabla 24

ANVA para la altura de la planta de repollo

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01		
Bloque	3	11.90	3.98	0.81	3.86	6.99	NS	NS
Tratamientos	3	679.10	226.35	46.32	3.86	6.99	*	*
Error	9	44.00	4.89					
Total	15	735.00					CV	6.17%

El análisis de varianza ANVA tabla 24 mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F_c = 46.32 > F_t = 3.86$ y 6.99), lo que indica que las fuentes de fertilización nitrogenada influyeron de manera significativa en la altura de las plantas de repollo. En cambio, no se hallaron diferencias estadísticas entre bloques ($F_c = 0.81 < F_t$), por lo que la variabilidad observada no se atribuye a la ubicación en el campo.

El coeficiente de variabilidad fue de 6.17%, valor bajo que refleja buena homogeneidad en los datos y confiabilidad en los promedios obtenidos.

En cuanto a los resultados descriptivos. El tratamiento con ENTEC 26 presentó la mayor altura promedio (41.44 cm), seguido por nitrato de amonio (38.80 cm), urea (38.28 cm) y el testigo (24.72 cm). El promedio general fue de 35.81 cm.

Estos resultados confirman que la fertilización nitrogenada, especialmente con ENTEC 26, mejora significativamente la altura de la planta en comparación con el testigo sin fertilización.

Prueba Tukey

Tabla 25

Prueba de Tukey para la altura de la planta en cm

O.M.	Tratamiento	Unidad	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	ENTEC 26	41.44	a	a
II	Nitrato de Amonio	38.80	a	b
III	Urea	38.28	a b	b
IV	Testigo	24.72	c	c

Los resultados obtenidos en la tabla 25 indican que el tratamiento con ENTEC 26 registró la mayor altura de planta (41.44 cm), seguido por el nitrato de amonio (38.80 cm) y la urea (38.28 cm), mientras que el testigo sin fertilización presentó significativamente la menor altura (24.72 cm). Según la prueba de Tukey, ENTEC 26 mostró diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo, y una leve superioridad frente a las demás fuentes nitrogenadas, aunque sin diferencias significativas con el nitrato de amonio al 95 % de confianza.

Este hallazgo coincide con lo reportado por Ochoa (2021), quien observó una respuesta positiva y lineal en la altura de planta frente al incremento de las dosis de nitrógeno, alcanzando los mayores valores con 150 kg/ha. Asimismo, Reyes (2020) encontró que el uso de fertilizantes sintéticos mejoró significativamente la altura del repollo en comparación con compost y lombricomposta, resaltando la eficiencia agronómica de estos fertilizantes en el desarrollo vegetativo. Por otro lado, aunque Alemán (2007) no analizó directamente la altura de planta, su estudio demostró que dosis adecuadas de nitrógeno (150 kg/ha) en combinación con buenas

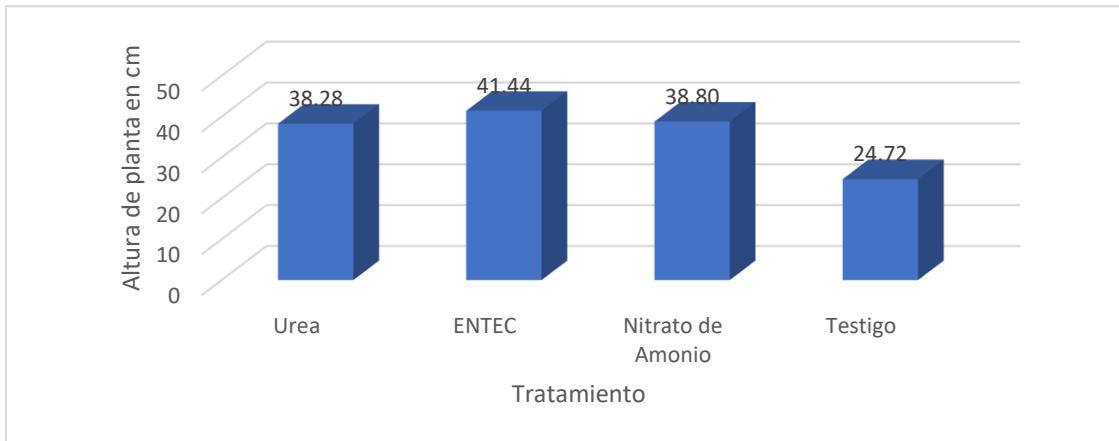
densidades de siembra promovieron un mejor desarrollo estructural del cultivo, lo cual guarda relación con el mayor vigor vegetativo observado con ENTEC 26 en este estudio.

El resultado superior del tratamiento con ENTEC 26 también puede atribuirse a su formulación estabilizada, que reduce las pérdidas por volatilización y lixiviación, lo que mejora la eficiencia de absorción de nitrógeno. Esta afirmación es respaldada por Portillo (2015), quien destacó la relevancia de una fertilización nitrogenada eficiente para mejorar características morfoestructurales del cultivo, como el diámetro de la cabeza y el rendimiento.

Finalmente, el testigo sin fertilización mostró los valores más bajos en altura, lo cual refuerza la conclusión de que la aplicación de nitrógeno es esencial para el crecimiento del repollo, tal como lo evidencian todos los antecedentes revisados, sin excepción.

Tabla 26

Altura de la planta en cm



6.2. Efecto de las tres Fuentes de Fertilización Nitrogenada Sobre el Rendimiento del Peso de Cabeza de Repollo

Tabla 27

Rendimiento del peso de la cabeza, promedio por tratamiento por parcela neta en t/ha

Bloques	Tratamientos					Σ
	Urea	ENTEC 26	Nitrato de amonio	Testigo	Bloques	
I	75.91	99.24	76.21	21.80	273.16	
II	78.74	96.98	84.25	24.27	284.24	
III	80.350	97.07	78.18	27.61	283.21	
IV	79.76	100.90	84.22	26.44	291.32	
Σ	314.77	394.20	322.86	100.13	1131.93	
Promedio	78.69	98.55	80.71	25.03	70.75	

Tabla 28

ANVA para el rendimiento del peso de las cabezas por parcela neta en t/ha.

F de V	Gl-1	Sc	CM	Fc	Ft		Signif.	
					0.05	0.01	NS	NS
Bloque	3	41.90	14.00	2.43	3.8	6.9	NS	NS
Tratamientos	3	12101	4034	704.80	3.8	6.9	*	*
Error	9	52	6.00					
Total	15	12195					CV	3.38%

El análisis de varianza ANVA tabla 27 evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F_c = 704.80 > F_t 0.05 = 3.80$ y $F_t 0.01 = 6.90$), lo que indica que las fuentes de fertilización nitrogenada influyeron significativamente en el rendimiento del repollo. Por el

contrario, no se encontraron diferencias significativas entre bloques ($F_c = 2.43 < F_t$), por lo que la ubicación no afectó de forma relevante los resultados.

El coeficiente de variabilidad fue de 3.38%, valor muy bajo que demuestra alta homogeneidad en los datos y buena precisión experimental.

En cuanto a los resultados descriptivos, el mayor rendimiento promedio se obtuvo con ENTEC 26 (98.55 t/ha), seguido por nitrato de amonio (80.71 t/ha), urea (78.69 t/ha) y el testigo (25.03 t/ha). El promedio general fue de 70.75 t/ha.

Estos resultados confirman que el uso de fertilizantes nitrogenados, especialmente los de tipo estabilizado como ENTEC 26, mejora significativamente el rendimiento del repollo bajo condiciones de campo en K'ayra – Cusco.

Tabla 29

Prueba de Tukey para rendimiento del peso de las cabezas de la parcela neta de repollo en t/ha

O.M.	Tratamiento	Rendimiento peso de cabeza	Significación de Tukey	
			95%	99%
I	ENTECA 26	98.55	a	a
II	Nitrato de Amonio	80.71	b	a b
III	Urea	78.69	b	a b
IV	Testigo	25.03	c	c

La tabla 28 muestra que ENTEC 26 alcanzó el mayor rendimiento de peso de cabeza en parcela neta (98.55 t/ha), superando significativamente al nitrato de amonio (80.71 t/ha) y a la urea (78.69 t/ha). El testigo sin fertilización obtuvo un rendimiento mucho menor (25.03 t/ha), lo que

evidencia el impacto directo del nitrógeno en la productividad del repollo. Según la prueba de Tukey, ENTEC 26 presentó diferencias altamente significativas frente a las otras fuentes, consolidándose como la opción más eficiente

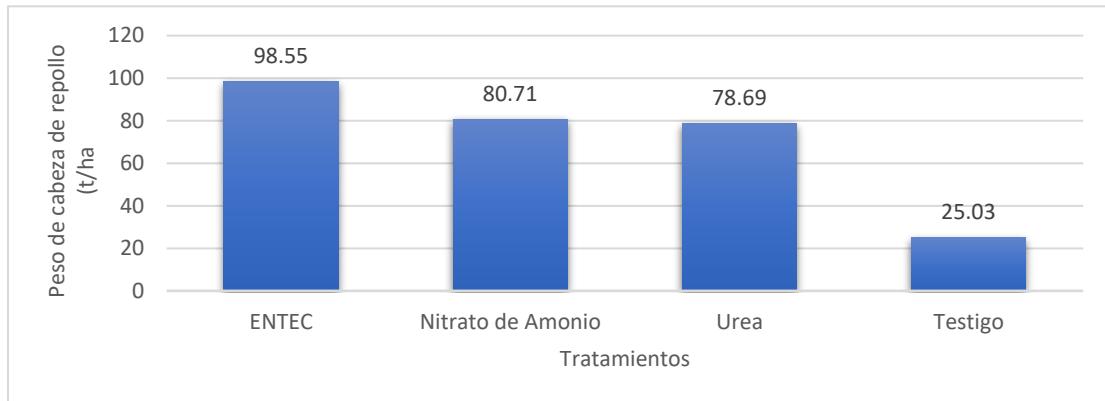
Este comportamiento coincide con Torrejón (2021), quien reportó altos rendimientos al combinar fertilizantes orgánicos y minerales. ENTEC 26, como fertilizante estabilizado, mejora la disponibilidad de nitrógeno y reduce pérdidas, optimizando su aprovechamiento

Ochoa (2021) y Alemán (2007) evidencian que el rendimiento del repollo aumenta con dosis crecientes de nitrógeno, especialmente sobre 100 kg/ha, tendencia coincidente con este estudio, donde los tratamientos nitrogenados superaron al testigo. Reyes (2020) reportó 49.25 t/ha usando fertilizantes como 18-46-0 y 12-30-10, valor menor al obtenido con ENTEC 26, pero que confirma las ventajas de un manejo químico eficiente frente a fertilización deficiente u orgánica exclusiva. De forma similar, Taipe (2017) y Ancasi (2018) demostraron que abonos orgánicos enriquecidos y dolomita mejoran el rendimiento en zonas altoandinas. El mejor desempeño de ENTEC 26 se relaciona con su capacidad para minimizar pérdidas de nitrógeno y aumentar la eficiencia productiva

Aunque urea y nitrato de amonio generaron buenos rendimientos, fueron inferiores a ENTEC 26, probablemente por pérdidas por volatilización y rápida solubilidad. ENTEC 26 demostró ser la fuente nitrogenada más eficiente para el repollo en las condiciones del estudio

Figura 38

Peso de la cabeza, promedio por tratamiento de la parcela neta t/ha



VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

7.6. Conclusiones:

A. Respecto a las características agronómicas

La fertilización nitrogenada impactó positivamente en las características agronómicas del repollo, destacando ENTEC 26 por su mayor eficacia al lograr el mejor rendimiento (98.55 t/ha) y mejores valores en altura, longitud y peso de la cabeza. Aunque no hubo diferencias significativas en las variables radiculares, ENTEC 26 y nitrato de amonio mostraron una tendencia favorable. Por ello, ENTEC 26 es la fuente nitrogenada más recomendada para mejorar la productividad del repollo en el Centro Agronómico K’ayra – Cusco.

B. Respecto al rendimiento

En cuanto al rendimiento del peso de las cabezas, ENTEC 26 obtuvo el mayor promedio con 98.55 t/ha, seguido por nitrato de amonio (80.71 t/ha) y urea (78.69 t/ha). El testigo sin fertilización presentó un rendimiento significativamente menor (25.03 t/ha), lo que destaca la importancia de una adecuada nutrición nitrogenada para maximizar la productividad. ENTEC 26 presentó la menor variabilidad, indicando una producción más estable y confiable, mientras que el testigo mostró alta variabilidad y rendimiento inconsistente. Esto resalta la importancia del nitrógeno no solo en el rendimiento, sino también en la estabilidad del cultivo para una producción sostenible.

7.2. Sugerencias.

- Se sugiere utilizar ENTEC 26 como principal fuente de nitrógeno, debido a su mayor eficacia y estabilidad en el rendimiento del repollo, lo que contribuye a una producción más uniforme y rentable en las condiciones del Centro Agronómico K'ayra – Cusco.
- Se sugiere aplicar una fertilización nitrogenada balanceada y oportuna, ajustando las dosis y momentos de aplicación para maximizar la absorción del nutriente, minimizar pérdidas por volatilización o lixiviación, y asegurar un desarrollo óptimo del cultivo.
- Se sugiere capacitar a los productores en técnicas adecuadas de manejo y aplicación de fertilizantes nitrogenados, fomentando buenas prácticas agrícolas que incrementen la rentabilidad y promuevan la sostenibilidad ambiental del cultivo.
- Se sugiere promover investigaciones complementarias que integren fertilización orgánica y mineral, con el fin de optimizar la calidad, rendimiento y sustentabilidad del repollo en las condiciones agroclimáticas de la región

IX. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J., & Santoya, V. (2013). *Estimación de rendimientos en el sector agropecuario*. Estudios Carticos del Desarrollo.
- Aleman, J. F. (2007). *Evaluacion de dosis de fertilizacion nitrogenada y densidad de siembra sobre el rendimiento del cultivo de repollo(Brassica oleraceae var capita)*. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Ancasi, W. T. (2018). *Rendimiento de tres variedades de repollo con tres niveles de fertilización en Ollantaytambo” (Brassica oleracea L. var. capitata)*. Cusco- Peru: Universidad Nacional San Antonio del Cusco.
- Arrieche, I. (2008). Efecto de la fertilización orgánica y química en suelos degradados cultivados con maíz (zea mays l.) En el estado Yaracuy, Venezuela.
- Box, M. (1968). *Horticultura herbácea y especial*. Madrid, España: Mundi- Prensa.
- Caceres, E. (1980). *Producción de Hortalizas*. San José-Costa Rica: 3ra Edic. San José de Costa Rica. Edit.
- Cerisola, C. (2015). *Manejo y Conservacion de Suelos Fertilizacion Quimica*. La Plata- Argentina : Universidad Nacional de la Plata.
- Ecostandard, S. (s.f.). *Nitrato de amonio, uso fertilizante y explosivo ANFO*. Obtenido de <https://ecostandard.cl/nitrato-de-amonio-uso-fertilizante-y-explosivo-anfo/#:~:text>

EuroChem Agro Iberia, S. (s.f.). https://www.eurochemiberia.com/wp-content/uploads/sites/9/2022/10/ENTEC%2026_general.pdf.

FAO. (2022). Base de datos estadística. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Funetes, F., & Perez, J. (2003). *Cultivo del repollo*. La Libertad-El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

Gómez, K. (2013). Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos y orgánicos en el suelo, caso de estudio: cultivo de jitomate en invernadero tipo túnel.

Gutierrez, M. (1993). *Hortalizas, Manual de Asistencia Técnica*. Bogota -Colombia: Editorial Nuevo Mundo, Primera edición.

Hurtado, F. (1999). *Elementos para la planificación agropecuaria en los andes sur peruano*. Cusco- Peru: Instituto de Investigación Universidad y Región – IIUR.

Jaramillo, E. J. (2006). *El cultivo de Crucíferas*. Antioquia- Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Centro de Investigación La Selva.

Krarup, C. (1992). Seminario sobre la producción de col. Quito Ecuador: Agricultura Development Consultans, I.

La Torre, S. (2002). *Abonamiento orgánico en el cultivo de repollo (Brassica oleracea L. variedad capitata) bajo condiciones de la comunidad campesina de Tambohuaylla Lares- Calca-Cusco*. Cusco-Peru: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Landazabal, R., & Segura, R. (2008). *Manual de producción de Repollo. USAID – RED. La Lima, Cortés – Honduras.* Lima- Peru: USAID – RED. La Lima, Cortés.

Montes, A, & Holle. (1972). *Descripción de algunos cultivos Olerícolas.* Lima- Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Morales, J., & Arriaga, M. (Noviembre de 2019). *Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales.* Texcoco-Mexico: Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.10 no.8 Texcoco nov./dic. 2019.

Moroto, B. (2002). *Horticultura herbácea especial.* Madrid- España.: 5ta Edición. Ed. Mundipress.

Ochoa, J. E. (2021). *Abonamiento nitrogenado y estiércol de ovino en el rendimiento de col (Brassica oleracea L.).* Canaán, 2750 msnm – Ayacucho. Ayacucho- Peru: Universidad Nacional de San Cristobal.

Paño Ancasi, E. A. (2018). *Contribución de dosis de dolomita y humus de lombriz en la producción de repollo (Brassica oleracea L. variedad capitata) en el Centro Agronómico K'ayra – Cusco -*Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]

Pletsch, R. (2006). *Cultivo de repollo.* Corrientes- Argentina: Ediciones INTA.

Portillo, H. V. (2015). *Efecto de nitrógeno ,fósforo y potasio en el cultivo de repollo.* Zacapa-Guatemala: Universidad Rafael Landivar.

Quintanilla, F., Yanes, C., & Monge, C. (2013). Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*zea mays l.*), San Juan Opico, La Libertad.

Ramos, c. (2010). Manejo de fertilizacion nitrogenada en sistemas agricolas. *Universidad Politecnica de Valencia.*

Reyes, U. S. (2020). *Evaluación de cuatro enmiendas de fertilización en dos híbridos de repollo (Brassica oleracea L. var. capitata) en la comarca Tecolostote, municipio de San Lorenzo.* Camoapa- Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

Ringuelet, A., & Gil, I. (2005). *Fertilizantes y abonos.* Córdoba- Argentina: 1a ed. Agencia Córdoba Ciencia, 2005.

Serrano, P., & Ruano, S. (2007). *Practicas de fertilizacion racional de los cultivos en España.* Madrid- España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Secretaría General Técnica.

Siura, G., & Ugas, R. (2006). *Programa de horticultura”.* *Universidad Nacional Agraria La Molina.* Lima- Peru: Edición EdiAgraria.

Torrejon, N. E. (2021). “*Efecto de dos tipos de fertilizantes y abonos en el rendimiento del repollo corazon de buey (Brassica oleracea) en Maria Luya Amazonas.* Chachapoyas- Peru: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas.

Valcarcel, S. F. (2002). *Colección de semillas de col-repollo del centro de valencia*. Madrid-España: Inia 2002(1 idicion).

Valencia, A. (1995). *Cultivo de hortalizas de hoja: Col y Lechuga Manual N° 3-95*. Lima- Peru: Instituto Nacional de Investigacion Agraria.

Vida en la tierra. (s.f.). *Vida en la tierra*. Obtenido de <https://www.vidaenlatierra.com/col-repollo-brassica-oleracea-capitata/>

Vitorino, F. (1989). *Fertilidad de suelos y fertilizantes, con énfasis en los suelos de Perú*. Cusco-Peru: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

X. ANEXOS

Tabla 30

Evaluación realizada de peso de cabeza de repollo en gramos (g)

N° DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE I									
		PESO DE CABEZA DE REPOLLO EN GRAMOS									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI- UREA	3120	2528	2568	2611	3780	2832	3436	3302	3375	2558
2	BITII -TESTIGO	582	1240	282	787	776	293	269	1230	470	1302
3	BITIII- ENTEC	4126	4670	3960	3880	4678	3020	4463	4070	3840	3610
4	BITIV -NITRATO	2960	3190	3580	3180	3240	3150	3212	3270	2619	3944
5	BIITI -UREA	2611	3250	3149	3857	3560	2615	3561	3532	2622	2807
6	BIITII- TESTIGO	1092	1189	764	1190	1030	419	1257	704	1160	1451
7	BIITII-NITRATO	4895	3253	3270	3301	4537	3214	3582	2953	2728	3420
8	BIITIV- ENTEC	3916	4216	3256	3960	3939	3471	4320	3740	3820	4389
9	BIIITI ENTEC	3923	3750	4149	4357	3760	3915	4261	4132	3922	4207
10	BIIITII NITRATO	3621	3650	3644	2840	3620	3880	3620	3240	3250	3400
11	BIII TIII UREA	3880	3590	2930	3900	2915	2741	4092	2789	3076	3500
12	BIIITIV TESTIGO	1644	1592	898	428	1759	490	845	566	1129	1140
13	BIVTI TESTIGO	1590	1740	1640	809	170	1573	408	1169	1670	1234
14	BIVTII ENTEC	4950	4280	3720	3570	3460	3650	4060	4480	4240	4502
15	BIVTIII-NITRATO	4020	3140	3530	2560	4200	4010	3900	2900	3800	3850
16	BIVTIV-UREA	2723	2998	3504	4100	3540	3550	3900	3700	3919	4003

Tabla 31

Evaluación realizada de altura de planta de repollo en (cm)

N° DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE I									
		ALTURA DE PLANTA DE REPOLLO EN CM									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI- UREA	38.15	36.2	40.5	38.5	39.2	39.9	44.15	37.1	40.07	39.1
2	BITII -TESTIGO	30	27	20	21.2	22.2	19.6	18.7	28	19.4	22.3
3	BITIII- ENTEC	44.4	51.14	45.4	42.1	53.5	39.6	41.7	43.5	40.4	42.5
4	BITIV -NITRATO	37.3	38.2	41.1	40.5	40.2	42.7	39.5	43.5	38.15	44.1
5	BIITI -UREA	39.17	37.12	36.15	38.5	38.7	37.7	38.1	36.7	38.1	37.15
6	BIITII- TESTIGO	30.14	27.07	25.03	33.02	25.12	20.13	34.12	29.1	35	32.14
7	BIITII-NITRATO	43.13	38.15	36.18	38.5	41.23	35.43	39.9	37.7	36.42	38.34
8	BIITIV- ENTEC	38.13	43.17	38.19	39.22	40.16	38.17	40.2	39.9	37.92	44.06
9	BIIITI ENTEC	40.17	39.12	39.15	47.5	39.7	40.7	46.1	44.7	43.1	46.15
10	BIIITII NITRATO	35.05	40.1	40.33	36.07	36.43	37.19	45.41	34.31	34.16	45.19
11	BIII TIII UREA	37.16	35.09	36.5	40.12	36.49	36.07	36.95	35	37	40
12	BIIITIV TESTIGO	32.14	28.19	23.4	20.45	30.13	27.49	20.1	19.2	23.32	22.12
13	BIVTI TESTIGO	20.2	26.07	21.05	18.08	26.09	23.11	19.12	24.03	26.13	19.04
14	BIVTII ENTEC	36.4	37.1	34.12	37.41	36.13	39.09	43.06	46.01	44.53	34.13
15	BIVTIII-NITRATO	33.51	35.21	40.31	36.02	37.11	40.13	38.17	37.91	37.02	42.04
16	BIVTIV-UREA	34.13	45.1	33.12	38.8	48.12	36.19	39.41	36.12	43.28	36.12

Tabla 33*Evaluación realizada de diámetro de cabeza en (cm)*

Nº DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE I,II,III , IV									
		DIAMETRO DE CABEZA DE REPOLLO EN CM									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI-UREA	26.57	26.1	25.3	26.4	35.2	27.5	33.05	31.5	33.9	26.1
2	BITII -TESTIG	14	16.3	8	12.8	12.3	9.2	10	17.8	12.2	20.5
3	BITIII- ENTEC	24.5	28.3	24.4	26.2	23.2	22.5	30.1	26.8	24.9	26.3
4	BITIV -NITRA	25.15	22.3	25.4	26.29	25.1	23.2	17.4	25.5	23.15	26.2
5	BIITI-UREA	21.3	22.5	26.1	29.1	29.2	24.4	30.14	28.93	25.16	23.15
6	BIITII- TESTIG	13.13	12.22	15.09	23.1	17.41	13.14	24.25	16.17	25.3	24.1
7	BIITII-NITRA	32.5	23.1	23.42	23.9	28.75	22.93	26.19	24.13	28.17	26.19
8	BIITIV- ENTE	24.13	24.23	26.11	23.62	21.04	24.09	25.26	24.12	26.05	23.38
9	BIIITI ENTEC	27.3	29.5	32.1	33.1	29.2	24.4	30.14	28.93	25.16	23.15
10	BIIITII NITRA	23.11	28.32	26.12	22.04	25.9	24.07	29.51	25.25	25.08	24.39
11	BIIII III UREA	31.51	30.08	25.91	26.04	24.14	23.1	29.04	24.76	25.42	29.41
12	BIIITIV TESTI	18.27	20.13	15.12	14.23	19.18	12.09	14.14	12.57	13.5	17.23
13	BIVTI TESTIG	18.02	20.34	20.18	17.13	19.05	21.53	17.52	19.15	18.42	19.3
14	BIVTII ENTEC	28.11	29.52	26.32	29.35	28.12	28.14	30.18	28.14	29.62	25.33
15	BIVTIII-NITR	29.02	20.33	23.04	25.31	29.41	25.06	27.08	27.13	28.16	29.05
16	BIVTIV-UREA	23.12	27.1	29.44	30.12	27.51	28.41	27.15	28.82	28.06	30.14

Tabla 32*Evaluación realizada de longitud en (cm)*

Nº DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE									
		LONGITUD DE CABEZA DE REPOLLO EN CM									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI-UREA	20.9	17.2	15.18	18.2	23.1	17.6	19.1	18.1	20.9	17.7
2	BITII -TESTIGO	9.1	13.2	9.2	11.1	9.9	8.3	6.9	10.9	8.4	13.4
3	BITIII- ENTEC	23.6	24.4	23.9	20.3	25.4	21.7	24.4	23.7	24.89	19.9
4	BITIV -NITRATO	19.2	19.4	20.3	17.38	19.4	16.98	18.2	19.9	18.3	17.29
5	BIITI-UREA	17.2	20.5	19.17	17.45	16.43	18.14	18.12	17.14	16.23	17.15
6	BIITII- TESTIGO	8.21	7.92	6.7	14.23	11.22	7.82	7.1	8.9	11	12
7	BIITIII-NITRATO	20.12	17.93	16.21	18.13	21.1	17.52	18.19	19.03	16.23	19.23
8	BIITIV- ENTEC	21.2	23.12	20.21	19.23	20.17	19.32	24.18	19.37	19.19	24.43
9	BIIITI ENTEC	19.2	18.5	25.17	24.45	16.43	18.14	22.12	21.14	20.23	25.15
10	BIIITII NITRATO	16.12	18.93	19.06	13.92	14.32	23.15	16.4	14.45	17.93	16.08
11	BIIII III UREA	20.9	19.4	18.35	17.36	16.65	17.1	19.2	17.12	20.52	21.3
12	BIIITIV TESTIGO	12.08	9.02	6.04	5.04	9.9	6.5	8.12	7.04	9.03	8.07
13	BIVTI TESTIGO	10.12	8.04	13.06	12.41	9.51	11.42	7.02	7.42	8.31	8.92
14	BIVTII ENTEC	22.13	20.12	19.54	18.08	19.03	20.03	21.22	18.17	24.03	25.06
15	BIVTIII-NITRATO	19.12	16.23	17.08	13.14	16.05	16.31	17.12	14.43	15.23	18.01
16	BIVTIV-UREA	17.12	14.07	17.13	23.32	14.32	20.64	21.01	19.02	16.18	21.23

Tabla 34*Evaluación realizada de longitud de raíz en (cm)*

Nº DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE									
		LONGITUD DE RAÍZ DE REPOLLO EN CENTIMETROS (cm)									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI- UREA	27	29	31	36	26	29	35	26	27	20
2	BITII -TESTIGO	18	21	23	34	30	25	28	29	24	30
3	BITIII- ENTEC	23.6	24.4	23.9	20.3	25.4	21.7	24.4	23.7	24.89	19.9
4	BITIV -NITRATO	19.12	20.1	25.13	38.2	28.15	31.2	27.17	17.9	27.12	24.5
5	BIITI-UREA	33.13	32.45	26.87	29.33	29.43	19.21	24.3	24.34	34.14	29.97
6	BIITII- TESTIGO	35.12	27.16	29.1	29.1	24.13	26.23	28.13	24.17	30.12	29
7	BIITIV-NITRATO	22.12	28.16	30.13	26.14	27.1	24.15	26.4	24.13	25.26	28.21
8	BIITIV- ENTEC	36.12	37.13	33.02	32.1	42.01	39.04	40.14	42.23	29.43	38.09
9	BIITI ENTEC	33.13	32.45	26.87	39.33	29.43	19.21	24.3	24.34	34.14	29.97
10	BIITIII NITRATO	32.05	32.19	33.39	29.1	35.09	36.2	33.12	27.5	28.05	29.09
11	BIII TIII UREA	24	23	22	24	28	28	33	27	28	29
12	BIITIV TESTIGO	19.01	20.03	18.02	27.07	17.08	23	16.54	16.45	17.05	28.06
13	BIVTI TESTIGO	32.03	25.04	33.02	29.07	27.11	16.3	18.9	23.32	24.54	29.55
14	BIVTII ENTEC	31.53	30.53	26.01	32.02	25.11	27.98	25.43	32.34	26.97	36.02
15	BIVTIII-NITRATO	26.11	28.42	27.98	24.5	30.12	28.12	23.24	25.08	23.07	25.07
16	BIVTIV-UREA	30.2	26.12	23.13	30.02	32.12	32.54	32.02	31.8	30.82	27.95

Tabla 35*Evaluación realizada de peso de raíz en (g)*

Nº DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE									
		PESO DE RAÍZ DE REPOLLO EN GRAMOS									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI- UREA	171	266	167	267	160	268	170	216	183	153
2	BITII -TESTIGO	111	177	105	143	126	103	155	150	168	132
3	BITIII- ENTEC	226	186	171	104	167	156	207	201	179	163
4	BITIV -NITRATO	193	187	133	151	182	251	268	157	268	156
5	BIITI-UREA	233	292	238	268	173	186	200	142	239	197
6	BIITII- TESTIGO	90	138	131	145	173	83	129	123	170	209
7	BIITIV-NITRATO	312	200	318	264	270	216	221	274	163	170
8	BIITIV- ENTEC	166	138	178	201	208	209	213	189	167	150
9	BIITI ENTEC	233	292	238	268	173	186	200	142	239	197
10	BIITIII NITRATO	250	256	267	234	160	189	194	187	328	341
11	BIII TIII UREA	313	275	234	305	324	146	342	260	278	304
12	BIITIV TESTIGO	193	187	156	337	209	167	165	156	157	370
13	BIVTI TESTIGO	123	205	209	205	204	189	120	134	184	224
14	BIVTII ENTEC	199	178	156	181	208	194	224	216	205	290
15	BIVTIII-NITRATO	220	236	198	167	186	234	217	260	134	203
16	BIVTIV-UREA	256	167	198	181	143	195	174	173	103	169

Tabla 36*Evaluación realizada de diámetro de raíz en (cm)*

Nº DE TRATAMIENTOS	CLAVE	BLOQUE									
		DIÁMETRO DE RAÍZ DE REPOLLO EN CENTIMETROS (cm)									
		NUMERO DE PLANTAS DE REPOLLO EVALUADAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BITI- UREA	3.1	3.8	2.9	3.8	3.1	4.5	4.6	4.2	3.15	3.13
2	BITII- TESTIGO	2.5	2.5	1.9	2.1	2.1	1.5	2.3	2.15	2.14	2.2
3	BITIII- ENTEC	3.9	4.2	3.7	3.5	3.5	4.1	4.3	4.1	3.9	3.6
4	BITIV -NITRATO	3.2	3.6	3.2	3.1	3.8	3.6	3.4	3.9	3.46	2.9
5	BITI -UREA	3.6	3.5	3.15	3.33	3.73	4.2	3.12	3.18	3.23	2.9
6	BITII- TESTIGO	2.1	2.9	2.3	2.4	2.5	2.3	2.9	2.7	3.05	2.8
7	BITIII-NITRATO	4.1	2.9	3.27	4.12	3.21	3.28	4.2	3.19	3.94	3.24
8	BITIV- ENTEC	3.2	3.32	3.61	3.42	3.15	3.21	3.92	3.12	2.89	3.61
9	BIIITI ENTEC	3.6	3.5	4.15	3.33	4.73	3.56	3.12	3.18	3.23	4.9
10	BIIITII NITRATO	4.52	3.96	3.98	3.59	4.12	3.21	2.9	3.89	3.84	4.11
11	BIII TIII UREA	3.2	2.98	2.78	3.15	2.86	3.4	3.4	3.9	3.18	3.8
12	BIIITIV TESTIGO	1.9	1.8	1.7	3.61	3.42	2.01	1.4	1.9	3.8	3.55
13	BIVTI TESTIGO	3.04	3.82	3.04	3.01	3.03	2.9	1.8	2.65	2.53	4.11
14	BIVTII ENTEC	3.81	3.987	4.11	3.21	2.32	3.54	3.9	4.01	3.73	4.1
15	BIVTIII-NITRATO	4.11	4.14	3.9	3.1	3.63	4.01	3.52	3.72	3.81	3.62
16	BIVTIV-UREA	2.51	2.42	2.11	2.84	2.9	2.83	2.54	3.73	2.19	2.67

Figura 39*Fotografía de la construcción del almácigo para la siembra de repollo*

Figura 40

Fotografía de la siembra en almácigo de repollo

**Figura 41**

Fotografía de las primeras semanas en almácigo

**Figura 42**

Fotografía del agoste antes del trasplante en campo definitivo



Figura 43

Fotografía del recojo muestra para análisis de suelo

**Figura 44**

Fotografía del riego por inundación antes del trasplante

**Figura 45**

Fotografía del trasplante a campo definitivo



Figura 46

Fotografía del riego por inundación después del trasplante

**Figura 47**

Fotografía de la primera fertilización

**Figura 48**

Fotografía del riego por inundación antes del trasplante



Figura 49

Fotografía del aporque del cultivo y segunda fertilización

**Figura 50**

Fotografía de las plantas de repollo después del riego

**Figura 51**

Fotografía del repollo en etapa de crecimiento formación de cabezas



Figura 52

Fotografía de la cosecha de las cabezas de repollo

**Figura 53**

Fotografía de la cosecha y comercialización

**Figura 54**

Fotografía de la comercialización del repollo



Figura 55*Fotografía de la comercialización de repollo***Figura 56***Informe de análisis de suelo*

SOLICITANTE : JOEL TACO ROMERO	ANÁLISIS N° : 809-018-2023			
PREDIO : JOEL TACO ROMERO	LUGAR : Cusco			
MATRIZ : BUELO AGRICOLA	FECHA DE RECEP. : 07/08/2023			
INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN CON MICRONUTRIENTES DISPONIBLES				
MUESTRA: SECTOR KAYRA - SAN JERÓNIMO - REPOLLO				
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	38.39	%		
Limo	29.99	%		
Arcilla	31.62	%	MES-201	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO ARCILOSO			
Carbonato de Calcio Total	3.65	%	MES-203	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.54	µS / m	MES-204	Electrométrico
pH (1:1) a Temp. 22.9 °C	7.68		MES-205	Electrométrico
Fósforo Disponible	11.89	ppm	MES-206	Císan
Materia Orgánica	1.72	%	MES-207	Walkley y Black
Potasio Disponible	164.00	ppm	MES-208	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante: As. Amonio
Cálcio	18.62	mEq / 100 g	MES-210	FAAS
Magnesio	0.83	mEq / 100 g	MES-211	FAAS
Sodio	0.25	mEq / 100 g	MES-212	FAAS
Potasio	0.42	mEq / 100 g	MES-213	FAAS
P.S.I	1.24	%	MES-215	Círculo Metemético
C.I.C.E	20.12	mEq / 100 g	MES-217	Círculo Metemético
Micronutrientes Disponibles				Extractante: DTPA
Cobre	2.32	ppm.	MES-218	FAAS
Zinc	0.95	ppm.	MES-219	FAAS
Manganoso	20.36	ppm.	MES-220	FAAS
Hierro	25.63	ppm.	MES-221	FAAS
Boro	0.35	ppm.	MES-222	Colorímetrico

Datos:
 E.S = Factor de Escalación
 (%): Razón Mass del Agua / Volumen del Agua.
 P.S.I = Porcentaje de Ácido Interstrial.
 C.I.C.E = Capacidad de Retención Catiónica Efectiva.

N. Urea / Urea
 ppm mg / kg
 MES = Muestra Propia del Laboratorio.
 FAAS = Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama.

NOTA:
 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO