

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



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens* L.)
CON DIFERENTES NIVELES DE GALLINAZA Y CENIZA DE
GALLINAZA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

Por:

Gaby Choque Quispe

EL ALTO – BOLIVIA

Octubre, 2025

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

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y RENDIMIENTO DEL
CULTIVO DE APIO (*Apium graveolens* L.) CON DIFERENTES NIVELES DE
GALLINAZA Y CENIZA DE GALLINAZA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE
KALLUTACA

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma*

Gaby Choque Quispe

Asesores:

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

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Walter Fernandez Molina

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

M. Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

Esta investigación se la dedico a Dios, fuente de fortaleza y guía en mi vida.

A las personas más importantes de mi existencia: mi querida madre Aurora Quispe Choque, y mis hermanos José L. Chura Q. y Marco A. Chura Q., por todo el esfuerzo realizado para sacarme adelante y permitirme llegar hasta donde hoy estoy. Sin su sacrificio no sería nada, y gracias al amor y a los sabios consejos que siempre me brindaron, hoy puedo cumplir este logro.

A una persona especial, mi tío Luis Huallpara, por alentarme con sus palabras en los momentos difíciles, siendo un pilar de motivación hasta la conclusión de este trabajo.

A mis amigos, por su compañía y apoyo incondicional en aquellas noches en las que permanecí trabajando en mis tareas.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por haberme guiado, fortalecido y permitido culminar mi carrera universitaria y este trabajo de investigación.

A mi querida madre Aurora Quispe Choque, y a toda mi familia, por su apoyo incondicional, su cariño y confianza depositada en mí durante mi formación profesional.

A la Universidad Pública de El Alto, en especial a la Carrera de Ingeniería Agronómica, al Centro Experimental Kallutaca y a la Sede San Pablo-Caranavi, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en sus aulas y predios, y por acogerme en la realización de mi investigación.

Al plantel docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica, quienes con sus conocimientos y enseñanzas contribuyeron de manera invaluable a mi formación profesional.

De manera especial, agradezco a mi asesor M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez, por su apoyo, paciencia y dedicación al guiarme en la estructuración y desarrollo de este trabajo de investigación, compartiendo sus valiosos conocimientos y experiencias.

Agradezco sinceramente a los miembros de mi tribunal, Lic. Ing. Walter Fernandez Molina, M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi y M. Sc. Lic. Ing. Pedro Mamani Mamani, por sus contribuciones, sugerencias y orientaciones que fueron fundamentales para el enriquecimiento y culminación de este trabajo.

Finalmente, a mis amigos, quienes me brindaron su amistad, compañía y apoyo constante, compartiendo momentos que permanecerán siempre en mi memoria.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Cultivo de apio	6
2.1.1. Origen del cultivo de apio	6
2.1.2. Importancia del cultivo de apio	7
2.1.3. Clasificación taxonómica	8
2.1.4. Variedad del cultivo de apio David RZ	9
2.1.5. Características agronómicas del cultivo de apio	9
2.1.5.1. Altura de la planta	10

2.1.5.2.	Pecíolo.....	10
2.1.5.3.	Hojas	11
2.1.6.	Requerimientos del cultivo.....	11
2.1.6.1.	Suelo	11
2.1.6.2.	Clima	11
2.1.6.3.	Riego	12
2.2.	Producción orgánica.....	12
2.3.	Abono orgánico	12
2.3.1.	Obtención de abono orgánico.....	13
2.3.2.	Tipos de abono orgánico	13
2.3.3.	Gallinaza como abono	14
2.3.3.1.	Beneficios agronómicos de la gallinaza.....	14
2.3.3.2.	Aporte nutrimental de la gallinaza	15
2.3.4.	Ceniza como abono orgánico	16
2.3.4.1.	Beneficios de la ceniza en la agricultura.....	16
2.3.4.2.	Ceniza de gallinaza	16
2.3.4.3.	Beneficios de la ceniza de gallinaza	17
2.3.4.4.	Aporte nutricional de la ceniza de gallinaza.....	17
2.4.	Rendimiento del cultivo de apio.....	18
2.4.1.	Rendimiento del cultivo de apio a nivel Mundial	18
2.4.2.	Rendimiento del cultivo de apio a nivel Bolivia	18
2.5.	Relación Beneficio/Costo	19
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Localización.....	21
3.1.1.	Ubicación geográfica	21
3.1.2.	Características edafoclimáticas	21

3.1.2.1.	Clima	21
3.1.2.2.	Suelo	22
3.1.2.3.	Topografía	22
3.1.2.4.	Flora	22
3.1.2.5.	Fauna	23
3.1.2.6.	Características de la carpa solar	23
3.2.	Materiales.....	24
3.2.1.	Material de estudio	24
3.2.1.1.	Material biológico.....	24
3.2.1.2.	Insumos.....	24
3.2.2.	Material e insumos de almacigo	24
3.2.3.	Material de escritorio	25
3.2.4.	Material de campo	25
3.3.	Método	26
3.3.1.	Desarrollo del ensayo	27
3.3.1.1.	Almacigo de la semilla	27
3.3.1.2.	Proceso productivo.....	30
3.3.1.2.1.	Análisis de suelo.....	30
3.3.1.2.2.	Análisis de abonos orgánicos	31
3.3.1.3.	Preparación de la superficie experimental.....	33
3.3.1.4.	Distribución de las unidades experimentales.....	34
3.3.1.5.	Distribución de abono orgánico	35
3.3.1.6.	Trasplante	36
3.3.1.7.	Riego	36
3.3.1.8.	Marbetado de muestras.....	37
3.3.1.9.	Deshierbe	38

3.3.1.10.	Deshije del cultivo.....	38
3.3.1.11.	Toma de datos de las muestras	39
3.3.1.12.	Cosecha del cultivo	40
3.3.2.	Diseño experimental	41
3.3.3.	Factores de estudio	41
3.3.3.1.	Formulación de tratamientos	42
3.3.4.	Croquis experimental.....	42
3.3.4.1.	Detalles del área experimental	42
3.3.5.	Variables de respuesta	43
3.3.5.1.	Altura de la planta (AP)	43
3.3.5.2.	Longitud de hoja (LH)	43
3.3.5.3.	Longitud del peciolo (LP).....	43
3.3.5.4.	Diámetro del peciolo (LP).....	43
3.3.5.5.	Número de hojas (NH).....	44
3.3.5.6.	Peso por planta (PP)	44
3.3.5.7.	Rendimiento en hoja verde (t/ha)	44
3.3.6.	Análisis estadístico	44
3.3.6.1.	Análisis de varianza.....	44
3.3.6.2.	Duncan	44
3.3.6.3.	Regresión lineal simple	45
3.3.6.4.	Regresión cuadrática.....	45
3.3.6.5.	Optimización de tratamientos	46
3.3.7.	Análisis económico	46
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1.	Temperatura.....	49
4.2.	Variables de respuesta.....	50

4.2.1.	Altura de planta (AP)	50
4.2.2.	Longitud de la hoja (LH)	53
4.2.3.	Longitud de peciolo (LP).....	56
4.2.4.	Diámetro de peciolo (DP)	58
4.2.5.	Número de hojas (NH).....	61
4.2.6.	Peso de la planta al corte (g).....	63
4.2.7.	Rendimiento del cultivo (t/ha)	66
4.3.	Análisis Económico	74
4.3.1.	Beneficio Bruto	74
4.3.2.	Beneficio Neto	74
4.4.	Verificación de la hipótesis	76
5.	CONCLUSIONES	77
6.	RECOMENDACIONES	78
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
8.	ANEXOS	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición nutricional del apio por cada 100 g.....	8
Cuadro 2.	Contenido nutrimental del estiércol comparado con la gallinaza	15
Cuadro 3.	Contenido nutrimental de la ceniza de gallinaza.....	17
Cuadro 4.	Resultados del análisis de suelo de la superficie experimental	31
Cuadro 5.	Resultados del análisis de gallinaza	32
Cuadro 6.	Resultados del análisis de la ceniza de gallinaza	32
Cuadro 7.	Análisis de Varianza para la altura de la planta (cm)	51
Cuadro 8.	Análisis de varianza para la longitud de la hoja (cm)	53
Cuadro 9.	Análisis de varianza para la longitud de peciolo (cm)	56
Cuadro 10.	Análisis de varianza para el diámetro del peciolo (cm)	59
Cuadro 11.	Análisis de varianza para el número de hojas	62
Cuadro 12.	Análisis de varianza para el peso de la planta (g).....	64
Cuadro 13.	Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo (t/ha)	66
Cuadro 14.	Análisis de ingreso bruto (Bs/ha)	74
Cuadro 15.	Análisis de ingreso neto.....	75
Cuadro 16.	Análisis de la relación beneficio costo (kg/ha)	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica del trabajo de investigación (IGM, 2005; Google Earth, 2025).....	21
Figura 2.	Caja almaciguera.....	27
Figura 3.	Preparación del sustrato para la siembra	28
Figura 4.	Nivelado del sustrato para la siembra.....	28
Figura 5.	Siembra de la semilla de apio en almacigo el 13 de julio de 2024	29
Figura 6.	Emergencia a dos semanas de la siembra	29
Figura 7.	Arado y desterronado del terreno	33
Figura 8.	Instalación de sistema de riego por goteo	33
Figura 9.	Distribución de las unidades experimentales.....	34
Figura 10.	Pesado de los niveles de gallinaza.....	35
Figura 11.	Pesado de los niveles de ceniza de gallinaza.....	35
Figura 12.	Trasplante del cultivo de apio en fecha 31 de agosto de 2024	36
Figura 13.	Disposición de riego al cultivo de apio durante la producción.....	37
Figura 14.	Selección de muestras por cada unidad experimental.....	37
Figura 15.	Control de malezas en la producción del cultivo durante la producción	38
Figura 16.	Deshije de mantenimiento del cultivo de apio	39
Figura 17.	Toma de datos de cada variable de respuesta durante la producción.	40
Figura 18.	Cosecha de las muestras de cada unidad experimental.....	40
Figura 19.	Temperatura máxima y mínima (°C) durante el periodo de evaluación.....	49
Figura 20.	Altura de la planta con los factores en comparación al testigo	51
Figura 21.	Altura de la planta con los niveles de abono.....	52
Figura 22.	Longitud de la hoja con los factores en comparación al testigo	54
Figura 23.	Longitud de la hoja con los niveles de abono	55
Figura 24.	Longitud de peciolo con los factores en comparación al testigo	57

Figura 25.	Longitud de peciolo con los niveles de abono.	57
Figura 26.	Diámetro del peciolo con los factores en comparación al testigo.....	59
Figura 27.	Diámetro de peciolo con los niveles de abono.....	60
Figura 28.	Número de hojas/planta con los factores en comparación al testigo	62
Figura 29.	Peso de la planta (g) con los niveles de abono	64
Figura 30.	Peso de la planta (g) con los tipos de abono	65
Figura 31.	Rendimiento del cultivo (t/ha) con los niveles de abono.	67
Figura 32.	Rendimiento del cultivo (t/ha) con los tipos de abono	68
Figura 33.	Interacción de tratamientos en el rendimiento del cultivo (t/ha)	69
Figura 34.	Análisis de Regresión de gallinaza en el rendimiento (t/ha).....	70
Figura 35.	Análisis de Regresión para niveles de ceniza en el rendimiento (t/ha)	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis Experimental de la investigación.	86
Anexo 2.	Rendimiento promedio del cultivo de apio en comparación a otros países (FAO,2025).....	87
Anexo 3.	Semilla de apio variedad David RZ.....	87
Anexo 4.	Emergencia de las plántulas de apio a la tercera semana de siembra	88
Anexo 5.	Crecimiento de las plántulas de apio al mes y medio de la siembra	88
Anexo 6.	Cubierta del almacigo de factores abióticos	89
Anexo 7.	Muestreo de suelo	89
Anexo 8.	Muestra de la gallinaza y ceniza de gallinaza.....	90
Anexo 9.	Aplicación de materia orgánica en la superficie experimental.....	90
Anexo 10.	Nivelado y desterronado del terreno	91
Anexo 11.	Distribución de las unidades experimentales según el croquis	91
Anexo 12.	Pesado de los niveles de gallinaza	92
Anexo 13.	Pesado de los niveles de la ceniza de gallinaza	93
Anexo 14.	Trasplante del cultivo de apio	94
Anexo 15.	Mantenimiento de deshierbe durante la producción	94
Anexo 16.	Mantenimiento de poda durante la producción	95
Anexo 17.	Toma de datos de las variables de respuesta	95
Anexo 18.	Materiales necesarios para el proceso de cosecha del cultivo	96
Anexo 19.	Cosecha de las muestras etiquetadas de cada Unidad Experimental	96
Anexo 20.	Medición del cuello de la planta de las muestras en la cosecha	97
Anexo 21.	Medición de la altura de planta de las muestras en la cosecha	97
Anexo 22.	Pesaje de cada una de las muestras etiquetadas.....	98
Anexo 23.	Lavado de las plantas para el empaquetado	98
Anexo 24.	Oreado después de la limpieza en agua.....	99

Anexo 25.	Pesaje para el empaquetado de 1200 a 1500 g/ bolsa	99
Anexo 26.	Empaquetado del cultivo en bolsas	100
Anexo 27.	Empaquetado de toda la cosecha para la venta	100
Anexo 28.	Sellado de cada una de las bolsas pesadas.....	101
Anexo 29.	Fotografías de la producción del cultivo.....	101
Anexo 30.	Identificación de la investigación mediante el colocado de banner	102
Anexo 31.	Cosecha total del Bloque I	102
Anexo 32.	Cosecha total del Bloque II	103
Anexo 33.	Cosecha total del Bloque III	103
Anexo 34.	Análisis económico para el testigo.....	104
Anexo 35.	Análisis económico para el tratamiento T2 (5 g/p de gallinaza)	105
Anexo 36.	Análisis económico para el tratamiento T1 (5 g/p de ceniza de gallinaza).....	106
Anexo 37.	Análisis económico para el tratamiento T3 (10 g/p de gallinaza)	107
Anexo 38.	Análisis económico para el tratamiento T4 (10 g/p de ceniza de gallinaza) 108	
Anexo 39.	Análisis económico para el tratamiento T5 (15 g/p de gallinaza)	109
Anexo 40.	Análisis económico para el tratamiento T6 (15 g/p de Ceniza de gallinaza) 110	
Anexo 41.	Análisis económico del cultivo expresado en (kg/m ²)	111
Anexo 42.	Variables de respuesta del cultivo	111
Anexo 43.	Datos de la variable rendimiento en diferentes unidades	112

ABREVIATURAS

t	Tonelada
cm	Centímetro
ha	Hectárea
g	Gramo
p	Planta
m ²	Metro cuadrado
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro

RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con diferentes niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza en la Estación Experimental de Kallutaca”, el cual se desarrolló con el objetivo de determinar el efecto de dos abonos orgánicos locales sobre el crecimiento, la productividad y la rentabilidad del cultivo en condiciones edafoclimáticas del altiplano Boliviano. El estudio respondió a la necesidad de mejorar la fertilidad de suelos pobres en nutrientes, optimizar el manejo de subproductos pecuarios y proponer alternativas sostenibles frente al uso de fertilizantes químicos. El método de investigación empleado fue de tipo aplicativo, con enfoque cuantitativo, empleando técnicas de observación directa y toma de datos en el sitio, utilizando como instrumento una guía de observación estructurada basada en las variables de respuesta, y un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de parcelas divididas; considerando tratamientos de 0, 5, 10 y 15 g/planta de gallinaza y ceniza de gallinaza. Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, longitud y diámetro de pecíolo, longitud de hoja, número de hojas, peso fresco por planta y rendimiento por hectárea. Asimismo, se realizó un análisis químico de suelos y abonos, además de un análisis económico mediante la relación beneficio/costo (B/C). Los resultados mostraron que la gallinaza presentó una mayor efectividad agronómica, alcanzando promedios de 61,3 cm de altura y 698,61 g de peso fresco por planta en la dosis de 15 g/planta. Por su parte, la ceniza de gallinaza también favoreció el desarrollo del cultivo gracias a su alto aporte de fósforo, potasio y calcio, aunque presentó limitaciones asociadas a su alta salinidad (11,08 dS/m) y pH alcalino (11,25). En términos de rendimiento, los valores más altos se obtuvieron con la ceniza (50,58 t/ha) y con la gallinaza (45,54 t/ha), mientras que el testigo registró 39,87 t/ha, confirmando el efecto positivo de la fertilización orgánica. El análisis de regresión destacó que en el caso de la ceniza el rendimiento óptimo teórico se estimó en 58,09 t/ha con una dosis proyectada de 24,45 g/planta. El análisis económico reveló que todos los tratamientos resultaron rentables, al presentar relaciones $B/C > 1$. Los valores más altos se obtuvieron en los niveles de 15 g/planta de gallinaza y ceniza, con una relación B/C de 1,71, lo cual demuestra la factibilidad de su uso como insumos agrícolas de bajo costo y fácil acceso para los productores. En conclusión, el uso de gallinaza y ceniza de gallinaza mejoró significativamente las propiedades químicas del suelo y el desarrollo del apio, incrementando la productividad y rentabilidad en comparación con el testigo sin abonamiento.

ABSTRACT

The present research, entitled “Evaluation of the Agronomic Performance and Yield of Celery (*Apium graveolens* L.) with Different Levels of Poultry Manure and Poultry Manure Ash at the Kallutaca Experimental Station,” was carried out with the objective of determining the effect of two local organic fertilizers on the growth, productivity, and profitability of the crop under the edaphoclimatic conditions of the Bolivian highlands. The study addressed the need to improve the fertility of nutrient-poor soils, optimize the management of livestock by-products, and propose sustainable alternatives to the use of chemical fertilizers. The research method was applied in nature, with a quantitative approach, employing techniques of direct observation and on-site data collection. A structured observation guide based on response variables was used as an instrument, and a Randomized Complete Block Design (RCBD) with a split-plot factorial arrangement was implemented. The treatments consisted of 0, 5, 10, and 15 g/plant of poultry manure and poultry manure ash. Agronomic variables evaluated included plant height, petiole length and diameter, leaf length, number of leaves, fresh weight per plant, and yield per hectare. Additionally, a chemical analysis of the soil and fertilizers was performed, along with an economic analysis using the benefit/cost ratio (B/C). The results showed that poultry manure exhibited higher agronomic effectiveness, achieving averages of 61.3 cm in plant height and 698.61 g of fresh weight per plant at a dose of 15 g/plant. In turn, poultry manure ash also promoted crop development due to its high content of phosphorus, potassium, and calcium, although it presented limitations associated with its high salinity (11.08 dS/m) and alkaline pH (11.25). In terms of yield, the highest values were obtained with the ash treatment (50.58 t/ha) and the poultry manure treatment (45.54 t/ha), while the control recorded 39.87 t/ha, confirming the positive effect of organic fertilization. Regression analysis indicated that, for the ash treatment, the theoretical optimal yield was estimated at 58.09 t/ha, with a projected dose of 24.45 g/plant. The economic analysis revealed that all treatments were profitable, with B/C ratios greater than 1. The highest values were obtained at 15 g/plant of both poultry manure and ash, with a B/C ratio of 1.71, demonstrating the feasibility of their use as low-cost, easily accessible agricultural inputs for local producers. In conclusion, the application of poultry manure and poultry manure ash significantly improved the soil's chemical properties and the growth and productivity of celery, thereby increasing yield and profitability compared to the unfertilized control treatment.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la población en Bolivia genera una mayor demanda de alimentos y otros recursos. Para enfrentar este reto, es esencial implementar sistemas de agricultura intensiva en áreas pequeñas, como invernaderos. Estas estrategias facilitan la producción de una mayor variedad y volumen de hortalizas en espacios reducidos, sin comprometer las condiciones necesarias para el crecimiento saludable de las plantas, contribuyendo así a satisfacer la creciente demanda de productos agrícolas.

El uso de fertilizantes orgánicos ha ganado relevancia debido a sus beneficios tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Esta práctica impulsa sistemas agrícolas sostenibles que mejoran la fertilidad del suelo y optimizan la producción de cultivos, al mismo tiempo que evitan la dependencia de productos químicos sintéticos.

Entre los cultivos hortícolas con mayor potencial para ser desarrollados en sistemas intensivos destaca el apio, una hortaliza baja en calorías y rica en nutrientes esenciales, el cual aporta proteínas, carbohidratos y vitaminas del complejo B, como la B2 y B6, además de vitaminas C, K y minerales como calcio, hierro, magnesio, junto con antioxidantes como polifenoles y carotenos. En algunos casos el tallo tierno y la hoja son utilizados en ensaladas crudas incluso como alimento para ganado (López, 2023).

Desde el punto de vista medicinal el apio es rico en compuestos bioactivos como flavonoides y antioxidantes, que promueven la relajación de los vasos sanguíneos y ayudan a reducir la presión arterial, beneficiando la salud cardiovascular. Además, sus propiedades antiinflamatorias alivian dolencias articulares como la artritis. El consumo regular de apio también contribuye a disminuir los niveles de azúcar en sangre y puede ser útil en el manejo del hígado graso no alcohólico (Perez, 2019).

Según la FAO (2002) la agricultura orgánica se define como un sistema de producción que busca aprovechar al máximo los recursos disponibles en la finca, haciendo hincapié en la fertilidad del suelo y en la actividad biológica. Este enfoque también tiene como objetivo reducir al mínimo el uso de recursos no renovables y evitar el empleo de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, con el fin de proteger tanto el medio ambiente como la salud humana.

Actualmente, la agricultura integra tanto prácticas orgánicas como convencionales. En este contexto, la fertilización química juega un papel importante, ya que sus componentes

permiten mejorar el rendimiento al reponer rápidamente los nutrientes que las plantas absorben. Sin embargo, el uso inadecuado y excesivo de estos fertilizantes puede dañar la estructura del suelo y disminuir la actividad microbiana (Ochoa, 2019).

En los últimos años, se ha vuelto cada vez más importante disminuir el uso de productos químicos en la agricultura menciona que esta necesidad ha motivado la búsqueda de opciones más seguras y sostenibles. De forma complementaria destaca que la aplicación de biotecnología y bioinsumos representa una alternativa viable, ya que permite avanzar gradualmente hacia una agricultura libre de químicos, mejorando la calidad del suelo y fomentando la biodiversidad (Huanca, 2024).

La gallinaza se presenta como una opción orgánica eficaz frente al uso de fertilizantes químicos, ya que aporta una considerable cantidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, su aplicación mejora la estructura del suelo y promueve la actividad microbiana, lo que favorece el desarrollo de una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Montesinos, 2022).

1.1. Antecedentes

En su investigación Jaramillo (2019) estudió el efecto de diferentes dosis de gallinaza (30, 40, 50 y 60 t/ha) sobre el comportamiento agronómico y el rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) en Iquitos, Perú. La evaluación se realizó al momento de la cosecha, cinco meses después de la siembra. Los resultados indicaron que el tratamiento T4, con la aplicación de 60 t/ha de gallinaza, obtuvo el mayor rendimiento del ensayo, alcanzando una producción de 26,067 kg/ha.

Quispe (2020) evaluó diferentes dosis de gallinaza (3, 6 y 9 t/ha) combinadas con fertilización química en dos variedades de apio, Golden Selfblanching y Perseo, en Canaán – Ayacucho. Los resultados mostraron que la variedad Perseo alcanzó su mayor rendimiento con 9 t/ha, logrando 114.07 t/ha, mientras que el uso de fertilizantes químicos también favoreció el desarrollo de ambas variedades.

De manera similar Nuñez (2020) llevó a cabo un estudio en Zungarococha, distrito de San Juan Bautista; Loreto, en el que evaluó el efecto del abonamiento de gallinaza y ceniza de madera en el cultivo de apio (*Apium graveolens*). El experimento incluyó tres tratamientos: 4t/ha de ceniza de madera, 66t/ha de gallinaza por hectárea y una combinación de ambos.

Los resultados indicaron que el uso exclusivo de ceniza de madera favoreció el aumento en la altura de las plantas y en el número de pecíolos, mientras que la gallinaza por sí sola contribuyó a un mayor diámetro del tallo y a una mayor longitud de la raíz.

Mediante la aplicación directa de gallinaza en cultivos hortícolas en diversas investigaciones del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Perú han evidenciado que la ceniza de gallinaza puede aportar hasta el 80% del nitrógeno y fósforo presentes en los fertilizantes minerales tradicionales, mostrando una eficacia similar en la producción de biomasa vegetal. Además, su uso no representa un riesgo considerable en cuanto a la acumulación de metales pesados en el suelo, lo que la posiciona como una alternativa segura y sostenible dentro de la agricultura moderna (Delgado *et al.*, 2013).

Layme (2005) desarrolló un estudio sobre el uso de gallinaza diluida como fertilizante en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en ambientes protegidos en la localidad de Achocalla. En su investigación, aplicó cuatro concentraciones distintas de gallinaza disuelta en agua: 1 kg en 5 litros, 10 litros, 15 litros y 20 litros. Los resultados demostraron que el tratamiento T2, correspondiente a la variedad Tropic con una dilución de 1 kg de gallinaza en 10 litros de agua, fue el más productivo, con un rendimiento de 2249,25 kg por cada 200 m². En cambio, el tratamiento con la menor concentración de gallinaza (1 kg en 20 litros de agua) mostró un rendimiento significativamente más bajo, alcanzando solo 1149,75 kg en la misma superficie.

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente, el cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) enfrenta dificultades relacionadas con la baja productividad, principalmente debido a la baja fertilidad de los suelos en el altiplano y la disponibilidad de insumos económicos y sostenibles. Esta situación genera pérdidas económicas significativas para los productores. Por ello, aún se requiere mayor información sobre el uso de abonos orgánicos como la gallinaza y su ceniza, con el objetivo de mejorar el rendimiento en la producción de hortalizas en la región.

A lo largo del tiempo el cultivo de apio ha generado importancia por su alto valor nutricional y la demanda que presenta en el mercado, posicionándose como un cultivo relevante desde el punto de vista agronómico. Sin embargo, su rendimiento tanto en cantidad como en calidad se ve afectada por diversos factores, entre ellos la falta de fertilización del suelo y el escaso aprovechamiento de los diferentes abonos orgánicos disponibles en nuestro

entorno. Por tal razón, es fundamental encontrar alternativas que permitan mejorar la productividad, elevar la calidad del producto y generar oportunidades económicas para los agricultores del altiplano boliviano.

En caso de no desarrollarse investigaciones que evalúen alternativas sostenibles de abonamiento, los productores continuarán enfrentando limitaciones en los rendimientos y dependerán de insumos procesados de alto costo, afectando la rentabilidad de la producción. Además, se desaprovecharán subproductos orgánicos como la gallinaza y su ceniza, que en muchos casos generan problemas de manejo ambiental al no ser reutilizados de manera adecuada. Esto implicaría no solo un menor aprovechamiento de los recursos locales, sino también la pérdida de oportunidades para avanzar hacia sistemas agrícolas más resilientes, económicos y sostenibles.

1.3. Justificación

Hoy en día, uno de los principales retos de la agricultura es aumentar la productividad de los cultivos sin comprometer la sostenibilidad ambiental. En este sentido, el uso de abonos orgánicos, como la gallinaza y la ceniza derivada de ella, surge como una opción efectiva, siendo de fácil acceso en nuestro entorno. Estos insumos permiten enriquecer el suelo de forma natural, favoreciendo el desarrollo de las plantas y ofreciendo una alternativa ecológica frente a los fertilizantes químicos tradicionales.

Por tal motivo, surge la necesidad de investigar la aplicación de diferentes niveles de gallinaza y su ceniza en el cultivo de apio, con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo. Este abono orgánico se caracteriza por su alto valor nutricional, aportando nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), fundamentales para el desarrollo de hortalizas de hoja y tallo. La gallinaza, además de enriquecer la disponibilidad de nutrientes, contribuye a mejorar la estructura del suelo, incrementar la retención de agua, favorecer la actividad biológica y fortalecer la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas.

La investigación de gallinaza y su ceniza en el apio tiene como propósito principal mejorar la productividad del cultivo, incrementando los rendimientos tanto en cantidad como en calidad. Asimismo, se busca generar hortalizas de mayor competitividad en el mercado, capaces de responder a las exigencias actuales de los consumidores y de contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible y responsable con el medio ambiente.

Asimismo, la productividad del cultivo de apio con abonamiento orgánico busca determinar las dosis adecuadas de gallinaza y su ceniza que contribuyan a optimizar la producción, promover prácticas agrícolas sostenibles, reducir los costos de cultivo y generar oportunidades económicas para los productores del altiplano. De igual manera, la generación de conocimientos sobre el comportamiento del cultivo bajo las condiciones agroecológicas de esta región resultará de gran utilidad para futuras investigaciones y para el fortalecimiento de programas de apoyo al sector agrícola. Con este propósito, se plantea realizar el estudio titulado: “Evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con diferentes niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza en la Estación Experimental de Kallutaca.”

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza en la Estación Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características agronómicas del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con diferentes dosis de gallinaza y ceniza de gallinaza.
- Comparar el rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con la aplicación de dosis de gallinaza y ceniza de gallinaza.
- Determinar la relación B/C de la producción del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con diferentes dosis de gallinaza y ceniza de gallinaza.

1.5. Hipótesis

- **Ha:** El comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza presentan diferencias significativas.
- **Ho:** El comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) con niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza no presentan diferencias significativas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo de apio

El apio es un cultivo hortícola de gran relevancia en la agricultura moderna debido a su demanda creciente en la alimentación saludable y su potencial económico para los productores.

El apio (*Apium graveolens* L.) es una planta hortícola perteneciente a la familia Apiaceae, cultivada principalmente por sus hojas y tallos, que son comestibles y contienen importantes nutrientes como fibra, vitaminas. Gracias a su elevado contenido de agua y efectos diuréticos, es muy consumido en dietas saludables. Además, destaca por su adaptabilidad a diversos métodos de producción, incluyendo sistemas hidropónicos (Intagri, 2024).

2.1.1. Origen del cultivo de apio

El apio es una hortaliza apreciada por sus propiedades nutritivas y medicinales, cuyo cultivo ha evolucionado desde usos ceremoniales en la antigüedad hasta formar parte de la alimentación moderna, destacando por su adaptabilidad a distintos métodos de producción y sus beneficios para la salud.

El apio (*Apium graveolens* L.) es una planta herbácea originaria de zonas húmedas del Mediterráneo y del Medio Oriente. Inicialmente, esta hortaliza fue utilizada con fines medicinales y en rituales por antiguas culturas como la egipcia, griega y romana, mientras que el apio con peciolo grandes, carnosos, succulentos y erguidos se desarrolló a finales del siglo XVIII. En consecuencia, el apio ha evolucionado de un uso medicinal y ceremonial a convertirse en una hortaliza ampliamente cultivada por sus peciolo carnosos y su valor alimenticio (Pant, 2025).

Según Calle (2023) el cultivo de apio fue empleado desde el año 1000 a.C. en actividades ceremoniales y medicinales, utilizándose en rituales religiosos y deportivos, como parte de coronas y trofeos. No fue hasta 1623 que en Francia comenzó a utilizarse como condimento, y recién en 1686 empezó a consumirse fresco. Esta hortaliza destaca por sus propiedades culinarias, nutricionales y nutraceuticas.

Según Zohary y Hopf (2010) encontraron hojas e inflorescencias de apio entre las guiraldas en la tumba del faraón Tutankamón. Sin embargo, debido a que el *Apium*

graveolens crece de forma silvestre en esa zona, no es posible confirmar si los restos pertenecían a plantas domesticadas o silvestres. Lo que sí se conoce con certeza es que el cultivo del apio comenzó durante la época clásica.

2.1.2. Importancia del cultivo de apio

El cultivo de apio es de gran relevancia por su valor nutritivo y sus efectos beneficiosos para la salud. Esta hortaliza aporta vitaminas, minerales y compuestos naturales que favorecen el buen funcionamiento del organismo, además de ser ligera y refrescante.

Palou (2017) señala que el apio es una planta que ofrece beneficios para el organismo, ya que resulta nutritiva y ayuda a la recuperación del cuerpo. Su jugo puede ser consumido en forma líquida para aliviar inflamaciones en las articulaciones y el sistema urinario, como en casos de artritis reumatoide, cistitis o uretritis, especialmente en personas con debilidad física o agotamiento nervioso. Además, su raíz tiene propiedades diuréticas y ha sido utilizada como tratamiento natural para eliminar cálculos en las vías urinarias. En el ámbito de la alimentación, el apio continúa siendo importante por su alto contenido de fibra y bajo nivel calórico, lo que lo hace ideal para mantener una dieta saludable.

El apio es una hortaliza valorada por su aporte nutricional y sus efectos positivos en la salud. Contiene diversas vitaminas, como la A, C, K y del complejo B, así como minerales esenciales como el calcio, magnesio y potasio. Además, posee antioxidantes y sustancias bioactivas que le otorgan cualidades antiinflamatorias. La tabla nutricional del apio incluye la presencia de vitaminas esenciales como la A, B1, B2 y C (CuídatePlus, 2018).

El apio, que en sus inicios fue utilizado con fines medicinales, se ha convertido en un ingrediente habitual en la gastronomía a nivel mundial. Sus tallos contienen una alta concentración de celulosa, un tipo de carbohidrato complejo que forma parte de las paredes celulares de las plantas y las hojas, son frecuentemente utilizadas en la elaboración de sopas, ensaladas y otros platillos, que contribuyen tanto al valor nutricional (Cervoni, 2024).

Según Joan (2022) el apio presenta una amplia variedad de componentes nutricionales, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutricional del apio por cada 100 g

Elemento	Cantidad
Valor energético	14 kcal
Agua	90-96%
Proteínas	0.69 g
Lípidos	0.1-0.5%
Grasas	0.17 g
Hidratos de carbono	2.3 g
Fibra	1.6 g
Potasio	260 mg
Calcio	40 mg
Magnesio	12 mg
Sodio	80 mg
Fósforo	24 mg
Vitamina A	22 mcg
Vitamina K	29 mcg
Vitamina C	3.1 mg
Vitamina B3	0.32 mg

Fuente: Joan (2022)

2.1.3. Clasificación taxonómica

Según Paniaga *et al.* (2020) el apio forma parte de la familia botánica Umbelliferaceae. Dentro de esta especie, se identifican dos variedades principales: *Apium graveolens* var. *dulce*, que es la más cultivada por sus tallos comestibles, y *Apium graveolens* var. *rapaceum*, conocida comúnmente como apio nabo, cultivada por su raíz engrosada de uso culinario.

La clasificación taxonómica del cultivo de apio según Royal Botanic Gardens (2023), es la siguiente:

Reino: Plantae
 Filo: Streptophyta
 Clase: Equisetopsida
 Subclase: Magnoliidae
 Orden: Apiales
 Familia: Apiaceae
 Género: *Apium*
 Especie: *Apium graveolens* L.
 Variedad: David RZ

2.1.4. Variedad del cultivo de apio David RZ

La variedad de apio David RZ se caracteriza por su tonalidad verde oscura, siendo apta tanto para el procesamiento industrial como para su comercialización en fresco. Esta planta presenta un porte erguido y se distingue por su buena estabilidad en campo, ya que mantiene sus tallos y hojas en buen estado durante un tiempo prolongado, sin presentar deformaciones notables (Zwaan, 2021).

La variedad de apio David RZ pertenece al tipo Utah, reconocida por su precocidad y uniformidad en el desarrollo. Presenta un color verde oscuro intenso, con un crecimiento vigoroso y de porte erguido. Su estructura basal es compacta y cerrada, con baja tendencia a formar brotes laterales. Además, posee entrenudos largos y una destacada resistencia al ahuecado y a problemas fisiológicos como el corazón negro. Esta variedad también muestra tolerancia frente a enfermedades foliares, como la mancha por septoria, y a la floración anticipada. Se valora por su textura crujiente, buen sabor y facilidad de cosecha y empaque, lo que la hace adecuada tanto para consumo en fresco como para la industria (Sartenejas, 2018).

2.1.5. Características agronómicas del cultivo de apio

El cultivo de apio presenta una serie de características agronómicas que resultan esenciales para comprender su desarrollo y manejo en campo. Estas particularidades permiten identificar su comportamiento fisiológico, sus requerimientos de crecimiento y los factores que influyen en su rendimiento y calidad.

Según Blogger (2013) el apio común es una planta de ciclo bienal, lo que significa completa su desarrollo en dos años. Presenta tallos estriados, hojas de tipo pinnado y una raíz principal profunda denominada pivotante. Las flores se disponen en estructuras llamadas umbela, y el fruto que produce se conoce como esquizocarpo, el cual se divide en dos partes al madurar. Cabe mencionar que la raíz puede sufrir daños durante el trasplante, lo que influye en la formación de un sistema radicular profundo que puede alcanzar entre 60 y 70 centímetros. Durante el primer año, la planta desarrolla una roseta de hojas, que es la parte que se consume comúnmente.

A continuación, se describen las características agronómicas de interés que serán evaluadas durante el desarrollo de la investigación:

2.1.5.1. Altura de la planta

El apio (*Apium graveolens* L.) es una hortaliza cuyo porte puede oscilar entre los 30 y 70 centímetros de altura, en función de la variedad cultivada y de las condiciones agronómicas bajo las cuales se desarrolla (Calle, 2023).

La altura del apio puede variar según la variedad genética, las condiciones de cultivo y con el tipo de abonamiento o fertilización que se le proporcione. En términos generales, las plantas alcanzan una altura promedio de entre 30 y 60 centímetros. No obstante, cuando se cultivan en condiciones óptimas y con ciertas variedades mejoradas, es posible que algunas plantas lleguen a desarrollar tallos de hasta 75 centímetros de altura (Giraldo, 2022). La variedad David RZ puede alcanzar una altura hasta 70 cm en óptimas condiciones (Zwaan, 2025).

2.1.5.2. Pecíolo

Los pecíolos del cultivo de apio presentan una coloración que va desde el blanco hasta un verde intenso, y se caracterizan por estar ensanchados en la base, sus dimensiones son variables en las hojas más externas, suelen medir entre 30 y 50 centímetros de longitud y entre 2 y 5 centímetros de ancho, mientras que en los primordios foliares que rodean la yema apical, estas estructuras se reducen considerablemente hasta volverse casi imperceptibles, estos pecíolos son glabros, con una superficie abaxial cóncava y una superficie adaxial convexa, ambas marcadas por estrías longitudinales que la textura carnosa, jugosa y crujiente del tallo se debe a la alta concentración de células parenquimáticas, las cuales presentan amplios espacios intercelulares en la región cortical; en esta zona se alojan los haces vasculares, que están rodeados por colénquima angular pues estas estructuras recorren todo el pecíolo y dan origen a las denominadas “fibras” que se desprenden al pelar el apio (Choque, 2021).

Los pecíolos cumplen funciones de soporte y transporte, al conectar las hojas con el tallo, estos pecíolos presentan un notable engrosamiento, adoptando formas alargadas, erectas, semicirculares o aplanadas, caracterizadas por una textura crujiente, además cuenta con un alto contenido de agua, cerca al 95%, lo cual favorece su efecto diurético y contribuye a que su valor calórico sea reducido (Huerto urbano, 2019).

2.1.5.3. Hojas

Las hojas del apio son de tipo compuesto y se disponen de forma alterna a lo largo del tallo, su lámina foliar presenta una división pinnada a bipinnada, lo que implica que los folíolos están subdivididos en segmentos menores otorgándoles un aspecto plumoso; los folíolos de la hoja suelen tener una forma que varía entre romboidal y ovada, con márgenes dentados con una textura delgada y membranosa. El mismo autor menciona que el tamaño de las hojas oscila entre los 7 y 18 cm de longitud y entre los 3,5 y 8 cm de ancho variando según la variedad cultivada y las condiciones ambientales (AgroEs, 2025).

El color de las hojas va desde el verde claro hasta el verde oscuro, siendo las hojas más jóvenes ubicadas en el centro de la planta de un tono más claro; pues cada hoja se une al tallo por medio de un pecíolo carnoso y estriado, el cual está altamente desarrollado y constituye la parte comestible de mayor valor (Infoagro, 2023).

2.1.6. Requerimientos del cultivo

2.1.6.1. Suelo

El cultivo de apio no presenta altas exigencias en cuanto a las características del suelo, siempre que éste no mantenga condiciones excesivas de humedad. Sin embargo, para optimizar su desarrollo, es recomendable emplear suelos ligeros, ricos en materia orgánica y con un pH en el rango de 6,5 a 8,5. Además, el apio requiere un suministro constante de agua para mantener la humedad del suelo, lo que favorece la formación de tallos crujientes y de buena calidad (Carrillo, 2022).

2.1.6.2. Clima

Las temperaturas medias óptimas para el cultivo de apio deben oscilar entre 15 y 18 °C, lo que lo clasifica como un cultivo apto para climas fríos y templados. No obstante, el apio puede tolerar temperaturas superiores a los 33 °C, aunque su desarrollo y calidad pueden verse afectados cuando se supera este rango, lo cual también depende del manejo del cultivo (Machaca, 2007).

2.1.6.3. Riego

Debido a las condiciones de su ambiente de origen, el apio requiere un suministro abundante de agua, especialmente durante los períodos de altas temperaturas y al final del ciclo de cultivo. La disponibilidad constante de humedad es esencial para garantizar un desarrollo óptimo. Según estudios recientes, el apio necesita entre 20 y 40 mm de agua por semana, dependiendo de las características del suelo y las condiciones climáticas locales. Además, se recomienda aplicar aproximadamente 2.5 a 5 cm³ de agua por semana, ya sea mediante riego manual o por goteo, para asegurar un crecimiento saludable y una cosecha de calidad (Mamani, 2018).

2.2. Producción orgánica

La producción orgánica es un enfoque integral para gestionar actividades agropecuarias de forma sostenible. Su objetivo principal es cuidar la salud de los ecosistemas completos favoreciendo la fertilidad natural del suelo y promoviendo la biodiversidad todo ello evitando la dependencia de insumos químicos y sintéticos (FAO, 2002).

2.3. Abono orgánico

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define el abono orgánico como un fertilizante con alto contenido de carbono, obtenido a partir de materiales orgánicos ya sea tratado o sin tratar (Agrovoc, 2024).

El abono orgánico se refiere a materiales derivados de fuentes animales o vegetales que aportan uno o varios nutrientes esenciales para las plantas, estos compuestos suelen ser de absorción lenta lo que favorece una liberación gradual de nutrientes y además contribuyen al sostenimiento de la actividad microbiana en el suelo. Los abonos orgánicos mejoran la calidad del suelo promueven la sostenibilidad y requieren menos energía si se producen localmente, aunque algunos como el guano importado pueden generar altos costos energéticos por transporte (AEFA, 2012).

Los fertilizantes orgánicos incorporan diversos microorganismos que cumplen una función esencial en la mejora de la fertilidad del suelo. Estos organismos microbianos participan en la producción de compuestos promotores del crecimiento vegetal y en la liberación de nutrientes clave como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) (Aguirre, 2011).

2.3.1. Obtención de abono orgánico

En Bolivia, comunidades como Sanani y Vallegrande han implementado proyectos innovadores de producción de abono orgánico con enfoque sostenible, reduciendo el uso de químicos promoviendo el reciclaje y la conservación del suelo con el uso de diversos materiales como estiércol de distintas especies animales (conocido también como guano, taquia, gallinaza o bosta), humus, compost, abono verde y algas (Latino, 2014).

Según MAGA (2025) el abono orgánico se genera a partir del proceso de descomposición de materiales orgánicos, tales como estiércol, residuos agrícolas y restos de alimentos. Este proceso da lugar a un fertilizante natural que suministra nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas.

2.3.2. Tipos de abono orgánico

González (2024), menciona que entre los tipos de abonos orgánicos se encuentran tanto, sólidos, líquidos, preparados e incluso cenizas entre estos están:

- **Estiércol animal:** Derivado de los excrementos de animales, es una fuente rica en nitrógeno, fósforo y potasio.
- **Compost:** Se obtiene mediante la descomposición controlada de residuos orgánicos tales como restos de alimentos, hojas secas y estiércol. Su uso mejora la estructura del suelo incrementa la retención de humedad y libera nutrientes de manera progresiva.
- **Vermicompost o humus de lombriz:** Producido a través de la digestión de materia orgánica por lombrices, este abono destaca por su alto contenido en nutrientes, microorganismos benéficos y reguladores naturales del crecimiento vegetal.
- **Abonos verdes:** Constituidos por cultivos específicos generalmente leguminosas que se siembran y posteriormente se incorporan al suelo. Enriquecen la materia orgánica y el contenido de nitrógeno.
- **Bocashi:** Se produce mediante la mezcla de residuos orgánicos y microorganismos beneficiosos. Su fermentación es más rápida que la del compost tradicional y mejora significativamente la biodiversidad microbiana del suelo.
- **Abono biól:** Fertilizante líquido elaborado mediante la fermentación de estiércoles con otros ingredientes orgánicos como melaza y levaduras. Además de aportar nutrientes que posee propiedades plaguicidas naturales.

- **Biofertilizantes:** Formulados a partir de microorganismos vivos que al aplicarse estimulan el crecimiento vegetal al aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales.

Por otro lado Experts (2024) presenta los siguientes abonos orgánicos:

- **Harina de huesos:** Elaborado a partir de huesos animales molidos el cual aporta altos niveles de fósforo y calcio fundamentales para el desarrollo de raíces y la floración de las plantas.
- **Cenizas de madera:** Estas aportan potasio y fósforo y se utilizan para corregir la acidez del suelo. Son una alternativa útil para suelos ácidos y pobres en minerales.
- **Guano:** Abono natural formado por excrementos de aves marinas, murciélagos o focas. Es altamente concentrado en nitrógeno, fósforo y potasio y ha sido utilizado históricamente en América Latina debido a su eficacia como fertilizante integral.

2.3.3. Gallinaza como abono

La gallinaza consiste en las excretas de gallinas ponedoras que se acumulan durante el tiempo en que estas aves están en producción de huevos o en sus fases de desarrollo. Este material se encuentra mezclado con restos de alimento y plumas en algunos casos también puede incluir el material utilizado como cama (Ecología, 2016).

Según Intagri (2015) la gallinaza es el estiércol que proviene de las gallinas ponedoras que no es lo mismo que la pollinaza, el cual es el desecho de aves de engorde. Está formada por excrementos junto con restos de alimento, plumas y el material usado en la cama; es muy valorada por su gran contenido de nutrientes y su capacidad para enriquecer el suelo con materia orgánica. El mismo autor menciona que este tipo de material ofrece varias ventajas significativas para mejorar la producción agrícola, suministrando nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como el aumento de la materia orgánica presente en el suelo.

2.3.3.1. Beneficios agronómicos de la gallinaza

Según Semenov (2023) la gallinaza presenta los siguientes beneficios:

- Mejora la calidad del suelo al incrementar su contenido de materia orgánica, lo que favorece una mejor estructura, mayor capacidad para retener agua y una adecuada aireación.
- Proporciona nutrientes esenciales de manera sostenible y duradera lo que ayuda a disminuir el uso de fertilizantes químicos.
- Promueve la actividad biológica del suelo aumentando tanto el microbiota como la biomasa microbiana. Estudios realizados en cultivos de soja y algodón han mostrado un incremento en el rendimiento de hasta un 11 % cuando se utiliza gallinaza o pollinaza en comparación con fertilizantes sintéticos.

2.3.3.2. Aporte nutrimental de la gallinaza

La gallinaza destaca por su mayor contenido de nitrógeno (34,7 kg/t), fósforo (30,8 kg/t), calcio (61,2 kg/t), magnesio (8,3 kg/t) y materia orgánica (700 kg/t) en comparación con el estiércol bovino, lo que la convierte en una fuente rápida y concentrada de nutrientes. En cambio, el estiércol bovino aporta más potasio (34,1 kg/t frente a 20,9 kg/t) y libera sus nutrientes de manera más gradual, siendo útil para sostener la calidad de cultivo y reducir riesgos de salinidad, ligeramente superiores en la gallinaza (Intagri, 2015). El cuadro 2, corresponden a la composición nutricional de la gallinaza, resaltando su importancia como fuente orgánica de fertilización que contribuye al enriquecimiento y mejoramiento del suelo.

Cuadro 2. Contenido nutrimental del estiércol comparado con la gallinaza

Nutriente	Estiércol de	
	bovino	Gallinaza
	kg/t	
Nitrógeno	14,2	34,7
Fósforo (P ₂ O ₅)	14,6	30,8
Potasio (P ₂ O)	34,1	20,9
Calcio	36,8	61,2
Magnesio	7,1	8,3
Sodio	5,1	5,6
Sales solubles	50	56
Materia orgánica	510	700

Fuente: Intagri (2015)

2.3.4. Ceniza como abono orgánico

La ceniza es un residuo mineral que se genera al quemar materiales orgánicos como madera, hojas y ramas. Este subproducto contiene una variedad de nutrientes entre ellos potasio, calcio, magnesio y fósforo; los cuales si se aplican de forma adecuada pueden mejorar la fertilidad del suelo (Agroproyecto, 2023).

2.3.4.1. Beneficios de la ceniza en la agricultura

Agroproyecto (2023) señala que las cenizas tienen múltiples aplicaciones en el ámbito agrícola. Pueden emplearse como abono, plaguicida, fungicida e incluso como agente cicatrizante para las plantas, dentro de estas se encuentran los siguientes:

- Como abono natural mediante aplicación directa alrededor de las plantas o en los surcos de siembra, y así también una aplicación excesiva puede generar acumulación de sales en el suelo y provocar un aumento excesivo del pH afectando su equilibrio.
- Como plaguicida natural, siendo una barrera tanto física como química frente a diversas plagas, incluyendo hormigas, caracoles, babosas, pulgones y algunas orugas. El cual se espolvorea alrededor de las plantas, creando un anillo cerrado que impida el acceso de los insectos.
- Como fungicida natural, siendo útil para prevenir y controlar enfermedades provocadas por hongos, logra deshidratar los hongos, modificar el pH en la superficie de las plantas y proporcionar nutrientes que fortalecen sus mecanismos de defensa.
- La ceniza también funciona como un cicatrizante natural para las plantas, ayudando a que las heridas causadas por poda, rupturas o mordeduras de animales sanen más rápido. Previene la acumulación de humedad e infecciones en la zona dañada, estimula la regeneración del tejido.

2.3.4.2. Ceniza de gallinaza

La ceniza de gallinaza es el residuo sólido que se obtiene tras la combustión de este material. Este subproducto concentra diversos nutrientes fundamentales para el desarrollo de las plantas, entre ellos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y otros minerales importantes (Ecología, 2016).

Los nutrientes contenidos en la ceniza de gallinaza pueden favorecer el desarrollo de las plantas, promoviendo un mayor crecimiento de biomasa y contribuyendo a mejorar su estado general de salud (Ecología, 2016).

2.3.4.3. Beneficios de la ceniza de gallinaza

Según Bioprofi (2024) la gallinaza presenta algunos beneficios en la producción agrícola:

- Incorpora minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, como potasio, calcio, magnesio y fósforo, los cuales enriquecen el suelo y mejora su fertilidad.
- Permite una mayor capacidad de retención de agua y una mejor aireación favoreciendo el desarrollo de las raíces.
- Favorece en el control de plagas y enfermedades, mediante una fumigación o pulverización
- Incrementa la actividad biológica en el suelo, los cuales fomentan en la descomposición de la materia orgánica

2.3.4.4. Aporte nutricional de la ceniza de gallinaza

Cempa (2022), indica que la composición mineral de la ceniza estimada por cada 100 g de muestra, evidencia que contiene macronutrientes en cantidades destacadas y micronutrientes en menores proporciones. Los valores más altos corresponden al calcio (12–32 g) y al potasio (6–15 g), fundamentales para la formación de estructuras fuertes en las plantas, la regulación hídrica y la calidad de los tejidos. El fósforo (2–10 g), aunque en menor proporción, es clave en el desarrollo radicular y la formación de tallos. Entre los micronutrientes, el cobre y el magnesio participan en la fotosíntesis, mientras que el zinc contribuye a la síntesis de proteínas y regulación hormonal, cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido nutrimental de la ceniza de gallinaza

Nutriente	Cantidad estimada por 100 g
Fósforo (P)	2 – 10 g
Potasio (K)	6 – 15 g
Calcio (Ca)	12 – 32 g
Cobre (Cu)	96 mg
Magnesio (Mg)	94 mg
Zinc (Zn)	7,6 g

Fuente: Cempa (2022)

2.4. Rendimiento del cultivo de apio

El rendimiento del cultivo de apio es un factor bastante importante para el abastecimiento de la demanda en el mercado el cual depende de diversos factores como el clima, condiciones del suelo, la humedad, la variedad cultivada, la ubicación geográfica y sobre todo el correcto manejo agronómico.

2.4.1. Rendimiento del cultivo de apio a nivel Mundial

El cultivo de apio presenta el mayor rendimiento a nivel mundial en Estado Unidos con un rendimiento de 124 t/ha bajo una estricta tecnificación para procesamiento industrial con el uso de tecnologías avanzadas, en un sistema extensivo (Wikifarmer, 2025).

El rendimiento del cultivo de apio en un sistema convencional suele alcanzar los 20 a 35 t/ha siendo un rango realista y habitual, pero con un buen manejo eficiente puede alcanzar hasta los 40 t/ha (Zandstra, 2016).

Según la FAO (2025), el rendimiento del cultivo de apio varía significativamente entre países, destacando Estados Unidos con el valor más alto (60 t/ha), seguido de Italia (45 t/ha) y España (40 t/ha), lo que refleja un elevado nivel de tecnificación y manejo agronómico eficiente. En contraste, Bolivia presenta los rendimientos más bajos (7 t/ha), evidenciando una amplia brecha productiva respecto a los países líderes y resaltando la necesidad de implementar estrategias para incrementar la productividad del cultivo, Anexo 2.

2.4.2. Rendimiento del cultivo de apio a nivel Bolivia

En Bolivia los rendimientos del apio pueden diferir muchísimo dependiendo del tipo de sistema de cultivo utilizado. En hidroponía avanzada se lograron rendimientos mayores a 40 t/ha gracias al control preciso del entorno y la nutrición del cultivo (Calle, 2023).

El mismo autor indica que la producción de hortalizas en Bolivia es de aproximadamente de 240.000 toneladas, llegándose a consumir 15 kg por persona en un año, en el área rural y un aproximado de 30,50 kg por persona en un año en el área urbana. Por lo cual el cultivo de apio presenta una elevada demanda en el mercado.

Según Mamani (2019) el rendimiento del cultivo de apio con métodos convencionales y además en un campo abierto con riego mecanizado, uso de fertilizantes y preparación del terreno la producción ronda los 15 t/ha bajo un resultado de tres ciclos anualmente. Por otro lado INE (2015) señala que los productores bolivianos de apio obtienen un rendimiento promedio que varía entre 3,57 y 11,74 kg por cada 100 m². Esto equivale a una productividad entre 3,57 y 11,74 t/ha, dependiendo de la zona el manejo del cultivo y las condiciones locales.

Se afirma que cuando se suministra mayor cantidad de estiércol indirectamente se está aplicando nitrógeno en cantidades elevadas la cual favorece a la planta para su alta velocidad de crecimiento y por ende se presenta mayores rendimientos, al contrario de una adición en menor cantidad de estiércol el desarrollo es inferior en altura como también a un aumento de suministro de nitrógeno hace crecer más la parte aérea y no así las raíces de la planta esto corrobora los resultados tal como menciona (Chilon, 2010).

El uso combinado de gallinaza y fertilización química representa una práctica eficaz para optimizar la productividad del cultivo de apio. En variedades como Perseo, la aplicación de 9 t/ha de gallinaza puede incrementar significativamente el rendimiento, alcanzando productividades de hasta 114,07 t/ha. Este resultado refleja la acción complementaria entre los nutrientes orgánicos y minerales, los cuales favorecen el crecimiento vegetativo y el desarrollo del cultivo, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible (Quispe, 2020).

2.5. Relación Beneficio/Costo

La relación beneficio/costo es uno de los indicadores más útiles y directos para guiar decisiones económicas en proyectos agro productivos sobre todo en escenarios como la agricultura familiar o tecnificada, como en el cultivo de apio (Mendoza, 2019).

Por su parte, Machaca (2010) resalta la relevancia del análisis económico en la producción agrícola mediante el uso de gallinaza, al considerarla una fuente rica en nutrientes esenciales que actúa como abono orgánico de alta eficiencia. Su aplicación contribuye al incremento del rendimiento del cultivo de apio (45 t/ha) y, en consecuencia, mejora la relación beneficio/costo, evidenciando su rentabilidad y viabilidad dentro de sistemas productivos sostenibles.

La relación Beneficio/Costo es una fórmula práctica que usamos para ver si un proyecto vale la pena; lo que hacemos es calcular el valor presente de todos los beneficios esperados y lo dividimos entre el valor presente de todos los costos. Si este número resulta mayor que 1 significa que los beneficios pesan más que los costos por tanto, el proyecto es rentable (Hayes, 2025).

Cadena (2014) explica que, si la relación B/C es menor que 1 significa que no hay ganancia y el cultivo no es rentable. Si la relación es igual a 1 solo se cubre los costos así que tampoco genera ganancia real. En cambio, si el B/C supera 1 significa que los ingresos por la venta del cultivo exceden los gastos de producción es rentable.

El mismo autor indica que la relación beneficio costo puede ser calculado bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Relación } \frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrolló en el Centro Experimental de Kallutaca perteneciente a la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, el cual se encuentra en el municipio de Laja de la Provincia Los Andes del departamento de La Paz. Esta distanciado a 27 km de la sede de gobierno. Geográficamente se encuentra localizada en las siguientes coordenadas: 16°31'25" Latitud Sur y 68°18'31" Longitud Oeste y una altitud de 3900 msnm (IGM, 2005; Google Earth, 2025), (Figura 1).

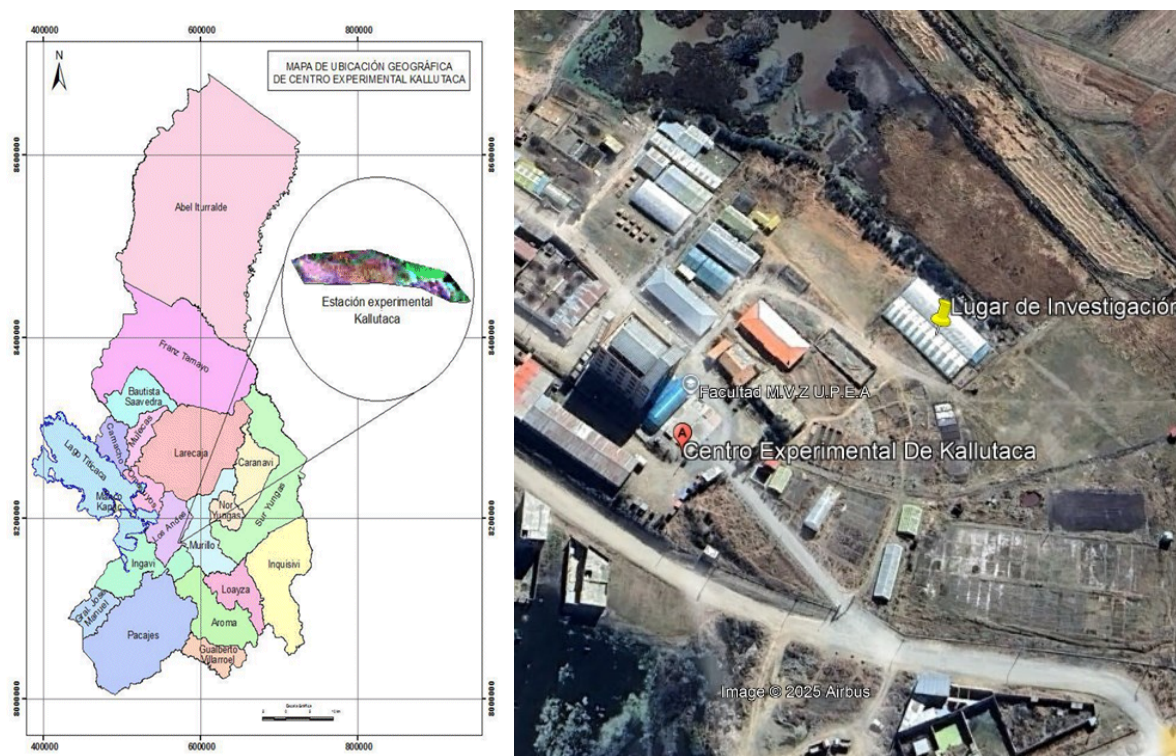


Figura 1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación (IGM, 2005; Google Earth, 2025)

3.1.2. Características edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

En el Centro Experimental de Kallutaca, las condiciones climáticas se caracterizan por una temperatura media de 6,8 °C, registrándose valores extremos que van desde los -4,8 °C

hasta los 18,3 °C. Además, se observa una velocidad promedio del viento de 9,6 km/h y una precipitación anual acumulada de aproximadamente 613,1 mm (SENHAMI, 2012).

En Kallutaca, la temperatura media anual es de aproximadamente 7,1 °C; durante los meses de mayo, junio y julio, las temperaturas extremas mínimas alcanzan entre –10,8 °C y –11,0 °C, evidenciando condiciones bajo cero. En contraste, en noviembre y diciembre se registran temperaturas máximas que oscilan entre 21,6 °C y 22,3 °C (Layme, 2016).

El mismo autor menciona que existe intensa radiación solar durante el día, que contrasta con las bajas temperaturas nocturnas, provocando grandes variaciones térmicas que derivan en diferentes grados de estrés térmico de los cultivos los mismos que pueden llegar a bajar considerablemente su producción en los días de helada en el invierno.

3.1.2.2. Suelo

Los suelos del área del Centro Experimental presentan una textura franco arcillosa originados a partir de depósitos fluvio-lacustres, con presencia de bofedales y uso predominante para el pastoreo. La capa arable mantiene también una textura franco arcillosa, con una capacidad moderada de retención de agua, en cuanto al pH, este varía ligeramente entre valores ácidos y neutros situándose entre 6,4 a 6,8 y su contenido de materia orgánica en estos suelos fluctúa entre 0.05% a 3.07% (Layme, 2016).

3.1.2.3. Topografía

La topografía del área se caracteriza por ser predominantemente plana ya que más del 80 % de su superficie presenta pendientes inferiores al 2 %. No obstante, es importante considerar que aproximadamente el 13 % del territorio municipal posee pendientes pronunciadas (Cruz, 2021).

3.1.2.4. Flora

La cobertura vegetal del área está dominada principalmente por pajonales como la chilliwa y el ichu sicuya (*Stipa ichu*), acompañados por arbustos nativos como la añawayá (*Adesmia miraflorensis*) y la kaylla (*Tetraglochin cristatum*). En las zonas de menor altitud se encuentran relictos de arbustos, especialmente especies pertenecientes al género *Baccharis* (como la thola y la añawayá). En cuanto a los cultivos, se observa la presencia de papa (*Solanum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), granos andinos, leguminosas, y

forrajes como la cebada (*Hordeum vulgare*) y el trigo (*Triticum aestivum*), entre otros (PTDI – Laja, 2016).

Según Altamirano y Terán (2005), las condiciones edafoclimáticas del altiplano han favorecido la adaptación de diversas especies vegetales propias de esta región. En particular, se observa una marcada predominancia de especies pertenecientes a la familia Poaceae (gramíneas) tales como la paja brava o ichu (*Stipa ichu*), la chillihua (*Festuca dolichophylla*) y la cebadilla (*Bromus* sp.), las cuales suelen estar asociadas con la especie conocida como cola de ratón (*Hordeum muticum*). Asimismo, dentro de la familia Fabaceae (leguminosas), se identifican especies como el layu layu (*Trifolium amabile*) y el garbancillo (*Astragalus* sp.). En cuanto a la familia Cyperaceae, destaca la presencia de pastos como la totora (*Carex* sp.); dentro de la familia Chenopodiaceae se encuentra el wari kauchi (*Atriplex nitrophiloides*); en la familia Rosaceae se identifica la kailla (*Tetraglochin cristatum*), y en la Malvaceae se presenta la especie conocida como q'ora qora.

3.1.2.5. Fauna

Entre los mamíferos más representativos del área se encuentran el zorro andino (*Lycalopex culpaeus*), el zorrillo (*Conepatus chinga*) y la liebre o pampa huanco (*Oryctolagus cuniculus*), esta última considerada una especie introducida que actualmente representa una plaga para cultivos de granos y hortalizas. En cuanto a la avifauna, se destacan especies como la perdiz (familia *Tinamidae*), diversas especies de patos (*Anatidae*), aves rapaces como las marías (*Falconidae*), además de otras como el yaca-yaca, cernícalo, picaflor y las chokas (patos silvestres), particularmente en zonas húmedas y ribereñas. La presencia de anfibios como ranas y sapos ha sido escasa, limitándose a algunas vertientes, ya que la contaminación del agua en los márgenes de los ríos ha afectado negativamente su hábitat. Asimismo, en ciertos ríos y vertientes se ha registrado la presencia de peces nativos como el suche (*Trichomycterus rivulactus*) (Arteaga, 2007).

3.1.2.6. Características de la carpa solar

La investigación se llevó a cabo en un ambiente protegido comúnmente denominado carpa solar, el cual está diseñado para proteger los cultivos de condiciones climáticas adversas. Esta estructura fue construida en su totalidad de agrofilm y tubos galvanizados, adoptando una forma tipo túnel. Sus dimensiones son de 10 metros de ancho por 40 metros de largo,

con una altura aproximada de 3 metros. Además, cuenta con dos ventanas ubicadas tanto en la parte frontal como en la posterior, lo que ayuda en la ventilación.

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

3.2.1.1. Material biológico

El desarrollo de la investigación requirió como recurso fundamental el siguiente material biológico:

- Semilla de apio (*Apium graveolens* L.) variedad David RZ

3.2.1.2. Insumos

Con el propósito de analizar el efecto de la enmienda orgánica aplicado en la producción del cultivo de apio, se evaluaron dos tipos de abonos:

- **Gallinaza:** Residuo compuesto por excretas de gallinas ponedoras, mezclado con restos de alimento no consumido por las aves.
- **Ceniza de gallinaza:** Producto obtenido a partir de la quema de gallinaza.

3.2.2. Material e insumos de almacigo

Los recursos utilizados para implementar el área de almacigo de la semilla fueron los siguientes:

- Caja almaciguera
- Nylon negro
- Flexómetro
- Regla
- Pala
- Malla cernidora
- Malla Semisombra
- Arena
- Turba

- Suelo del lugar
- Regadera

3.2.3. Material de escritorio

- Libro de campo
- Tijera
- Bolígrafo
- Fichas de registro
- Calculadora
- Hojas bond
- Material bibliográfico
- Equipo de computación
- Impresora
- Libro de acta

3.2.4. Material de campo

- Termómetro
- Tablero de campo
- Cinta métrica
- Fichas de identificación
- Pala
- Picota
- Carretilla
- Balde
- Bandeja metálica
- Vasos desechables
- Cámara fotográfica
- Encendedor
- Rastrillo
- Estacas de Madera
- Libro de acta
- Libro de campo

- Tijera
- Bolsas zipper
- Cinta de agua
- Banner de identificación de tesis
- Calibrador
- Bolígrafo
- Lápiz
- Tachos
- Balanza de precisión
- Canastas
- Paquete de celofán

3.3. Método

El método de investigación desarrollado fue de tipo aplicativo y cuantitativo bajo un enfoque experimental en condiciones de campo, utilizando una carpa solar como ambiente protegido. El objetivo principal fue evaluar el efecto de dos tipos de abono en el cultivo de apio, con el fin de determinar la dosis y el tipo de abono más adecuados para incrementar tanto el rendimiento como la calidad del cultivo. Para la recolección de datos se emplearon técnicas de observación directa y toma de datos en el sitio, utilizando como instrumento una guía de observación estructurada en base a las variables de respuesta, registrada en una planilla de campo.

En la presente investigación se aplicó un muestreo de tipo no probabilístico. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 21 plantas, de las cuales se seleccionaron aleatoriamente 6 plantas para su evaluación por cada tratamiento, siguiendo recomendaciones de docentes y tesisistas con experiencia investigativa. El procesamiento de los datos se realizó mediante técnicas estadísticas incluyendo análisis de varianza (ANVA), prueba de comparación de medias de Duncan, representación gráfica mediante diagramas de barras y para la variable rendimiento (t/ha) se realizó la regresión simple, regresión polinómica y la respectiva optimización de la dosis del tratamiento. Finalmente, los resultados se presentan en la sección de anexos, a través de fotografías de verificación, gráficos y tablas que permiten una mejor comprensión del experimento.

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Almacigo de la semilla

Para proceder con el almacigo se procedió con los siguientes pasos:

- Se construyó una caja almaciguera con dimensiones de 40 cm de ancho, 1 metro de largo y una profundidad de 20 cm. Su interior fue revestido con nylon negro para mejorar la retención de humedad y proteger la estructura (Figura 2).



Figura 2. Caja almaciguera

- Posteriormente, se realizó la preparación del sustrato destinado al almácigo mediante la mezcla de suelo del lugar, turba y arena fina en una proporción de 5:3:2. Cada componente fue previamente tamizado por separado para asegurar una textura uniforme. Una vez integrada la mezcla se procedió a humedecerla de manera homogénea hasta alcanzar la capacidad de campo del sustrato (Figura 3).



Figura 3. Preparación del sustrato para la siembra

- Finalmente, una vez preparado el sustrato con una superficie nivelada y sin pendiente, se procedió a realizar la siembra utilizando el método de voleo empleando una cantidad total de 5 gramos de semilla. Posteriormente, las semillas fueron cubiertas con una capa delgada de turba y se aplicó riego de forma homogénea mediante un atomizador para garantizar una adecuada humedad inicial (Figura 4 y Figura 5).



Figura 4. Nivelado del sustrato para la siembra



Figura 5. Siembra de la semilla de apio en almacigo el 13 de julio de 2024

- Con el objetivo de brindar mayor protección durante la fase de emergencia, se optó por cubrir el almácigo con una malla semisombra lo que además permitió generar condiciones favorables para la germinación (Figura 6).



Figura 6. Emergencia a dos semanas de la siembra

3.3.1.2. Proceso productivo

Para dar inicio al proceso de producción del cultivo de apio, se comenzó con la etapa de análisis del suelo y de los abonos orgánicos que serían utilizados. A continuación, se detallan los resultados y características correspondientes a esta fase.

3.3.1.2.1. Análisis de suelo

Durante esta fase, se realizó el muestreo del suelo en el área experimental para la producción del cultivo de apio. Para ello se empleó el método en zigzag, recolectando un total de 15 submuestras dentro de una superficie de 22 metros de largo por 4 metros de ancho; ubicadas geográficamente en las coordenadas 16°31'26" Latitud Sur 68°18'31" Longitud Oeste. Las muestras fueron mezcladas y cuarteadas para obtener una muestra compuesta y representativa, la cual fue enviada al laboratorio Puruma para su respectivo análisis.

Puruma (2024) presenta los resultados del análisis físico - químico del suelo, los cuales se muestran en el Cuadro 4, donde explica que el suelo muestra una textura franco Arcillosa (25,92% arena, 42,88% limo y 31,20% arcilla), lo que implica buena retención de agua y nutrientes, aunque con cierto riesgo de compactación. El pH de 8,36 indica una reacción alcalina, condición que puede reducir la disponibilidad de micronutrientes, mientras que la conductividad eléctrica de 2,58 dS/m refleja una salinidad ligera a moderada.

El autor también señala que, en lo referente a la fertilidad del suelo, los resultados obtenidos presentan un contenido muy alto de materia orgánica (13,60%), que favorece la estructura, suministro de nutrientes, y un nivel medio de nitrógeno total (0,31%), adecuado para el crecimiento vegetal. Asimismo, el fósforo disponible (92 ppm) y el potasio intercambiable (3,51 meq/100g) se encuentran en rangos altos, garantizando un buen desarrollo radicular, fotosintético y reproductivo.

En conjunto, el análisis físico-químico del suelo permitió confirmar que se trata de un suelo fértil, con adecuada disponibilidad de nutrientes; sin embargo, el pH alcalino y la ligera salinidad son factores que deben considerarse en la selección de cultivos y en el manejo agronómico.

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelo de la superficie experimental

	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	25,92	Bouyoucos
	Limo	%	42,88	
	Arcilla	%	31,20	
	Clase textural	-	Franco arcillosa	-
	pH en H ₂ O relación 1:2,5	-	8,36	Potenciometría
	Conductividad eléctrica (1:5)	dS/m	2,58	Potenciometría
	Materia orgánica	%	13,6	Walkley y Black- Espectrofotometría
	Nitrógeno total	%	0,31	Kjeldahi
	Fosforo disponible	ppm	92	Bray y Kurtz; Olsen
	Potasio intercambiable	meq/100g	3,51	Acetato de amonio 1N pH 7 (Espectrofotómetro de emisión atómica)

Fuente: Puruma (2024)

3.3.1.2.2. Análisis de abonos orgánicos

Con el objetivo de evaluar el efecto en la producción del cultivo de apio, se seleccionaron para abonamiento orgánico la gallinaza y su respectiva ceniza. La gallinaza fue recolectada de los galpones de aves ponedoras pertenecientes a la Carrera de Ingeniería en Zootecnia e Industria Pecuaria, ubicados geográficamente en las coordenadas 16°31'25" de latitud sur y 68°18'48" de longitud oeste. Para la obtención de la ceniza se procedió a la incineración de esta misma gallinaza durante un tiempo de 10 minutos en un horno de barro a una temperatura de 200 °C.

Los resultados del análisis físico – químico de la gallinaza se muestran en el Cuadro 5, Puruma (2024) explica que la muestra analizada presenta un pH alcalino de 8,73 y una conductividad eléctrica de 5,09 dS/m, lo que refleja un alto contenido de sales que puede generar riesgos de salinidad si se aplica en exceso. Su carbono orgánico total (37,32%) es muy elevado, aportando gran cantidad de materia orgánica al suelo, la relación C/N de 26,84 indica que la descomposición puede ser relativamente lenta, pudiendo generar inmovilización temporal de nitrógeno si no se maneja adecuadamente.

El mismo autor indica que el nitrógeno (1,39%), fósforo (1,13%) y potasio (1,48%) se encuentran en niveles altos, convirtiéndola en una excelente fuente de nutrientes, es decir la gallinaza es un abono orgánico muy rico en nutrientes, aunque debe aplicarse con precaución por su alcalinidad y salinidad.

Cuadro 5. Resultados del análisis de gallinaza

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO
pH (1:5)	-	8,73	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	5,09	Potenciometría
Carbono orgánico total	%	37,32	Ignición
C/N	%	26,84	Cálculo
Nitrógeno total	%	1,39	Kjeldahi
Fosforo total	%	1,13	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,48	Espectroscopia de emisión atómica

Fuente: Puruma (2024)

El Cuadro 6 corresponde al análisis físico – químico de la ceniza de gallinaza realizado por Puruma (2024), donde explica que la muestra analizada presenta pH muy alcalino (11,25) y conductividad eléctrica extremadamente alta (11,08 dS/m), lo que significa una fuerte alcalinización y elevada concentración de sales solubles; ambos factores pueden dañar semillas y plantas sensibles y elevar rápidamente el pH del suelo si se aplica sin medir las cantidades.

El carbono orgánico total (4,18%) es moderado, la relación C/N muy baja (4,86) lo cual indica la descomposición rápida y liberación inmediata de nitrógeno disponible, consistente con el nitrógeno total relativamente alto (0,86%). Los contenidos de fósforo (4,90%) y potasio (7,96%) son muy elevados, por lo que el material es una fuente potente de estos macronutrientes. En conjunto, se trata de un abono con gran poder fertilizante, pero con alto riesgo de salinidad y alcalinidad, por lo que su uso exige precaución (Puruma, 2024).

Cuadro 6. Resultados del análisis de la ceniza de gallinaza

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO
pH (1:5)	-	11,25	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	11,08	Potenciometría
Carbono orgánico total	%	4,18	Ignición
C/N	%	4,86	Cálculo
Nitrógeno total	%	0,86	Kjeldahi
Fosforo total	%	4,90	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	7,96	Espectrofotometría de emisión atómica

Fuente: Puruma (2024)

3.3.1.3. Preparación de la superficie experimental

Para dar inicio al proceso de producción, se llevó a cabo las siguientes actividades:

- La preparación del terreno, que consistió en el removido y arado de la superficie experimental utilizando una motocultora, el cual se evidencia en la Figura 7.



Figura 7. Arado y desterronado del terreno

Durante esta labor, también se incorporó materia orgánica compuesta por una mezcla de aserrín y estiércol bovino el distribuida de forma homogénea en toda el área de cultivo.

- Una vez nivelado la superficie se procedió a la instalación del sistema de riego por goteo, el cual se visualiza en la Figura 8.



Figura 8. Instalación de sistema de riego por goteo

3.3.1.4. Distribución de las unidades experimentales

Finalmente, se procedió a la delimitación de las unidades experimentales, comenzando con la distribución de los bloques los cuales tuvieron dimensiones de 6,3 m de largo por 3 m de ancho. A su vez, cada bloque fue subdividido en parcelas principales de 1,8 m por 3 m y estas, a su vez en subparcelas de 0,9 m por 3 m. En total, la investigación se desarrolló en una superficie de 56,7 m² (Figura 9).



Figura 9. Distribución de las unidades experimentales

Tal como se muestra en la Figura 9, se procedió al riego del área experimental con el fin de asegurar una adecuada disponibilidad de humedad para las plántulas al momento del trasplante. El riego se efectuó hasta alcanzar la capacidad de campo del suelo.

3.3.1.5. Distribución de abono orgánico

En esta etapa se efectuó la distribución de los dos tipos de abono orgánico conforme al sorteo establecido en el croquis experimental. Los distintos niveles de cada tratamiento fueron incorporados directamente en el sitio designado para el trasplante de cada plántula. La separación correspondiente a cada nivel puede observarse en la Figura 10 y Figura 11.



Figura 10. Pesado de los niveles de gallinaza



Figura 11. Pesado de los niveles de ceniza de gallinaza

3.3.1.6. Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas desarrollaron entre 2 a 4 hojas verdaderas, lo cual ocurrió entre los 30 a 40 días después de la siembra en almácigo. La distancia de plantación fue de 50 cm entre surcos y 30 cm entre plantas. Las plántulas se ubicaron individualmente en cada punto de emisión de la cinta de riego por goteo, alcanzando un total de 462 plantas distribuidas en toda el área experimental (Figura 12).



Figura 12. Trasplante del cultivo de apio en fecha 31 de agosto de 2024

3.3.1.7. Riego

El riego se efectuó mediante un sistema de goteo instalado en cada unidad experimental. Durante los primeros cinco días posteriores al trasplante se aplicó riego diario con el objetivo de mantener una humedad adecuada en el suelo (Figura 13) y favorecer el prendimiento de las plántulas. Posteriormente, el riego se realizó día por medio; a medida que avanzó el desarrollo del cultivo, la frecuencia de riego fue reducida gradualmente para evitar condiciones de exceso hídrico y prevenir el estrés en las plantas.



Figura 13. Disposición de riego al cultivo de apio durante la producción

El riego se realizó durante las primeras horas de la mañana; sin embargo, en algunas ocasiones también se realizó por la tarde o en días nublados con el fin de asegurar una adecuada disponibilidad de humedad para el cultivo y minimizar la evaporación. La demanda hídrica de 5,02 l/día, la lámina de reposición (5,02 mm) y el tiempo de riego aproximadamente 40 min.

3.3.1.8. Marbetado de muestras

Para llevar a cabo la evaluación de la investigación, se procedió al etiquetado de las muestras seleccionadas tal como se observa en la Figura 14, correspondientes a 6 individuos por cada unidad experimental, lo que permitió obtener un total de 126 muestras en todo el experimento.



Figura 14. Selección de muestras por cada unidad experimental

3.3.1.9. Deshierbe

El control de malezas se llevó a cabo de forma manual utilizando una chontilla, iniciando esta labor cuando las plántulas comenzaron a establecerse en el campo. Esta actividad se mantuvo durante todo el ciclo fenológico del cultivo con el propósito de controlar eficazmente la aparición de malezas no deseadas y garantizar el aprovechamiento de nutrientes solamente por la planta (Figura 15).



Figura 15. Control de malezas en la producción del cultivo durante la producción

3.3.1.10. Deshije del cultivo

Con la finalidad de asegurar una producción de calidad y optimizar el rendimiento del cultivo, se realizó el deshije de mantenimiento. Esta práctica consistió en la eliminación de brotes secundarios que emergían en los extremos alrededor del tallo principal, tal como se observa en la Figura 16. Esta intervención favoreció una mejor formación de pecíolos vigorosos y uniformes en las plantas.



Figura 16. Deshije de mantenimiento del cultivo de apio

Esta práctica se llevó a cabo entre el mes y medio posteriores al trasplante, manteniendo una distancia de 30 cm entre plantas. Este espaciado tuvo como finalidad reducir la competencia por agua, luz y nutrientes, así como disminuir el riesgo de incidencia de enfermedades.

3.3.1.11. Toma de datos de las muestras

Las muestras que fueron etiquetadas en las primeras semanas del experimento fueron evaluadas semanalmente con una frecuencia de cada 7 días. En total, se realizaron 9 sesiones de recolección de datos, todas ellas los días sábado.

La primera fecha de toma de datos fue el 5 de octubre concluyendo el 30 de noviembre de 2024 (Figura 17), con excepción de la variable rendimiento, la cual fue evaluada en la cosecha del cultivo el 5 de diciembre de 2024, marcando así el cierre del proceso de evaluación.



Figura 17. Toma de datos de cada variable de respuesta durante la producción.

3.3.1.12. Cosecha del cultivo

La cosecha del cultivo de apio se llevó a cabo a los tres meses y medio después del trasplante, una vez que las plantas comenzaron a superar los 40 cm de altura. El procedimiento consistió en el corte directo de toda la planta, tal como se muestra en la Figura 18. Cabe señalar que la cosecha se realizó únicamente de las muestras previamente etiquetadas para la evaluación.



Figura 18. Cosecha de las muestras de cada unidad experimental

Es importante destacar que durante la cosecha del cultivo también se consideraron variables de respuesta con el propósito de evaluar con mayor precisión la calidad del producto y principalmente, su rendimiento. Estos resultados se presentan y analizan en la sección correspondiente a los resultados más adelante.

3.3.2. Diseño experimental

En el presente estudio se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial en parcelas divididas. En la parcela principal (parcela grande) se establecieron tres tratamientos, mientras que en la subparcela (parcela pequeña) se aplicaron dos tratamientos, además de un tratamiento adicional como testigo, la distribución se realizó en tres bloques, obteniéndose un total de 21 unidades experimentales. Según Ochoa (2009) a partir de la estructura de la tabla de ANOVA, el modelo lineal aditivo completo para este diseño se expresa de la siguiente manera:

$$\gamma_{ijkl} = \mu + \tau_l + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_{ijk(a)} + \delta_j + (\alpha * \delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk(b)}$$

Donde:

γ_{ijk} = Observación en el i-ésimo nivel de A, j-ésimo nivel de B, k-ésimo bloque, l-ésimo tipo de tratamiento

μ = Media general del experimento

τ_l = Efecto del l-ésimo tipo de tratamiento (l = Testigo, Factorial)

β_k = Efecto de k-ésima bloque (k = 3)

α_i = Efecto de i-ésimo nivel del Factor A (i = 3)

$\varepsilon_{ijk(a)}$ = Error experimental de la parcela principal (Error A)

δ_j = Efecto del j-ésimo nivel del Factor B (j = 2)

$(\alpha * \delta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el Factor A y B

$\varepsilon_{ijk(b)}$ = Error experimental de subparcela (Error B)

3.3.3. Factores de estudio

Para la evaluación de los tipos de abono y sus respectivos niveles, se consideraron los siguientes factores experimentales:

Factor A: Niveles de dos tipos de abono

a1 = 5 g / planta

a2= 10 g / planta

a3= 15 g / planta

Factor B: Tipos de abono

b1 = Gallinaza solida

b2 = Ceniza de gallinaza

3.3.3.1. Formulación de tratamientos

T0 = Testigo

T1 = 5 g / planta - Gallinaza solida

T2 = 5 g / planta - Ceniza de gallinaza

T3 = 10 g / planta - Gallinaza solida

T4 = 10 g / planta - Ceniza de gallinaza

T5 = 15 g / planta - Gallinaza solida

T6 = 15 g / planta - Ceniza de gallinaza

3.3.4. Croquis experimental

El croquis del ensayo agronómico del cultivo de apio con niveles de dos tipos de abono más un tratamiento extra (testigo), compuesta de 21 unidades experimentales se encuentra en el Anexo 1.

3.3.4.1. Detalles del área experimental

A continuación, se describen las características fundamentales del área donde se llevó a cabo la producción del cultivo de apio:

Superficie de la unidad experimental	2,7 m ²
Superficie total del experimento	56,7 m ²
Densidad de plantación	P/P 0,3 m S/S 0,5 m
Número de tratamientos	6 y 1 testigo
Número de bloques	3
Número de repeticiones	3

Número de plantas por parcela útil	10
Número de muestras por unidad experimental	6
Número de unidades experimentales	21
Número de datos totales	126
Número de plantas por unidad experimental	21
Número de plantas en el experimento	462

3.3.5. Variables de respuesta

Con el propósito de evaluar el comportamiento agronómico y el rendimiento del cultivo de apio bajo la aplicación de dos tipos de abonos orgánicos y sus respectivos niveles, se consideraron las siguientes variables de respuesta:

3.3.5.1. Altura de la planta (AP)

La altura de planta se determinó midiendo seis (6) individuos seleccionados aleatoriamente en cada unidad experimental. La medición se realizó desde la base del cuello hasta el extremo apical de la planta; esta evaluación se llevó a cabo cada siete días, iniciando dos semanas después del trasplante.

3.3.5.2. Longitud de hoja (LH)

La longitud de hoja se evaluó cada siete días, a partir de la segunda semana posterior al trasplante; la medición se realizó en seis (6) plantas seleccionadas aleatoriamente por unidad experimental. Para ello, se utilizó una cinta métrica midiendo desde la base del limbo foliar hasta el ápice de la hoja.

3.3.5.3. Longitud del peciolo (LP)

Para esta variable, se evaluaron seis (6) plantas por unidad experimental realizando la medición desde el cuello de la planta hasta la base de la hoja. Las mediciones se efectuaron con una frecuencia de siete días.

3.3.5.4. Diámetro del peciolo (LP)

La medición se realizó utilizando un vernier de las seis (6) plantas seleccionadas por cada unidad experimental. Esta evaluación se efectuó semanalmente durante el periodo de recolección de datos.

3.3.5.5. Número de hojas (NH)

El número de hojas se determinó mediante el conteo manual, realizado semanalmente en las seis (6) plantas seleccionadas por cada unidad experimental.

3.3.5.6. Peso por planta (PP)

Esta variable fue determinada al momento de la cosecha final, transcurridos a más de tres meses desde el trasplante. Se realizó el pesaje de las seis (6) muestras seleccionadas por unidad experimental, y posteriormente los datos fueron convertidos para expresar el rendimiento por hectárea.

3.3.5.7. Rendimiento en hoja verde (t/ha)

La variable fue determinada mediante el pesaje de la muestra en gramos de las plantas, las cuales posteriormente fueron llevados a toneladas por hectárea. Los datos fueron convertidos para cada unidad experimental,

3.3.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables de respuesta se llevó a cabo utilizando herramientas para procesar e interpretar adecuadamente los datos experimentales. En primer lugar, se empleó la hoja de cálculo Microsoft Excel para la organización y sistematización de los datos, así como para la obtención de estadísticos descriptivos tales como promedios, la elaboración de gráficos exploratorios. Posteriormente, el análisis estadístico inferencial fue realizado con el software InfoStat.

3.3.6.1. Análisis de varianza

Se llevó a cabo un análisis de varianza correspondiente a un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas, con la finalidad de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos evaluados, así como identificar posibles interacciones entre los factores considerados en el estudio.

3.3.6.2. Duncan

Una vez identificadas diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos mediante el análisis de varianza (ANVA), se procedió a la aplicación de una prueba de

comparación múltiple de medias, utilizando el método de Duncan con un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$). Esta prueba permitió discriminar qué tratamientos presentaron efectos estadísticamente superiores en cada una de las variables agronómicas evaluadas.

3.3.6.3. Regresión lineal simple

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal simple con el propósito de evaluar la relación entre los niveles de abono orgánico aplicados (variable independiente, X) y el rendimiento del cultivo de apio expresado en toneladas por hectárea (variable dependiente, Y). Según Brown, (2014) la regresión se representó mediante el modelo:

$$Y = a + bX$$

Donde:

Y = rendimiento del cultivo (t/ha)

X = nivel de abono orgánico aplicado

a = intercepto o valor de Y cuando $X = 0$

b = pendiente de la recta, que indica la variación esperada en el rendimiento por cada unidad de abono aplicada.

Este análisis permitió determinar la relación entre el incremento en la dosis de abono y la respuesta fisiológica del cultivo, así como para identificar tendencias lineales que faciliten la interpretación del comportamiento agronómico del apio frente a distintos niveles de fertilización orgánica.

3.3.6.4. Regresión cuadrática

Popoola *et al.* (2015) señalan que la regresión cuadrática es un modelo estadístico que ajusta una curva de segundo grado a los datos experimentales, representada por la ecuación:

$$Y = a + bX + cX^2$$

Donde:

Y = variable dependiente (rendimiento del cultivo)

X = variable independiente (dosis de abono)

a = intercepto (valor de Y cuando X=0)

b = coeficiente lineal (pendiente que indica cambio en Y por unidad de X)

c = coeficiente cuadrático (indica curvatura; si es positivo, la curva es cóncava hacia arriba; si es negativo, cóncava hacia abajo)

Se realizó este análisis con el fin de ajustar una parábola a los datos, lo cual resultó especialmente útil para la variable rendimiento, cuyo comportamiento no siguió una tendencia lineal. Este enfoque permitió describir de manera precisa cómo respondió el cultivo a los diferentes niveles de abono aplicados, así como identificar los puntos óptimos de respuesta y analizar cómo varía la producción del cultivo frente a distintas dosis de insumo.

3.3.6.5. Optimización de tratamientos

Vargas *et al.* (2021) señala que el análisis de la optimización se realiza mediante el ajuste de la ecuación cuadrática, el cual permite calcular el punto óptimo de la curva, es decir, la dosis de abono que maximiza la variable de respuesta, mediante la siguiente ecuación:

$$X_{\text{óptimo}} = \frac{b}{2c}$$

Donde:

X_{óptimo} = Variable independiente (niveles de abono)

b = Coeficiente lineal

c = Coeficiente cuadrático

De esta manera, se identificó el nivel de insumo más eficiente para alcanzar el máximo rendimiento en toneladas por hectárea, evitando tanto el déficit como el exceso de aplicación de gallinaza y de su ceniza como abonos orgánicos.

3.3.7. Análisis económico

El análisis económico representa una herramienta fundamental, ya que permite generar información útil desde la perspectiva del productor agrícola, con el propósito de identificar los posibles beneficios en términos de rentabilidad (Paredes, 2010); el mismo autor

menciona que para llevar a cabo dicho análisis, se consideraran variables clave como los costos de producción, los ingresos obtenidos y la relación beneficio/costo.

Esta evaluación económica fue aplicada con la finalidad de determinar cuál de los tratamientos experimentales resultó ser el más eficiente y rentable.

- **Ingreso bruto**

Se determino el ingreso bruto de cada tratamiento al multiplicar el rendimiento ajustado por el precio de venta del producto.

$$IB = R * P$$

Donde:

IB = Ingreso bruto

R = Rendimiento

P = Precio

- **Ingreso Neto**

El ingreso neto fue calculado restando los costos totales de producción del ingreso bruto obtenido.

$$IN = IB - CP$$

Donde:

IN = Ingreso neto

IB = Ingreso bruto

CP = Costo de producción

- **Relación beneficio costo**

Se realizó el cálculo correspondiente mediante la comparación entre el ingreso bruto y los costos de producción, para determinar la rentabilidad de los tratamientos evaluados, mediante la siguiente relación:

$$\frac{B}{C} = \frac{IB}{CP}$$

Donde:

B/C = Beneficio costo

CP = Costo de producción

IB = Ingreso bruto

Cadena (2014) indica que, para interpretar los resultados de la relación beneficio/costo (B/C) se debe considerar la siguiente regla de decisión:

- Si la relación $B/C > 1$, la investigación resulta rentable, ya que los beneficios superan a los costos.
- Si la relación $B/C = 1$, la investigación se encuentra en un punto de indiferencia, pues los beneficios igualan a los costos.
- Si la relación $B/C < 1$, la investigación resulta no rentable, dado que los costos son mayores que los beneficios.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación y se analiza su significado en relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de apio. Asimismo, se comparan los hallazgos con estudios previos, identificando las respuestas del cultivo frente a los diferentes tratamientos aplicados.

4.1. Temperatura

La Figura 19 muestra las temperaturas registradas durante la producción del cultivo de apio con un termómetro que se encontraba ubicada a una altura de 70 cm, exactamente en el centro de la superficie del cultivo en el Centro Experimental de Kallutaca, estas fueron registradas una vez en la media semana de la toma de datos en el interior de la carpa solar.

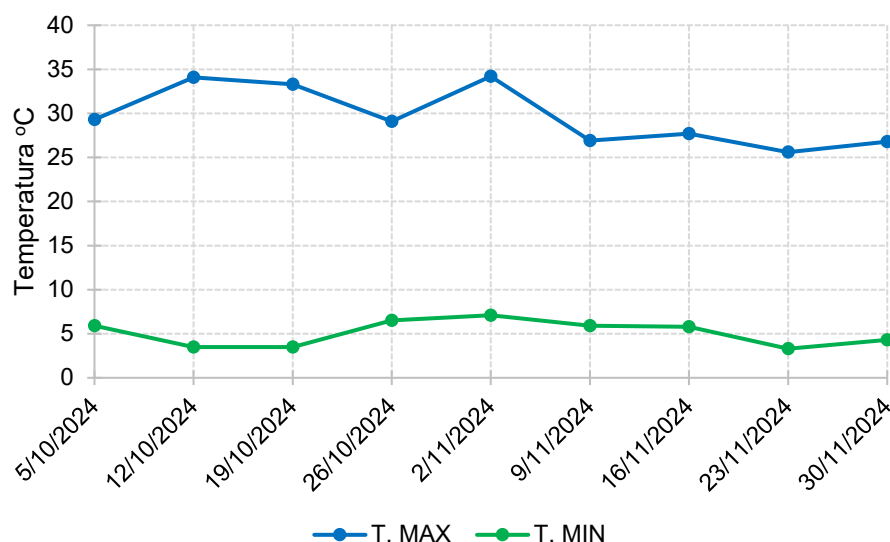


Figura 19. Temperatura máxima y mínima (°C) durante el periodo de evaluación

Durante el periodo de producción del cultivo de apio, comprendido entre octubre y noviembre del año 2024, se registraron temperaturas que, en general, se mantuvieron dentro de rangos adecuados para el desarrollo óptimo de esta hortaliza. La temperatura máxima osciló entre 26 °C y 34 °C, con una tendencia estable a lo largo de las semanas, manteniendo ligeras fluctuaciones, sin descensos ni picos extremos.

Se observaron temperaturas cercanas a los 34 °C en las semanas del 12 de octubre y del 2 de noviembre, mientras que el valor más bajo se presentó alrededor del 23 de noviembre,

con aproximadamente 25,6 °C. Estas temperaturas no alcanzaron niveles críticos que pudieran afectar negativamente al cultivo, aunque en algunos momentos se superó ligeramente el umbral ideal de 30 °C, sin generar riesgos evidentes.

Por otro lado, la temperatura mínima se mantuvo dentro de un rango de 3 °C a 7 °C, también con poca variación entre semanas. Los valores más bajos se registraron durante la semana del 23 de noviembre cercanos a los 3,3 °C, mientras que el punto más alto ocurrió en la semana del 2 de noviembre registrándose los 7,1 °C.

Las temperaturas mínimas relativamente bajas registradas no alcanzaron niveles de riesgo por heladas, por lo que no se esperaba un impacto negativo sobre el desarrollo fisiológico del apio. La estabilidad de la temperatura permitió mantener un adecuado balance fisiológico, favoreciendo la fotosíntesis y el desarrollo vegetativo, lo cual se reflejó en tallos vigorosos con alturas finales de 60 a 67 cm, permitiendo también alcanzar rendimientos superiores a los 50 t/ha.

Según Del Pino (2018), las variedades verdes de apio son más aptas para el cultivo al aire libre, pero se desarrollan mucho mejor en un ambiente protegido que tenga buena ventilación, alto porcentaje de humedad, temperaturas que oscilen entre los 15 – 21°C.

Sendra *et al.* (2011) menciona, la temperatura óptima para la fase de crecimiento vegetativo para el cultivo de apio, está próxima a los 18 °C. Las heladas producen y desprendimiento de la epidermis de los pecíolos (pencas), si la misma es muy intensa produce el ahuecado de las pencas.

4.2. Variables de respuesta

4.2.1. Altura de planta (AP)

El Cuadro 7 muestra que, en el análisis de varianza para la altura de la planta, presentaron diferencias altamente significativas entre el testigo y los tratamientos ($p = 0,0060 < 0,01$), lo cual demuestra que la aplicación de abonos mejoró notablemente la variable evaluada en comparación con la ausencia de abonamiento. Asimismo, se encontraron diferencias altamente significativas entre los niveles de abono ($p = 0,0027$), resultó ser el factor de mayor incidencia en el comportamiento de la variable. En contraste, los bloques, ni los tipos de abono y la interacción entre niveles y tipos de abonos mostraron efectos significativos; indicando que la variación experimental fue homogénea y que la respuesta de los cultivos

dependió principalmente de la cantidad de abono aplicado, más que de la fuente utilizada. El coeficiente de variación (CV) fue de 2,71 %, considerado muy bajo, lo que refleja alta homogeneidad en las mediciones y garantiza la confiabilidad de los resultados.

Cuadro 7. Análisis de Varianza para la altura de la planta (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	4.217.785.714	1	4.217.785.714	17,18	0,0060 **
Bloque	437.452.381	2	218.726.190	1,76	0,2502 NS
Niveles	4.610.333.333	2	2.305.166.667	18,56	0,0027 **
Error (a)	745.380.952	6	124.230.159		
Tipos de abono	470.222.222	1	470.222.222	1,91	0,2157 NS
Niveles*Tipos	155.444.444	2	0,77722222	0,32	0,7401 NS
Error	147.333.333	6	24.555.556		
Total	1.210.995.238	20			

** P < 0,01; * P < 0,05; NS No significativo

En la Figura 20 se observa el análisis de comparación de factores con el testigo evidenciando diferencias altamente significativas en la altura de las plantas. Con la aplicación de tratamientos se alcanzó un promedio de 58,33 cm, ubicándose en el primer grupo estadístico identificado con la letra A, mientras que el Testigo presentó una altura promedio de 54,28 cm, perteneciente al segundo grupo (letra B). Esto indica que la aplicación de tratamientos promovió un mayor crecimiento en altura respecto al testigo, evidenciando un efecto positivo de los factores aplicados sobre el desarrollo del cultivo.

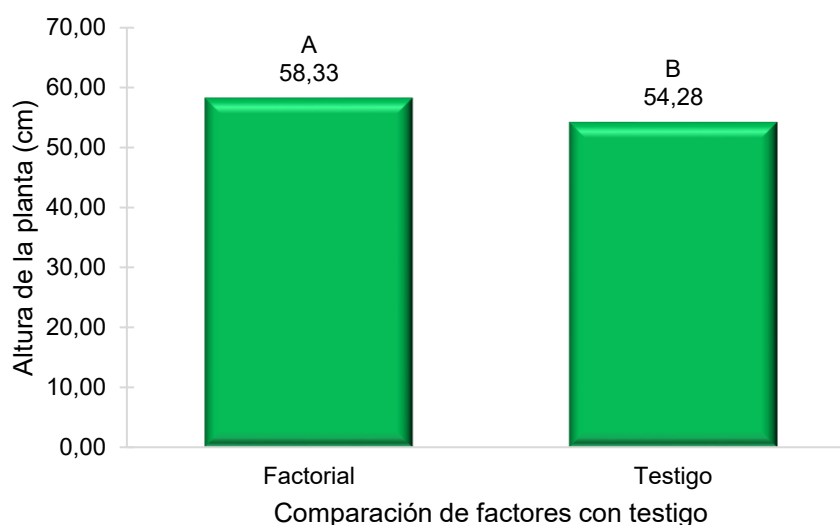


Figura 20. Altura de la planta con los factores en comparación al testigo

En la Figura 21 se presenta el análisis de medias mediante la prueba de Duncan para los diferentes niveles de abono, evidenciándose diferencias significativas en la altura de planta. Los tratamientos con 15 g/p y 10 g/p conformaron el primer grupo, sin diferencias estadísticas entre ellos, alcanzando promedios de 59,98 cm y 58,85 cm, respectivamente identificadas con la letra A. El nivel de 5 g/p obtuvo un promedio de 56,17 cm, ubicándose en el segundo grupo; señalada con la letra B, con valores inferiores a los de 10 y 15 g/p, pero superiores al testigo. Finalmente, el testigo, clasificado en el tercer grupo, registró un promedio de 54,28 cm, resultando estadísticamente inferior a todos los demás tratamientos.

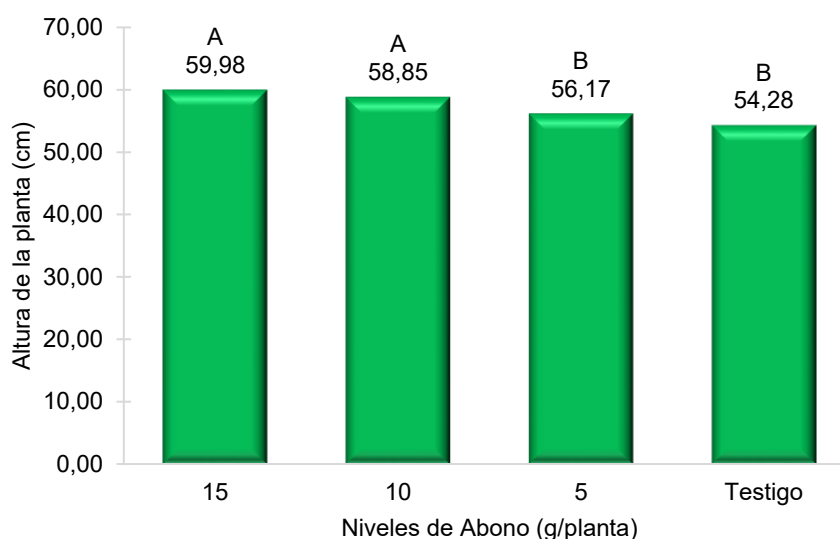


Figura 21. Altura de la planta con los niveles de abono.

Jaramillo (2019) señala que, en su investigación sobre la aplicación de dosis de gallinaza en el cultivo de apio, la utilización de 60 t/ha y 50 t/ha permitió obtener alturas de planta de 62 cm y 50 cm, respectivamente. Los resultados muestran que los datos obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro del rango reportado por Jaramillo, evidenciando un efecto positivo de la gallinaza sobre el crecimiento del apio, destacando que las dosis más altas favorecen una mayor elongación de la planta.

Según Calle (2023), en su investigación sobre el desarrollo en altura de planta en sistema NFT con diferentes variedades de apio, se evidenció que la variedad *Golden self* alcanzó una altura promedio de 34,45 cm, siendo estadísticamente superior al cultivar *Tall Utah 52-70*, que registró un promedio de 33,45 cm, de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de significancia.

Machaca (2007), en su investigación con el cultivo de apio, aplicando tratamientos de 19 t/ha y 38 t/ha de estiércol ovino, reportó alturas promedio de 53,32 cm y 47,35 cm, respectivamente. Estos resultados muestran un incremento considerable en la altura, lo que evidencia que la cantidad y el tipo de fertilización orgánica constituyen factores determinantes en el crecimiento del apio.

En el presente estudio, las alturas promedio de planta fueron superiores a 54 cm, superando ampliamente los valores reportados por Calle (2023), quien obtuvo 34,45 cm en sistema NFT, y por Machaca (2007), con 53,32 cm y 47,35 cm al aplicar estiércol ovino. Los resultados indican que la fertilización orgánica empleada favoreció un mayor crecimiento vegetativo del cultivo de apio. Esta diferencia positiva podría atribuirse a las condiciones agroecológicas del área experimental, al tipo de abono empleado y a su nivel de disponibilidad de nutrientes, los cuales favorecieron un desarrollo vegetativo más vigoroso.

4.2.2. Longitud de la hoja (LH)

En el Cuadro 8 se presenta el análisis de varianza para la variable longitud de hoja, el cual evidencia diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos ($p = 0,0109 < 0,01$), lo que confirma que la aplicación de abonos incrementó de manera notable el desarrollo foliar en comparación con el testigo. Asimismo, los niveles de abono mostraron diferencias altamente significativas ($p = 0,0068$), lo que indica que las distintas dosis aplicadas generaron respuestas diferenciadas en la longitud foliar. En contraste, los bloques, los tipos de abono y la interacción niveles por tipos de abono no evidenciaron efectos significativos. Finalmente, el coeficiente de variación ($CV = 3,33\%$) refleja una alta precisión experimental, respaldando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la longitud de la hoja (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	15,15626984	1	15,15626984	13,2	0,0109 *
Bloque	2,17785714	2	1,08892857	1,88	0,232 NS
Niveles	14,84111111	2	7,42055556	12,83	0,0068 **
Error (a)	3,47047619	6	0,5784127		
Tipos de abono	0,245	1	0,245	0,21	0,6604 NS
Niveles*Tipos	0,13	2	0,065	0,06	0,9455 NS
Error (b)	6,89	6	1,14833333		
Total	42,91071429	20			

** P < 0,01; * P < 0,05; NS No significativo

En la Figura 22 se observa que la comparación de medias entre los tratamientos y el testigo evidenció diferencias significativas en la longitud de la hoja. Las plantas que recibieron tratamiento alcanzaron una longitud promedio de 32,56 cm, identificada con la letra A, superando al testigo con 30,13 cm, correspondiente a la letra B. Aunque la diferencia numérica es mínima, su significancia estadística confirma el efecto favorable de los tratamientos sobre el desarrollo foliar del cultivo.

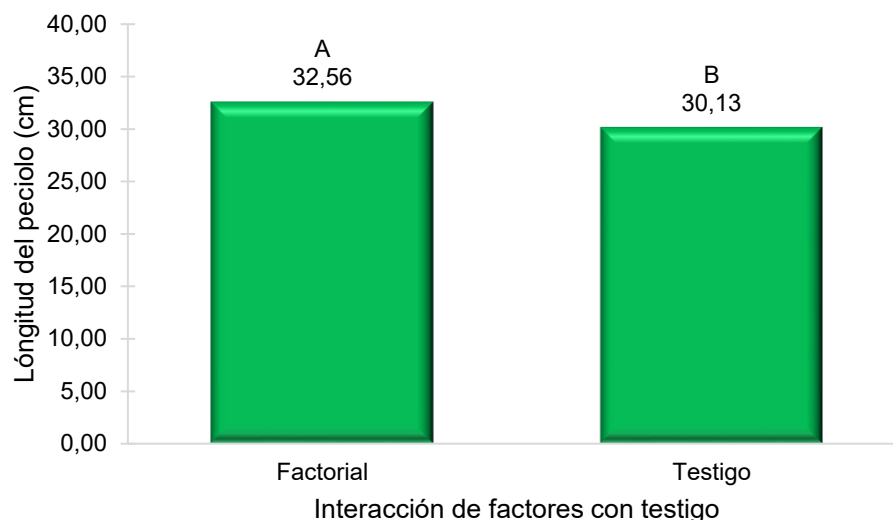


Figura 22. Longitud de la hoja con los factores en comparación al testigo

La comparación de medias presentada en la Figura 23 muestra el efecto de los distintos niveles de abono sobre la longitud de la hoja. El mayor valor se obtuvo con el tratamiento de 15 g/planta, con un promedio de 33,62 cm, seguido del nivel de 10 g/planta con 32,67 cm, sin diferencias estadísticas entre ambos, al estar identificados con la letra A.

En un segundo grupo se ubicó el tratamiento de 5 g/planta, con 31,40 cm representado por la letra B, el cual fue inferior a los niveles de 10 y 15 g/planta, pero superior al testigo, que registró 30,13 cm (letra C), siendo estadísticamente menor que los demás tratamientos. Estos resultados indican que mayores dosis de abono orgánico favorecen el crecimiento foliar del apio, reflejándose en una mayor longitud de hoja.

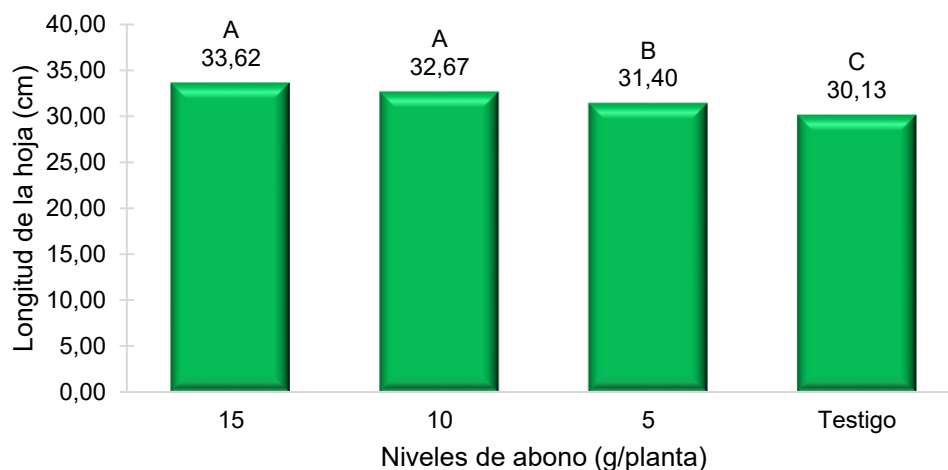


Figura 23. Longitud de la hoja con los niveles de abono

Flores (2007) en su investigación con abonos líquidos orgánicos (té de estiércol de cuy, ovino y gallinaza) presentó mayor longitud de hojas con los tratamientos en comparación del testigo. Aunque entre los abonos orgánicos no hubo diferencias significativas, todos superaron al testigo, evidenciando su efecto positivo en el crecimiento foliar. El té de estiércol de cuy fue el más efectivo con 24,3 cm, seguido por ovino (23,7 cm) y gallinaza (23,5 cm), frente a los 20,4 cm del testigo.

Cañar (2021) en la prueba de Duncan ($p < 0.05$) evidenció que Compost biól (5,00 kg/m²) y biól (500 ml/m²) promovieron mayor altura foliar (32,6 cm y 31,5 cm) respectivamente a los 60 días. Seguidamente se presentó el biól (400 ml/m²), Compost biól (3,00 kg/m²), Compost biól (1,5 kg/m²) y biól (300 ml/m²), con valores entre 28,7 cm y 25,8 cm. El tratamiento testigo mostró la menor altura (21,2 cm), confirmando el efecto positivo de los abonos orgánicos sobre el crecimiento foliar.

Carrera (2015) el análisis estadístico mostró que el tratamiento con Humus 3 kg obtuvo la mayor longitud de hoja a los 60 días (31,79 cm), mientras que a los 70 días destacó el Humus 5 kg (29,17 cm). Ambos superaron significativamente al tratamiento testigo (T7), que presentó las menores longitudes (24,21 cm y 22,83 cm) respectivamente. Estos resultados evidencian el efecto positivo del humus en el crecimiento foliar durante el desarrollo del cultivo.

Los resultados obtenidos en esta investigación superaron ampliamente a los reportados en estudios previos. Carrera (2015) registró una longitud mayor en comparación a los demás

con 31,79 cm, valor inferior al promedio de 33,62 cm alcanzado en el presente estudio, lo que evidencia una mejor respuesta del cultivo bajo las condiciones y niveles de abono aplicados.

4.2.3. Longitud de peciolo (LP)

El análisis de varianza del Cuadro 9 corresponde a la variable longitud del peciolo, donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo ($p = 0,0359 < 0,05$), lo que confirma la influencia de los abonos en esta variable de estudio. Del mismo modo, los niveles de abono mostraron diferencias significativas ($p = 0,0132 < 0,05$), evidenciando que a mayor dosis aplicada el cultivo presentó un crecimiento progresivo. En contraste, los bloques, los tipos de abono y la interacción entre tratamientos no mostraron efectos significativos.

El coeficiente de variación (CV) para la variable de estudio fue de 3,91 % %, valor considerado muy bajo dentro de los rangos aceptados en un diseño experimental, lo que demuestra que los datos obtenidos son altamente precisos y confiables, garantizando la calidad y validez de los resultados.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la longitud de peciolo (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	8,17785714	1	8,17785714	7,26	0,0359 *
Bloque	2,2202381	2	1,11011905	1,79	0,2462 NS
Niveles	12,04333333	2	6,02166667	9,69	0,0132 *
Error (a)	3,72809524	6	0,62134921		
Tipos de abono	0,53388889	1	0,53388889	0,47	0,5169 NS
Niveles*Tipos	0,34111111	2	0,17055556	0,15	0,8627 NS
Error (b)	6,76	6	1,12666667		
Total	33,80452381	20			

** $P < 0,01$; * $P < 0,005$; NS No significativo

La comparación de medias entre los tratamientos (factores) y el testigo, presentada en la Figura 24, donde se muestra diferencias estadísticamente significativas (A y B) entre ambos grupos. La mayor longitud promedio del peciolo se alcanzó con la aplicación de tratamientos, registrando 27,42 cm, mientras que el testigo obtuvo un promedio de 25,63 cm. Estos resultados indican que la aplicación de los factores estimuló de manera más efectiva el crecimiento del peciolo, contribuyendo al desarrollo vegetativo del cultivo de apio.

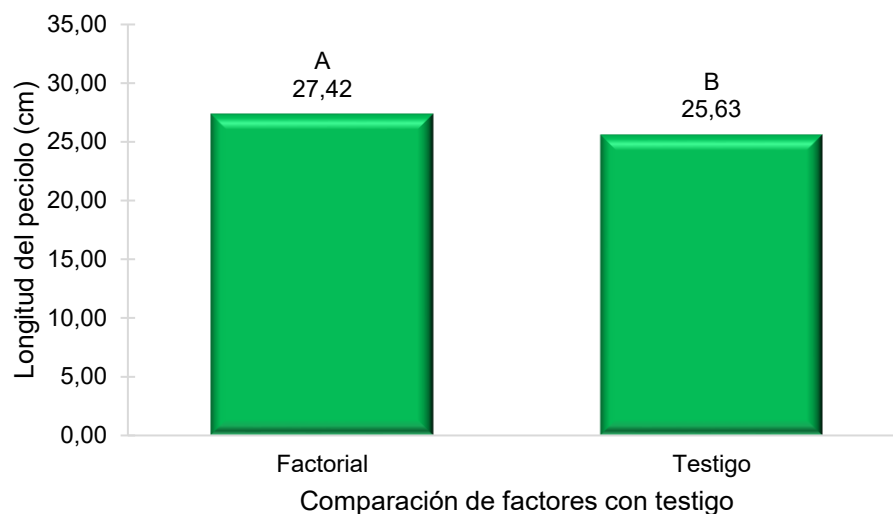


Figura 24. Longitud de peciolo con los factores en comparación al testigo

En la Figura 25 se presenta la comparación de medias, donde se tiene diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En el primer grupo se alcanzó la mayor longitud del peciolo con un promedio de 28,57 cm; identificada con la letra A, resultado que no mostró diferencias estadísticas con el tratamiento de 15 g/planta (A), pero sí con el resto de los tratamientos; ubicándose en segundo grupo con un promedio de 26,95 cm; representada con las letras AB estadísticamente similar al tratamiento de 5 g/planta representada con la letra B, que registró 26,73 cm. El testigo alcanzó un promedio de 25,63 cm, siendo estadísticamente inferior (C) en comparación al resto de los tratamientos.

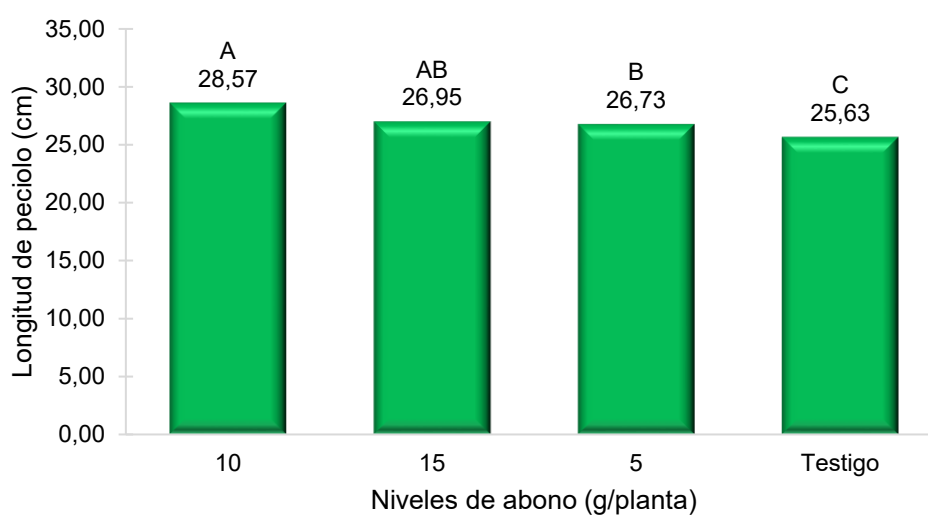


Figura 25. Longitud de peciolo con los niveles de abono.

El elevado contenido de fósforo ($P = 4,90 \%$) y potasio ($K = 7,96 \%$) presente en la ceniza de gallinaza, en comparación con los valores moderados de P ($1,13 \%$) y K ($1,48 \%$) de la gallinaza, constituyó una fuente importante de nutrientes esenciales, siendo el P y el K nutrientes clave para la formación de los tallos. Estos elementos favorecieron el crecimiento del cultivo, permitiendo alcanzar longitudes elevadas y tallos de alta calidad, características que resultaron determinantes para la productividad y el valor comercial del apio.

Intagri (2021) señala que el cultivo de apio puede alcanzar longitudes de pecíolo de entre 25 cm y 28 cm en las pencas. Yommi *et al.*, (2013), en su investigación sobre la evaluación morfológica, fisicoquímica y sensorial del apio, reportan que la longitud de los pecíolos aumenta progresivamente durante el desarrollo de la planta. Asimismo, señalan que los pecíolos correspondientes a las hojas de posición intermedia alcanzan las mayores longitudes, con valores que oscilaron entre 25 y 30 cm.

Estos resultados indican que los valores obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro del rango reportado para la longitud del pecíolo (25 a 30 cm), coincidiendo con lo señalado en otras investigaciones. Sin embargo, al comparar con diferentes variedades, pueden presentarse diferencias estadísticas en la longitud de pecíolo, atribuibles a las características genéticas propias de cada cultivar y a las condiciones de manejo empleadas.

4.2.4. Diámetro de pecíolo (DP)

El Cuadro 10 muestra el análisis de varianza para la variable diámetro del pecíolo, donde se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo ($p = 0,0289 < 0,01$), lo que indica que el diámetro del pecíolo estuvo directamente influenciado por la aplicación de abonos. Asimismo, se registraron diferencias altamente significativas entre los niveles de abono, lo que demuestra que el cultivo respondió positivamente al incremento en la cantidad de abono aplicada. En contraste, los bloques, los tipos de abono y la interacción de tratamientos no presentaron efectos significativos sobre esta variable.

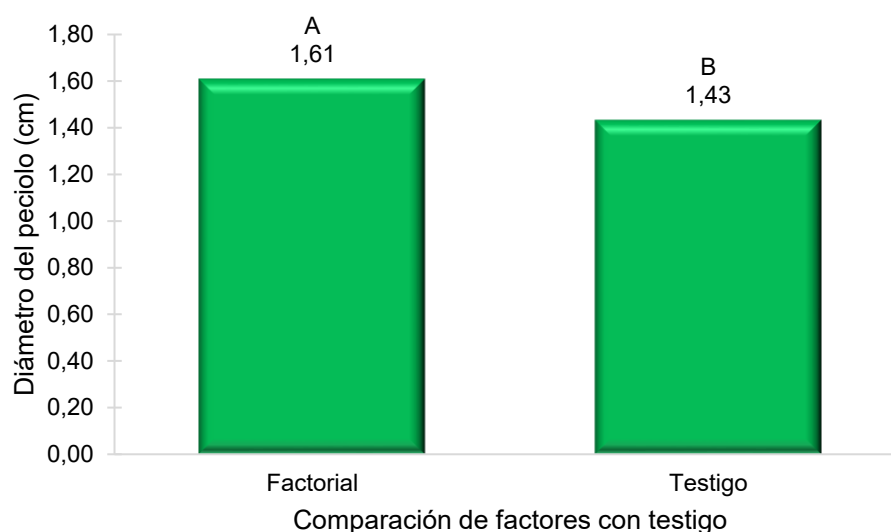
El coeficiente de variación (CV) para esta variable fue de 6,22%, valor considerado bajo al encontrarse por debajo del 10%, lo que refleja una alta precisión experimental y, por tanto, datos estadísticamente confiables.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el diámetro del peciolo (cm)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	0,07925079	1	0,07925079	8,17	0,0289 *
Bloque	0,01786667	2	0,00893333	2,12	0,2017 NS
Niveles	0,26934444	2	0,13467222	31,9	0,0006 **
Error (a)	0,02533333	6	0,00422222		
Tipos de abono	0,01075556	1	0,01075556	1,11	0,3329 NS
Niveles*Tipos	0,00534444	2	0,00267222	0,28	0,7683 NS
Error (b)	0,0582	6	0,0097		
Total	0,46609524	20			

** P < 0,01; * P < 0,05; NS No significativo

En la Figura 26 se presenta el análisis de comparación mediante la prueba de Duncan, donde se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo, lo que demuestra que el desarrollo del diámetro del peciolo estuvo directamente influenciado por la aplicación de abonos. El primer grupo estuvo conformado por los tratamientos con abono representada con la letra A, que alcanzaron un promedio de 1,61 cm, mientras que el testigo; identificada por la letra B registró un diámetro promedio de 1,43 cm. Estos resultados evidencian que los factores favorecieron un mejor desarrollo del diámetro del peciolo en comparación con el testigo.

**Figura 26. Diámetro del peciolo con los factores en comparación al testigo**

En la Figura 27 se presenta el análisis de comparación de medias, donde se evidencia la conformación de dos grupos estadísticamente diferentes entre sí. El primer grupo estuvo

representado por la letra A, donde la aplicación de 15 g/p, alcanzó el mayor diámetro promedio con 1,75 cm, seguido por el nivel de 10 g/p con 1,63 cm. En el segundo grupo se identificó con la letra B, ubicándose los tratamientos con 5 g/p y el testigo, que registraron diámetros promedios de 1,45 cm y 1,43 cm, respectivamente, valores significativamente inferiores en comparación con los tratamientos de mayor dosis.

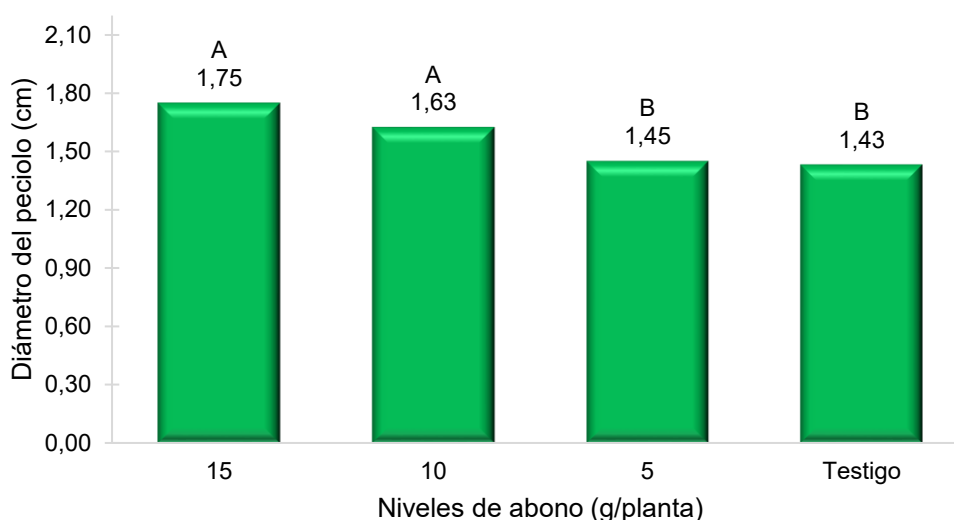


Figura 27. Diámetro de peciolo con los niveles de abono.

El fósforo y el potasio, al ser nutrientes clave para la formación de los tallos, hicieron que su elevado contenido constituyera una fuente importante de nutrientes esenciales. Estos elementos promovieron el engrosamiento del peciolo, favoreciendo la formación de tallos de alta calidad y con textura crujiente.

Torres (2012) según su investigación nos menciona que a los 30 días después del trasplante, el tratamiento con compost a 10.000 kg/ha mostró el mayor grosor de tallo (2,30 cm), siendo estadísticamente superior según la prueba de Tukey. Los tratamientos con Humus y Bocashi en distintas dosis presentaron valores menores (1,96 a 2,14 cm), sin superar al compost. El Testigo registró el menor grosor (1,71 cm), diferenciándose significativamente de todos los tratamientos. Estos resultados evidencian que el compost en alta dosis favorece el desarrollo del tallo, lo que puede traducirse en plantas más vigorosas y mejor adaptadas, destacando su potencial como enmienda orgánica efectiva en esta etapa inicial.

Quispe (2020) afirma según su investigación que el mayor diámetro de peciolo se obtuvo con la aplicación de gallinaza a 9 t/ha (6,56 cm), sin diferencias estadísticas con NPK 130-80-200 (6,28 cm) ni gallinaza a 6 t/ha (5,2 cm). Esto se atribuye a que la gallinaza mejora la fertilidad del suelo al aportar nutrientes esenciales como fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, entre otros, además de nitrógeno. A diferencia de los fertilizantes minerales, que solo proveen macronutrientes, la gallinaza también mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo.

Cruzalegui (2022) muestra en los resultados de su investigación, donde indica que la edad de trasplante influye significativamente en el diámetro del tallo. El tratamiento T4 (105 días) alcanzó el mayor grosor con 4,18 cm, superando al T1 (90 días), que registró 3,18 cm. Además, T4 presentó diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos evaluados, lo que sugiere que un trasplante más tardío favorece el desarrollo del tallo. Este comportamiento podría estar relacionado con una mayor acumulación de reservas fisiológicas en la planta antes del trasplante, lo que mejora su capacidad de adaptación y crecimiento inicial en campo.

Los resultados obtenidos en esta investigación no coinciden completamente con los reportados en estudios anteriores, los cuales registraron mayores diámetros de peciolo, aunque no especificaron el punto exacto de medición. Esta diferencia puede atribuirse a que el peciolo presenta variación en su grosor, siendo más ancho en la base y disminuyendo hacia la inserción de la hoja. En el presente estudio, los datos fueron tomados de manera lateral en el centro del peciolo, lo que permite una medición más representativa del grosor medio del mismo.

4.2.5. Número de hojas (NH)

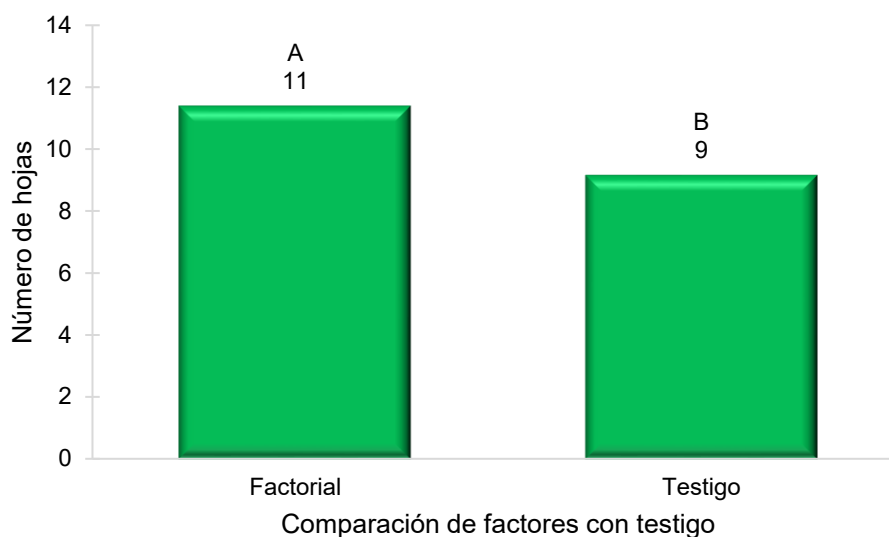
El análisis de varianza del Cuadro 11 corresponde a la variable número de hojas, en el cual se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo ($p = 0,0113 < 0,05$), lo que demuestra que los factores influyeron en el crecimiento foliar. En cuanto a los niveles de abono, se presentaron diferencias mínimamente significativas, lo que indica una leve variación entre las dosis aplicadas. Los bloques, los tipos de abono y la interacción de tratamientos no mostraron efectos significativos, lo que significa que no tuvieron relevancia sobre la variable de respuesta. El coeficiente de variación (CV) para esta variable alcanzó 8,95 %, encontrándose dentro de los rangos establecidos para el diseño experimental, lo que garantiza que los datos obtenidos son confiables.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el número de hojas

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	12,80657857	1	12,80657857	13,02	0,0113 *
Bloque	0,04989524	2	0,02494762	0,02	0,9757 NS
Niveles	10,87543333	2	5,43771667	5,38	0,0510 NS
Error (a)	6,0647381	6	1,01078968		
Tipos de abono	0,81493889	1	0,81493889	0,83	0,3978 NS
Niveles*Tipos	0,13321111	2	0,06660556	0,07	0,9352 NS
Error (b)	5,9013	6	0,98355		
Total	36,64609524	20			

** P < 0,01; * P < 0,05; NS No significativo

La comparación de medias presentada en la Figura 28 evidencia diferencias significativas entre los tratamientos aplicados y el testigo. Con la aplicación de abono en diferentes niveles (factores); se representaron por la letra A, donde las plantas alcanzaron un promedio de 11 hojas por planta, mientras que el testigo se representó con la letra B, alcanzando un promedio de 9 hojas por planta, resultados que son estadísticamente diferentes. Esto indica que los tratamientos influyeron de manera significativa en el crecimiento foliar del cultivo.

**Figura 28. Número de hojas/planta con los factores en comparación al testigo**

Según Jaramillo (2019), la aplicación de gallinaza en el cultivo de apio mostró que la dosis más alta de 60 t/ha produjo un promedio de 13 hojas por planta, significativamente mayor que la dosis mínima de 30 t/ha, que alcanzó solo 8 hojas. Las dosis intermedias de 40 t/ha

y 50 t/ha mostraron promedios similares de 15 hojas, sin diferencias significativas entre ellas.

Además, señala que la similitud en los promedios observada en las dosis intermedias podría indicar un umbral a partir del cual el aumento de la dosis no genera diferencias significativas en el número de hojas, destacando la importancia de optimizar la cantidad de fertilizante para lograr un desarrollo eficiente de la planta.

Machaca (2007), en su investigación con diferentes niveles de estiércol ovino en el cultivo de apio, reportó un promedio de 10 pencas por planta. Este resultado evidencia que la fertilización orgánica contribuye al incremento en el número de pencas, parámetro directamente relacionado con el rendimiento comercial del cultivo.

Cusi (2020), en su investigación con diferentes variedades de apio, realizó tres cosechas durante el ciclo del cultivo y obtuvo un promedio de 12 pencas por planta. Este resultado muestra un adecuado comportamiento productivo, evidenciando que el número de pencas puede mantenerse constante a lo largo de varias cosechas, lo cual constituye un indicador relevante de rendimiento y calidad en el cultivo de apio.

El número de hojas, también denominado número de pencas, no presentó similitudes con los reportados en investigaciones previas, lo que podría deberse a la cantidad de deshije de chupones, ya que este manejo influye directamente en la formación de nuevas pencas. En la presente investigación, se registró un promedio de 11 hojas, medido de manera continua durante todo el ciclo de producción a medida que se realizaba el deshije del cultivo.

4.2.6. Peso de la planta al corte (g)

El análisis de varianza del Cuadro 12, muestra que el factor niveles presentó un efecto altamente significativo ($p = 0,0006$) sobre la variable evaluada, mientras que el factor tipos de abono tuvo un efecto significativo ($p = 0,0195$). Esto evidencia que tanto la cantidad como el tipo de abono influyeron de manera directa en el comportamiento del cultivo. Por otro lado, la interacción niveles con tipos de abono no resultó significativa ($p = 0,1022$), lo que indica que el efecto de los niveles de aplicación se manifestó de manera independiente al tipo de abono utilizado. Asimismo, el efecto de bloques fue significativo, sugiriendo variabilidad asociada a las condiciones del campo experimental.

El coeficiente de variación ($CV = 7,52 \%$) demuestra que la variabilidad experimental fue baja, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el peso de la planta (g)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	6109,11361	1	6109,11361	2,99	0,1347 NS
Bloque	8653,55412	2	4326,77706	6,2	0,0442 *
Niveles	84364,26793	3	28121,42264	40,31	0,0006 **
Error (a)	3487,76554	5	697,55311		
Tipos de abono	20477,48302	1	20477,48302	10,01	0,0195 *
Niveles*Tipos	13984,73754	2	6992,36877	3,42	0,1022 NS
Error (b)	12276,0781	6	2046,013		
Total	149352,9999	20			

**P < 0,001; * P < 0,05; NS No significativo

En la Figura 29 se presenta el análisis de medias para los diferentes niveles de abono. Se conformaron dos grupos estadísticos, identificados con las letras A y B, lo que evidencia la existencia de diferencias significativas entre ellos. En el primer grupo fue representado por los tratamientos de 15 g/p y 10 g/p, los cuales alcanzaron pesos promedio de 674,21 g y 624,21 g, respectivamente, sin diferencias significativas entre sí. En contraste, el segundo grupo estuvo conformado por el tratamiento de 5 g/planta, con un peso promedio de 551,51 g/p, y el testigo, que registró 512,61 g/. Estos resultados confirman que la aplicación de abonos orgánicos incrementó significativamente el peso promedio de las plantas en comparación con el testigo, siendo más notorio el efecto en los niveles de 10 y 15 g/planta.

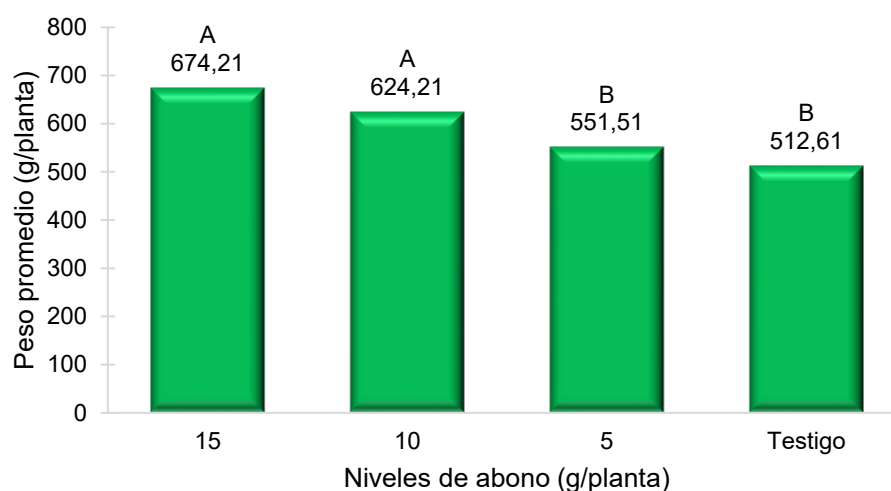


Figura 29. Peso de la planta (g) con los niveles de abono

La prueba de medias de Duncan presentada en la Figura 30, correspondiente a los tipos de abono, evidenció la conformación de tres grupos estadísticos identificados con las letras A, B y C, lo que demuestra la existencia de diferencias significativas entre ellos. En el primer grupo se ubicó el tratamiento con ceniza, que alcanzó un peso promedio de 650,37 g. El segundo grupo estuvo conformado por el tratamiento con gallinaza, con un promedio de 582,91 g. Finalmente, el tercer grupo correspondió al testigo, con un valor promedio de 512,61 g. Estos resultados confirman que la aplicación de abonos orgánicos ejerció un efecto positivo en el incremento del peso de las plantas de apio en comparación con el testigo.

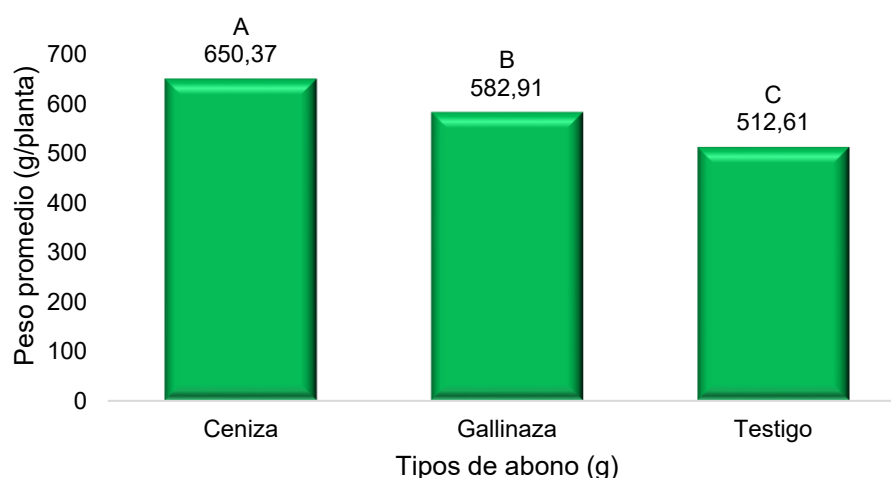


Figura 30. Peso de la planta (g) con los tipos de abono

Jaramillo (2019) reporta que la aplicación de gallinaza en el cultivo de apio estimula en el peso promedio. En su investigación, la dosis más alta de 60 t/ha alcanzó un peso promedio de 771 g por planta, mientras que con 50 t/ha se obtuvo un promedio de 519 g por planta. Estos resultados indican que la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, favorece el desarrollo vegetativo y la acumulación de biomasa, lo que se traduce en un incremento significativo del rendimiento del cultivo.

Prodar (2000), menciona que los valores más comerciales son el conjunto de pencas que se encuentran entre 460 y 620 g, además señala que un apio de gran calidad tiene tallos bien formados, pecíolos gruesos, compactos poco curvados, una apariencia fresca y color verde claro. Otros índices de calidad son el largo de los tallos y de la nervadura central de

la hoja, ausencia de defectos tales como: pecíolos esponjosos, tallos florales y partiduras, así como ausencia de daños por insectos y pudriciones.

Los resultados de la presente investigación muestran un mayor rendimiento en comparación con estudios previos (650 g > 620 g), lo que puede atribuirse a la ubicación estratégica del abono, que permitió un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de la planta, en contraste con la aplicación generalizada en todo el terreno, menos eficiente para el cultivo.

4.2.7. Rendimiento del cultivo (t/ha)

En el Cuadro 13 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento, donde se evidenciaron diferencias altamente significativas entre los niveles de abono ($p = 0,0007$), lo que confirma que las distintas dosis aplicadas influyeron de manera diferenciada en la producción del cultivo. Asimismo, se observaron diferencias significativas entre los tipos de abono ($p = 0,0197$), lo que indica que cada fuente orgánica actuó de forma distinta sobre el rendimiento. En contraste, el efecto de los bloques mostró únicamente una tendencia a la significancia ($p = 0,0500$), mientras que la interacción entre niveles y tipos de abono no alcanzó significancia estadística ($p = 0,0991$).

Finalmente, el contraste entre los tratamientos con abono y el testigo no presentó diferencias significativas ($p = 0,134$), por lo que el efecto directo de esta comparación no fue estadísticamente comprobable. El coeficiente de variación (CV) fue de 7,52 %, lo cual se considera bajo en términos estadísticos. Este valor refleja que la variabilidad experimental fue reducida y que los datos presentaron una alta homogeneidad entre repeticiones.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo (t/ha)

FV	SC	GL	CM	F	Pr > F
Tes vs Fac	37,149	1	37,149	3,00	0,134 NS
Bloque	52,761	2	26,381	6,17	0,050 NS
Niveles	510,354	3	170,118	39,80	0,0007 **
Error (a)	21,370	5	4,274		
Tipos de abono	123,245	1	123,245	9,95	0,0197 *
Niveles*Tipos	86,263	2	43,132	3,48	0,0991 NS
Error (b)	74,327	6	12,388		
Total	905,470	20			

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; NS No significativo

La prueba de comparación de medias de la Figura 31 corresponde al rendimiento del cultivo de apio en función de los niveles de abono aplicados. Los resultados muestran la conformación de dos grupos estadísticos representados por (A y B), lo que evidencia las diferencias significativas entre ellos. En el primer grupo se ubicaron los niveles de 15 g/p (52,43 t/ha) y 10 g/p (48,55 t/ha), que alcanzaron los mayores valores en promedio, sin diferencias estadísticas entre sí, pero significativamente superiores respecto al segundo grupo, conformado por 5 g/p (42,90 t/ha) y el testigo (39,87 t/ha). Estos resultados confirman que niveles de abono incrementan significativamente la productividad del apio, mientras que niveles menores o la ausencia limitan la producción, destacando la importancia de una adecuada disponibilidad de nutrientes para optimizar el rendimiento en el altiplano.

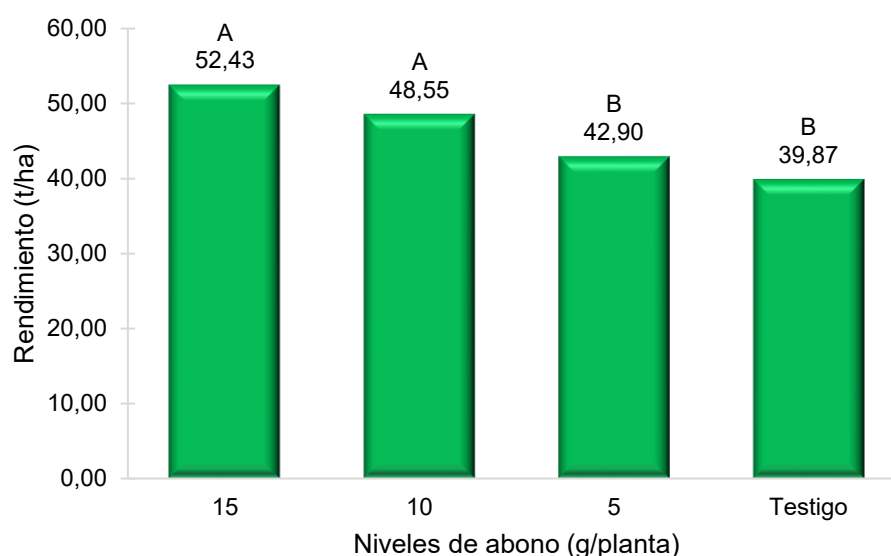


Figura 31. Rendimiento del cultivo (t/ha) con los niveles de abono.

El análisis de comparación de medias evidenció diferencias significativas entre los tipos de abono aplicados sobre el rendimiento del cultivo (Figura 32), conformándose tres grupos estadísticos representados por las letras A, B y C. El mayor rendimiento se obtuvo con la ceniza, alcanzando 50,58 t/ha, siendo superior a los demás tratamientos. En el segundo grupo, la gallinaza registró 45,34 t/ha, mostrando un efecto intermedio, mientras que el testigo sin abonamiento presentó el menor rendimiento, con 39,87 t/ha. Estos resultados confirman que la aplicación de abonos orgánicos, especialmente la ceniza de gallinaza, incrementa significativamente el rendimiento del cultivo, diferenciándose estadísticamente de la gallinaza y superior al testigo.

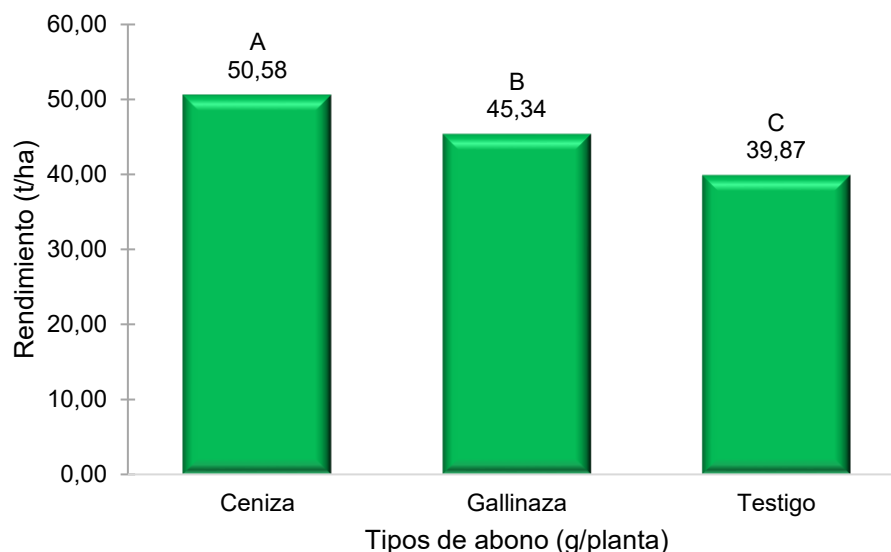


Figura 32. Rendimiento del cultivo (t/ha) con los tipos de abono

En la Figura 33, se muestra la comparación de medias para la interacción entre los niveles de abono y los tipos de abono (gallinaza y ceniza de gallinaza) sobre el rendimiento del cultivo de apio. La representación con letras A y B demuestra que existen diferencias significativas entre sí, en el cual se evidencia un comportamiento ascendente del rendimiento a medida que se incrementan las dosis aplicadas, tanto en la gallinaza como en su ceniza. En el testigo, los rendimientos fueron los más bajos, alcanzando 39,87 t/ha, con 5 g/p de gallinaza y ceniza alcanzaron un rendimiento de 42,53 y 43,27 t/ha sin diferencias estadísticas significativas entre ambos. Sin embargo, al incrementar la dosis a 10 g/p, se registró una respuesta marcada, especialmente con el uso de ceniza de gallinaza, que alcanzó 54,13 t/ha, superando significativamente a la gallinaza (42,97 t/ha), ubicándose ambas en el segundo grupo.

A la dosis de 15 g/p, los valores máximos de rendimiento se mantuvieron, con 50,53 t/ha para gallinaza y 54,33 t/ha para ceniza de gallinaza, sin diferencias estadísticas significativas respecto a la dosis de 10 g/planta, lo que sugiere que el incremento de abono más allá de dicho nivel no genera mejoras sustanciales en el rendimiento. En general, la ceniza de gallinaza mostró un comportamiento superior a la gallinaza en todos los niveles evaluados, indicando mayor liberación e eficiente de elementos esenciales para el desarrollo del apio.

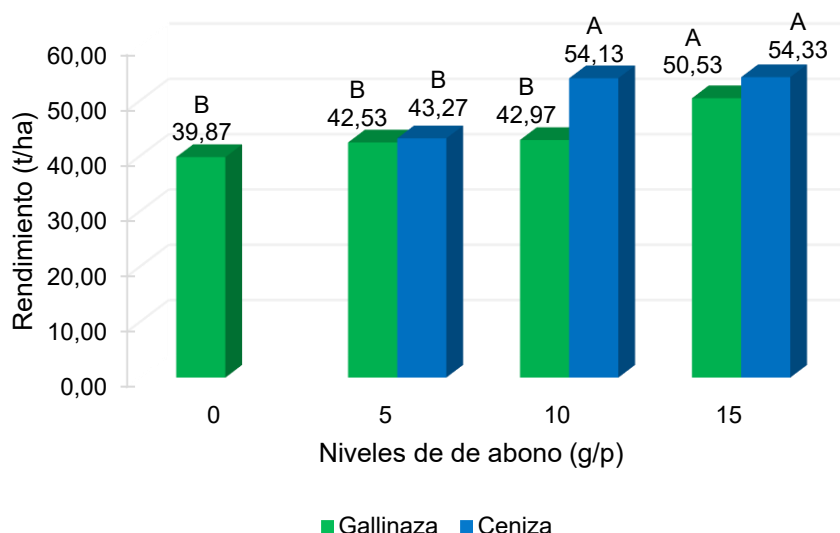


Figura 33. Interacción de tratamientos en el rendimiento del cultivo (t/ha)

En la Figura 34, se visualiza el análisis de regresión, en donde la ecuación lineal indica que, por cada gramo adicional de gallinaza aplicado por planta, el rendimiento incrementa en promedio 0,6485 t/ha y el coeficiente de determinación es bajo ($R^2=0,8349$), lo que significa que el modelo lineal explica el 83,49 % de la variabilidad del rendimiento. Esto refleja el comportamiento del apio con gallinaza no es completamente lineal, sino que tiende a un leve aumento progresivo, alcanzando en el nivel más alto evaluado (15 g/planta) un rendimiento de aproximadamente 50,53 t/ha.

La ecuación polinómica sigue una tendencia curvilínea, el coeficiente de x^2 positivo, indica que la función es convexa y ascendente. Esto significa que, dentro del rango evaluado, el rendimiento aumenta progresivamente conforme se incrementa la dosis de ceniza, sin evidenciarse aún un punto de inflexión descendente. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,9304$) confirma un ajuste confiable del modelo, explicando el 93,04 % de la variabilidad del rendimiento y reflejando visualmente una curva que se acentúa a medida que se incrementa la dosis.

Para determinar el rendimiento máximo se calculó el vértice de la parábola abierta hacia arriba ($0,0049x^2 - 0,087x + 40,338$), aplicando la primera derivada de la función de regresión cuadrática mediante la siguiente fórmula (Vargas *et al.*, 2021), (Popoola *et al.*, 2015):

$$x = -\frac{b}{2a} = -\frac{-0,087}{2(0,049)} = 0,89 \text{ g/planta}$$

$$y = 0,049(0,89)^2 - 0,087(0,89) + 40,338 = 40,29 \text{ t/ha}$$

En este punto, el rendimiento estimado alcanza 40,29 t/ha, valor que corresponde al mínimo rendimiento teórico. Esto indica que el modelo cuadrático no genera un punto de máximo, sino más bien un mínimo. En consecuencia, los mayores rendimientos se obtienen con dosis elevadas de gallinaza, alcanzando en el nivel máximo evaluado (15 g/planta) producciones superiores a 50 t/ha.

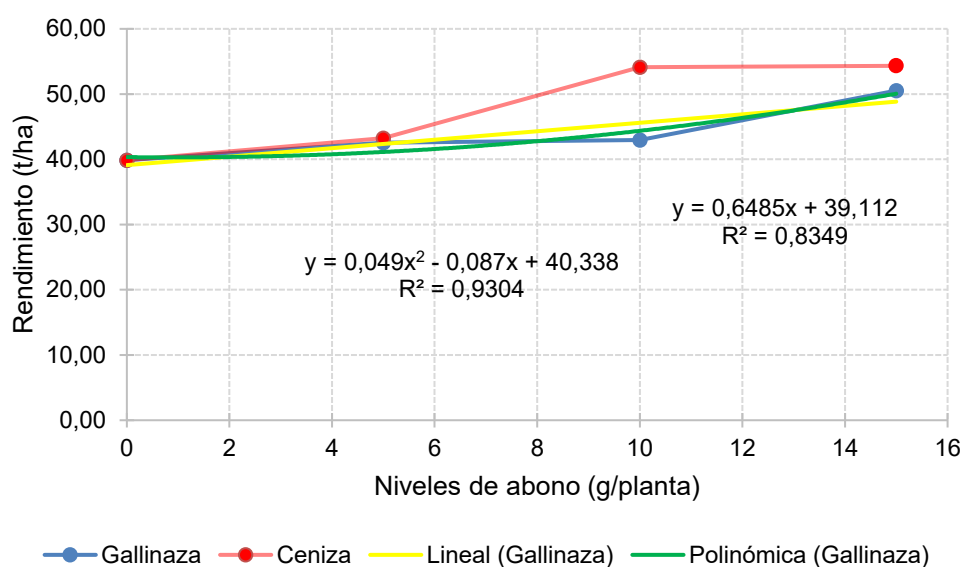


Figura 34. Análisis de Regresión de gallinaza en el rendimiento (t/ha)

En la Figura 35 se presenta el análisis de regresión para los niveles de ceniza aplicado en el cultivo de apio. La ecuación lineal indica que, por cada gramo adicional de ceniza por planta, el rendimiento aumenta en promedio 1,0851 t/ha. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,8857$) explica el 88,57 % de la variabilidad en rendimiento, lo que demuestra un ajuste confiable del modelo.

La ecuación polinómica describe una parábola cóncava ($-0,032$), lo que indica que el rendimiento aumenta conforme se incrementa la dosis de ceniza hasta alcanzar un punto máximo, a partir del cual tiende a disminuir levemente. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,901$) evidencia un ajuste muy elevado, explicando aproximadamente el 90,1 % de la variabilidad del rendimiento en función de la dosis aplicada. De este modo, se observa que

el rendimiento se incrementa de manera consistente con el aumento de la dosis de ceniza, hasta alcanzar un nivel óptimo, para posteriormente estabilizarse.

Para determinar el rendimiento óptimo, se calculó mediante la ecuación cuadrática $-0,032x^2 + 1,5646x + 38,963$ obtenida. Este valor se obtuvo, utilizando la siguiente expresión matemática, de acuerdo con la metodología propuesta por Vargas *et al.* (2021) y Popoola *et al.* (2015):

$$x = -\frac{b}{2a} = -\frac{1,5646}{2(-0,032)} = 24,45 \text{ g/planta}$$

$$y = -0,032(24,45)^2 + 1,5646(24,45) + 38,963 = 58,09 \text{ t/ha}$$

De acuerdo con el modelo ajustado, se predice un rendimiento máximo teórico de 58,09 t/ha al aplicar 24,45 g/planta de ceniza. En el rango experimental evaluado, la curva de respuesta presenta una tendencia creciente: el rendimiento mejora progresivamente al incrementar la dosis desde 0 hasta 15 g/planta, y, según la proyección del modelo, continuaría aumentando hasta valores superiores a 24 g/planta, antes de presentar un descenso. Sin embargo, es importante señalar que las predicciones realizadas fuera del rango experimental observado podrían no reflejar con exactitud la realidad agronómica, debido a posibles efectos no contemplados en el modelo, tales como toxicidad, desequilibrios nutricionales o limitaciones propias del cultivo y del suelo.

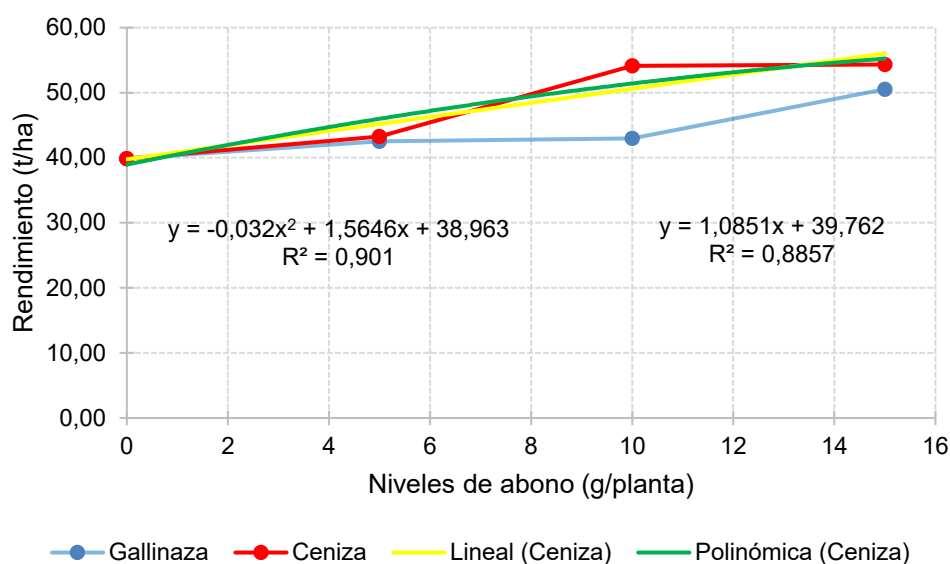


Figura 35. Análisis de Regresión para niveles de ceniza en el rendimiento (t/ha)

Los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento se relacionan directamente con el alto contenido de N (1,39%), P (1,13%) y K (1,48%) de la gallinaza, que aportaron nutrientes esenciales para el crecimiento vegetativo y la formación de biomasa comercial. Aunque la gallinaza presentó una conductividad eléctrica de 5,09 dS/m y una relación C/N de 26,84, que podrían provocar inmovilización temporal de nitrógeno y estrés salino, la liberación progresiva de nutrientes compensó estos efectos, logrando una producción significativamente superior respecto a la mayoría de tratamientos.

Por otro lado, la ceniza de gallinaza, con un pH muy alcalino (11,25), alta salinidad (11,08 dS/m) y bajo contenido de carbono orgánico (4,18%), mostró limitaciones en dosis de 5 y 10 g/planta (42 t/ha). Sin embargo, con 15 g/planta se alcanzó 50,54 t/ha, debido a su elevado aporte de P (4,90%) y K (7,96%), nutrientes clave en la formación de raíces y tallos. Estos resultados indican que, pese a los riesgos de pH alto y exceso de sales, la disponibilidad inmediata de fósforo y potasio favoreció rendimientos competitivos. En conjunto, los análisis químicos explican por qué las dosis altas, especialmente de gallinaza, superaron los 50 t/ha y se diferenciaron estadísticamente de los demás tratamientos y testigos.

A pesar de que los abonos aplicados presentaban niveles elevados que podrían considerarse riesgosos, la combinación con un suelo de alta salinidad y el uso de semilla F1 permitió que estas dosis fueran adecuadas. La salinidad limitó parcialmente la absorción de nutrientes, evitando efectos tóxicos, mientras que la semilla F1 aprovechó eficientemente los nutrientes disponibles y la elevada concentración de materia orgánica del suelo, favoreciendo un desarrollo vegetativo óptimo. Como resultado, el cultivo de apio alcanzó un alto rendimiento en 63 días, demostrando que, en estas condiciones, la fertilización aplicada fue correcta y efectiva frente a los desafíos del suelo.

La elevada fertilidad del suelo, caracterizada por un contenido de materia orgánica del 13,60 % y una textura franco arcillosa, favoreció la adecuada retención de agua y nutrientes. Estas condiciones edáficas contribuyeron a amortiguar parcialmente los efectos adversos de la salinidad y del pH, permitiendo así potenciar la respuesta positiva en el desarrollo del cultivo.

Según los resultados reportados por Núñez (2020), en su investigación sobre el cultivo de apio utilizando abonamiento con gallinaza y ceniza de madera, alcanzó rendimientos que oscilaron entre 35 y 45 t/ha. El mayor rendimiento fue con la aplicación de gallinaza a razón

de 66 t/ha, logrando 45 t/ha de producción, seguido del tratamiento con ceniza de madera a 4 t/ha, que alcanzó un rendimiento de 40 t/ha. Estos resultados confirman el efecto positivo del uso de enmiendas orgánicas sobre la productividad del cultivo de apio, destacando la importancia de la gallinaza como fuente de nutrientes esenciales y la ceniza como mejorador complementario del suelo.

Quispe (2020) evaluó el efecto de diferentes dosis de gallinaza (3, 6 y 9 t/ha), combinadas con fertilización química, sobre el rendimiento de dos variedades de apio (*Golden Selfblanching* y *Perseo*) en la localidad de Canaán, Ayacucho. Los resultados mostraron que la variedad *Perseo* alcanzó su mayor productividad con la aplicación de 9 t/ha de gallinaza, logrando un rendimiento de 114,07 t/ha. Asimismo, se evidenció que la combinación con fertilizantes químicos potenció el desarrollo y rendimiento de ambas variedades, demostrando que la integración de abonos orgánicos y minerales puede generar efectos sinérgicos en la producción del cultivo de apio.

Sendra (2011) señala que, durante la cosecha manual del apio, se seleccionaron plantas con un peso superior a 500 g, alcanzando en algunas variedades hasta 1 500 g por planta, lo que permitió obtener un rendimiento aproximado de 60 a 90 t/ha. Estos resultados evidencian el alto potencial productivo del cultivo cuando se desarrolla bajo condiciones adecuadas de manejo y fertilización, resaltando la importancia de aplicar prácticas agronómicas que optimicen el crecimiento y la calidad del apio.

Cusi (2020), en su investigación sobre el efecto de diferentes niveles de biól en variedades de apio, reportó un rendimiento promedio de 13,26 kg/m² para la variedad *Golden Blanchino* y de 13,25 kg/m² para la variedad *Tall Utah 52-70*. El biól favoreció en el rendimiento del cultivo sin generar diferencias estadísticas marcadas entre los genotipos.

Los resultados obtenidos en esta investigación son inferiores a los reportados en estudios previos, lo que puede deberse a la menor cantidad de abono aplicada, ya que las investigaciones de referencia emplearon hasta 9 t/ha de gallinaza y 35 t/ha de ceniza, mientras que en el presente estudio las dosis no superaron 1 t/ha de cada uno. A pesar de ello, se lograron rendimientos rentables superiores a 50 t/ha, y el análisis de regresión indica que, teóricamente, mayores dosis de abono podrían incrementar aún más el rendimiento del cultivo.

4.3. Análisis Económico

4.3.1. Beneficio Bruto

El análisis económico de los tratamientos aplicados evidencia diferencias importantes en el ingreso bruto, calculado como el producto del rendimiento ajustado (5%) por el precio unitario del producto (2,5 Bs/kg) (Cuadro 14); lo cual se detalla a continuación:

El tratamiento testigo (T0) registró el ingreso bruto más bajo (Bs 298.999,88), asociado a su menor rendimiento ajustado (119.600,00 kg/ha), lo que indica que la ausencia de abonamiento limita el beneficio económico. Los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron incrementos moderados en el ingreso bruto, con valores comprendidos entre Bs 318.999,88 y Bs 324.499,88, reflejando una respuesta positiva pero limitada frente a las intervenciones aplicadas.

Por otro lado, los tratamientos T4, T5 y T6 alcanzaron los mayores ingresos brutos, superando los Bs 378.999,88, debido a sus elevados rendimientos ajustados 151.599,99 a 162.999,95 kg/ha). Destacan T6 con Bs 407.499,88, mostrando que estas alternativas representan las estrategias más rentables desde el punto de vista de ingresos brutos. Finalmente, el análisis de ingresos brutos permitió identificar que los tratamientos T4 y T6 son las opciones más eficientes, generando los mayores beneficios económicos, lo que los convierte en alternativas viables para maximizar la productividad del cultivo.

Cuadro 14. Análisis de ingreso bruto (Bs/ha)

Tratamientos	Costos de producción (Bs/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Precio (Bs/kg)	Rend ajustado (kg/ha)	Ingreso Bruto (Bs/ha)
T0	236200,00	119600,00	2,5	119.599,95	298.999,88
T1	237700,00	127600,00	2,5	127.599,95	318.999,88
T2	237000,00	129800,00	2,5	129.799,95	324.499,88
T3	238500,00	128900,00	2,5	128.899,95	322.249,88
T4	237300,00	162400,00	2,5	162.399,95	405.999,88
T5	239900,00	151600,00	2,5	151.599,95	378.999,88
T6	238100,00	163000,00	2,5	162.999,95	407.499,88

4.3.2. Beneficio Neto

En el Cuadro 15 se presenta el análisis del ingreso neto (Bs), calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y los costos de producción. El mayor beneficio neto correspondió al

tratamiento T6, con un valor de Bs 169.399,88, seguido de cerca por el tratamiento T4, que alcanzó Bs 168.699,88. Los tratamientos T1, T2, T3 y T5 registraron beneficios netos intermedios de Bs 81.299,88, 87.499,88, 83.749,88 y 139.099,88, respectivamente. Finalmente, el testigo presentó el ingreso neto más bajo, con un valor de Bs 62.799,88.

Cuadro 15. Análisis de ingreso neto

Tratamientos	Costos de Producción (Bs/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Precio (Bs/kg)	Rend. ajustado (kg/ha)	Ingreso Bruto (Bs/ha)	Ingreso Neto (Bs)
T0	236.200,00	119.600,00	2,5	119.599,95	298.999,88	62.799,88
T1	237.700,00	127.600,00	2,5	127.599,95	318.999,88	81.299,88
T2	237.000,00	129.800,00	2,5	129.799,95	324.499,88	87.499,88
T3	238.500,00	128.900,00	2,5	128.899,95	322.249,88	83.749,88
T4	237.300,00	162.400,00	2,5	162.399,95	405.999,88	168.699,88
T5	239.900,00	151.600,00	2,5	151.599,95	378.999,88	139.099,88
T6	238.100,00	163.000,00	2,5	162.999,95	407.499,88	169.399,88

La relación beneficio/costo (B/C) del Cuadro 16, se obtuvo dividiendo el ingreso neto entre los costos de producción. Los resultados muestran que los mayores valores correspondieron a los tratamientos T4 y T6, con una relación B/C de 1,71 en ambos casos, sustentados por rendimientos de 162.900,95 y 162.399,95 kg/ha, respectivamente. Esto significa que por cada Bs 1 invertido se generó una ganancia de Bs 0,71, lo que demuestra que dichos tratamientos son altamente rentables y, por lo tanto, recomendables para su aplicación tanto en condiciones de producción a pequeña escala como en superficies de mayor extensión. El tratamiento T5 presentó una relación B/C de 1,58 lo cual indica que por cada Bs 1 invertido se obtuvo una ganancia de Bs 0,58. Aunque este valor es inferior al de los tratamientos T4 y T6, resulta superior al resto de los tratamientos, confirmando también su rentabilidad.

En un rango intermedio se ubicaron los tratamientos T3, T2 y T1, con rendimientos de 128.899,95 ,129.799,95 y 127.599,95, kg/ha, y relaciones B/C de 1,35, 1,37 y 1,34, respectivamente. Estos valores reflejan igualmente una condición de rentabilidad positiva, dado que en todos los casos la relación superó la unidad. Finalmente, el testigo alcanzó un rendimiento de 119.599,95 kg/ha, con una relación B/C de Bs 1,27. Esto indica que por cada Bs 1 invertido se obtuvo una ganancia de Bs 0,27. Aunque el valor fue menor en comparación con los tratamientos, el resultado sigue mostrando rentabilidad, atribuible a las condiciones nutricionales naturales del suelo.

Cuadro 16. Análisis de la relación beneficio costo (kg/ha)

Tratamientos	Costos de Producción (Bs/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Precio (Bs/kg)	Rend ajustado (kg/ha)	Ingreso Bruto (Bs/ha)	Ingreso Neto (Bs)	B/C	B/C Neto
T0	236.200,00	119.600,00	2,5	119.599,95	298.999,88	62.799,88	1,27	0,27
T1	237.700,00	127.600,00	2,5	127.599,95	318.999,88	81.299,88	1,34	0,34
T2	237.000,00	129.800,00	2,5	129.799,95	324.499,88	87.499,88	1,37	0,37
T3	238.500,00	128.900,00	2,5	128.899,95	322.249,88	83.749,88	1,35	0,35
T4	237.300,00	162.400,00	2,5	162.399,95	405.999,88	168.699,88	1,71	0,71
T5	239.900,00	151.600,00	2,5	151.599,95	378.999,88	139.099,88	1,58	0,58
T6	238.100,00	163.000,00	2,5	162.999,95	407.499,88	169.399,88	1,71	0,71

4.4. Verificación de la hipótesis

De acuerdo con las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos en la investigación, se procedió a la verificación de las mismas de la siguiente manera:

En relación con el comportamiento agronómico y el rendimiento del cultivo de apio (*Apium graveolens* L.) bajo la aplicación de diferentes niveles de gallinaza y ceniza de gallinaza, se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, al demostrarse que la aplicación de estos abonos orgánicos influye de manera positiva en el desarrollo de las variables agronómicas y en el incremento del rendimiento del cultivo.

5. CONCLUSIONES

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

- El análisis de las variables agronómicas permitió determinar que el uso de gallinaza y ceniza de gallinaza promovió un crecimiento superior en el cultivo de apio respecto al testigo. Las dosis más altas, particularmente 15 g/planta, evidenciaron incrementos significativos en la altura de planta, longitud y diámetro del pecíolo, y número de hojas, variables que determinan la calidad comercial del apio. La gallinaza proporcionó un efecto notable en el desarrollo vegetativo, debido a su alto contenido de nitrógeno y materia orgánica, mientras que la ceniza aportó minerales como fósforo, potasio y calcio, esenciales para el fortalecimiento estructural de los tejidos vegetales. Estos resultados confirman que ambos abonos orgánicos mejoran de forma integral las características morfológicas del apio bajo condiciones controladas de producción.
- Los tratamientos con mayores dosis de abonos orgánicos (T4 y T6) presentaron los rendimientos más altos, alcanzando valores de 52,53 y 48,55 t/ha respectivamente. Estos resultados superaron ampliamente al testigo, lo que demuestra que tanto la gallinaza como la ceniza de gallinaza incrementaron significativamente la productividad del cultivo. La ceniza, en especial, generó un efecto positivo por su alto contenido de potasio y fósforo, nutrientes que intervienen directamente en la formación de tejidos y el llenado de tallos. De este modo, se confirma que la aplicación de niveles adecuados de abonos orgánicos locales constituye una estrategia eficaz para incrementar los rendimientos agrícolas de manera sostenible.
- El análisis económico evidenció que todos los tratamientos resultaron rentables ($B/C > 1$); sin embargo, las dosis de 15 g/planta de gallinaza y ceniza de gallinaza fueron las más favorables, alcanzando una relación B/C de 1,71. Esto implica que por cada boliviano invertido se obtuvo una ganancia de Bs 0,71, demostrando la rentabilidad del cultivo con el uso de abonos orgánicos. En consecuencia, se reafirma que la utilización de gallinaza y su ceniza no solo mejora los rendimientos agronómicos, sino que también incrementa los beneficios económicos, representando una alternativa viable y de bajo costo para los productores del altiplano.

6. RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda la aplicación de 10 a 15 g/planta de ceniza y gallinaza, dado que estas dosis generaron los mejores resultados en crecimiento y rendimiento, garantizando una producción de alta calidad comercial y económica.
- Promover el uso continuo de abonos orgánicos locales como la gallinaza y su ceniza para mantener la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y reducir la dependencia de insumos químicos, favoreciendo una agricultura sostenible y ecológicamente responsable.
- Fomentar programas de capacitación dirigidos a pequeños y medianos productores sobre la correcta preparación, manejo y aplicación de estos abonos orgánicos, con el fin de optimizar los recursos locales y aumentar la rentabilidad productiva.
- Desarrollar investigaciones futuras que analicen el efecto residual de la gallinaza y su ceniza sobre el suelo, así como su impacto en la calidad nutricional del apio, para establecer recomendaciones técnicas más precisas de manejo agronómico.
- Aprovechamiento de prácticas orgánicas en las zonas agrícolas del altiplano paceño mediante políticas de apoyo institucional y programas de investigación, impulsando una producción limpia, rentable y sostenible para el desarrollo agroalimentario local.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEFA. 2012. Abono orgánico. España. 3 p. Disponible en <https://aeфа-agronutrientes.org/abono-organico?utm.com>
- Aguirre, J. 2011. Suelos, Abonos y Enmiendas. 2da ed. SA Dossat (ed.). Plaza Santa Ana 9, Madrid, España Chapman and Hall, New Cork, U. S. A. Consultado 04 May. 2024.
- AgroEs. 2025. Apio taxonomía descripciones botánicas morfológicas fisiológicas y ciclo biológico. España. 10 p. Disponible en https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivoshuerta-horticultura/apio/376-apio-descripcion-morfologia-y-ciclo?utm_source=.com
- Agroproyecto. 2023. Usos y aplicaciones de la ceniza en la agricultura. Mexico. 2 p. Disponible en <https://agroproyectos.org/usos-ceniza-en-la-agricultura/?utm.com>
- Agrovoc. 2024. Abono orgánico. Roma, Italia. Disponible en https://agrovoc.fao.org/browse/agrovoc/es/page/c_4592
- Altamirano, A. y Terán, A. 2005. Bosques nativos andinos de Bolivia. Recopilación, descripción y análisis documental. Programa de bosques nativos y agro ecosistemas andinos, PROBONA. La Paz, Bolivia. 22p. Consultado 07 Ago. 2024.
- Bioproj. 2024. Gallinaza el abono que revoluciona la agricultura sostenible. Mexico. 2 p. Disponible en <https://bioproj.com/blog/agricultura/gallinaza-el-abono-que-revoluciona-la-agricultura-sostenible?utm.com>
- Blogger. 2013. Cultivo de Apio. 2 p. Disponible en <https://cultivodeapio.blogspot.com/2013/09/taxonomia-y-morfologia.html>
- Brown, J. 2014. Regresión lineal simple. En: Modelos lineales en forma matricial. Springer, Cham. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-319-11734-8_2
- Cadena, M. 2014. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de humus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L), bajo ambiente protegido. La Paz, Bolivia. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 55p.
- Calle, J. 2023. Evaluación de la producción de dos Variedades de Apio (*Apium Graveolens*) Bajo diferentes tiempos de corte en el sistema NFT en el centro experimental de Cota Cota – La Paz. Tesis Ing, Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 78 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/32084/T-3139.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cañar, J. 2021. Comportamiento Agronómico del Cultivo de Acelga Cultivar Fordhook Giant con diferentes Fertilizantes Orgánicos en la Granja Experimental Santa Inés. Tesis Ing. Agr. Universidad Tecnica de Machala. 78 p. Disponible en <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17465/1/TTUACA-2021-IA-DE00047.pdf>

- Carrera, H. 2015. Comportamiento Agronómico del cultivo de Acelga (*Beta Vulgaris* L) con diferentes Abonos Orgánicos en el Colegio Pueblo Nuevo el empalme Año 2014. Tesis Ing. Agr. Los Ríos, Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 111 p. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/da6b4434-12ec-4bfe-aa58-cbf1b609a7f5/content>
- Chilon, E. 2010. Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Ediciones CIDAC. La Paz - Bolivia. 185p.
- Cempa, M. 2022. Ash from Poultry Manure Incineration as a Substitute for Phosphorus Fertiliser. 17 p. Disponible en <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9102058/>
- Cervoni, B. 2024. Celery Nutrition Facts and Health Benefits. Estados Unidos. 6 p. Disponible en <https://www.verywellfit.com/celery-nutrition-facts-calories-and-their-health-benefits-4115076>
- Choque, B. 2021. Evaluación de dos Variedades de Apio (*Apium Graveolens*) en tres densidades de trasplante en sistema hidropónico (NFT), en el centro experimental de Cota Cota - La Paz. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 100 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25766/T-2855.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CuídatePlus. 2018. Cinco propiedades del apio que te harán incluirlo en tu dieta. Madrid, España. 2 p. Disponible en <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2016/03/23/cinco-propiedades-apio-haran-incluirlo-dieta-111678.html>
- Cusi, L. 2020. Efecto de tres niveles de biol en el comportamiento productivo de dos variedades de apio (*Apium graveolens* L.), bajo ambiente protegido, en el Centro Experimental de Cota Cota. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/24906/T-2774.pdf?sequence=1>
- Cruzalegui, Z. 2022. Edad del trasplante y su Influencia en las características agronómicas y rendimiento en *Apium Graveolens* L. Apio Zungarococha Loreto 2019. Tesis Ing. Agr. Iquitos, Perú Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 62 p. Disponible en: <https://api-repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/522957eb-80df-444e-b7a2-2019ca33c254/content>
- Delgado, M., Miralles, R., Peralta, F., Rodríguez C., y Sánchez, V. (2013). Concentración de metales pesados en suelos, plantas, lombrices y lixiviados provenientes de gallinaza aplicada a suelos agrícolas. Revista internacional de contaminación ambiental. 50p. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/33803>
- Del Pino, M. 2018. Guía didáctica: cultivo y producción de apio (en línea). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: www.agro.unlp.edu.ar

- Ecologia. 2016. Los beneficios de agregar ceniza a los árboles frutales. Consultado 04 May. 2024. Disponible en <https://www.sport.es/es/noticias/actualidad/beneficios-agregar-ceniza-arboles-frutales-96372242>
- Ecoseedbank. 2025. Tendercrisp Celery Seeds. Canada. 4 p. Disponible en <https://ecoseedbank.com/products/celery-seeds-tendercrisp?srsId=AfmBOopWCaO87Moj78sK6GyMXK-WnwEsUglZVzTI87Ibxo9ez4znMzv>
- Experts, F. 2024. Qué son los abonos orgánicos. Polonia. 4 p. Disponible en <https://foodcom.pl/es/que-son-los-abonos-organicos/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2002. Conceptos y temas generales de la Agricultura Orgánica. Roma, Italia. 15 p. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2de7bfd1-145d-4c70-b563-8a2547d1b307/content/y4137s03.htm?utm.com>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2025. Statistics. Roma, Italia. Disponible en <https://www.fao.org/statistics/en?utm.com>
- Flores, A. 2007. Efecto de Abonos Líquidos Orgánicos en el Cultivo de Acelga (*Beta Vulgaris* Var. *Cicla* L.) bajo Ambiente atemperado en el Distrito Seis en la Ciudad de El Alto. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 95 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4248/T-1194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Giraldo, M. 2022. Conjunto tecnológico para la producción de Apio. Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 33 p. Disponible en https://www.uprm.edu/lfct/wp-content/uploads/sites/258/2023/05/EEA_ConjuntoApio_2022.pdf?utm.com
- González, R. 2024. Tipos de Abono Cuál es el Mejor para tu Cultivo. Colombia. 3 p. Disponible en <https://agroenlace.co/tipos-de-abono-organicos-inorganicos/>
- Google Earth. 2025. Fundación Alternativas con datos del Gobierno Autónomo Municipal de Laja Disponible en <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Hayes, A. 2025. Benefit-Cost Ratio (BCR): Formula, Calculation, and Example Explained. Estados Unidos. 4 p. Disponible en <https://www.investopedia.com/terms/b/bcr.asp>
- Huanca, M. 2024. Biotecnología una alternativa sostenible a los agroquímicos. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Disponible en <https://elmundo.com.bo/biotecnologia-una-alternativa-sostenible-a-los-agroquimicos/>
- Huerto urbano. 2019. Informe técnico para el cultivo del Apio. España. 6 p. Disponible en <https://www.elhuertourbano.net/informe-tecnico-para-el-cultivo-del-apio/>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2015. Encuesta Agropecuaria Bolivia. Bolivia. 716 p. Disponible en <https://es.scribd.com/document/428001688/ENCUESTA-AGROPECUARIA-BOLIVIA>

- Instituto Geográfico Militar (IGM). 2005. Mapa de localización, Estación Experimental de Kallutaca, La Paz, Bolivia.
- Infoagro. 2023. Descripción y desarrollo del Apio. Mexico. 12 p. Disponible en https://mexico.infoagro.com/descripcion-y-desarrollo-del-apio/?utm_source.com
- Infoagro. 2025. El cultivo del apio. España. 18 p. Disponible en <https://www.infoagro.com/documentos/?id=2>
- Intagri, S. 2021. El Cultivo de Apio. Serie Hortalizas, Núm. 26. Artículos técnicos de INTAGRI. México. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-apio>
- Intagri. 2015. La gallinaza como fertilizante. Consultado 04 May. 2024. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>
- Intagri. 2024. El Cultivo de Apio. Mexico. 3 p. Disponible en https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-apio?utm_source=.com%20}}
- Jaramillo, J. 2019. "Dosis de Gallinaza y su Influencia en las características Agronómicas y Rendimiento de *Apium graveolens* Apio Zungarococha - Iquitos. Tesis Ing, Agr. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 51 p. Disponible en <https://api-repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9dfea5af-1416-4ad9-9308-8fc6585261ed/content>
- Joan, S. 2022. Guía Metabólica. España. 4 p. Disponible en <https://metabolicas.sjdhospitalbarcelona.org/consejo/apio%202022>
- Khalil, A. 2015. Value Added Products Chemical Constituents and Medicinal Uses of Celery (*Apium graveolens*) -A Review. India. 9 p. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/336825102_Value_Added_Products_Chemical_Constituents_and_Medicinal_Uses_of_Celery_Apium_graveolens_L_-_A_Review
- Latino. 2014. Bolivia produce abono orgánico con reciclaje de residuos. Santa Cruz, Bolivia. 1 p. Disponible en <https://iqlatino.org/bolivia-abono-organico-reciclaje/>
- Layme, M. 2016. Evaluación agronómica de cuatro variedades de lechuga crespa (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema hidropónico de "NFT" en la Estación Experimental de Kallutaca. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia Universidad Publica de El Alto. 96 p. Consultado 18 Jun. 2023. Disponible en https://drive.google.com/file/d/1EpDq_WaJA2N7nFHXLXwhIU0TAVH2rG84/view?usp=drivesdk
- Layme, V. 2005. Aplicación de abono diluido de Gallinaza en el cultivo de tomate (*Lycopersicum sculentum*) bajo ambientes protegidos en Achocalla. Tesis Ing, Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 97 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7208/T-928.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

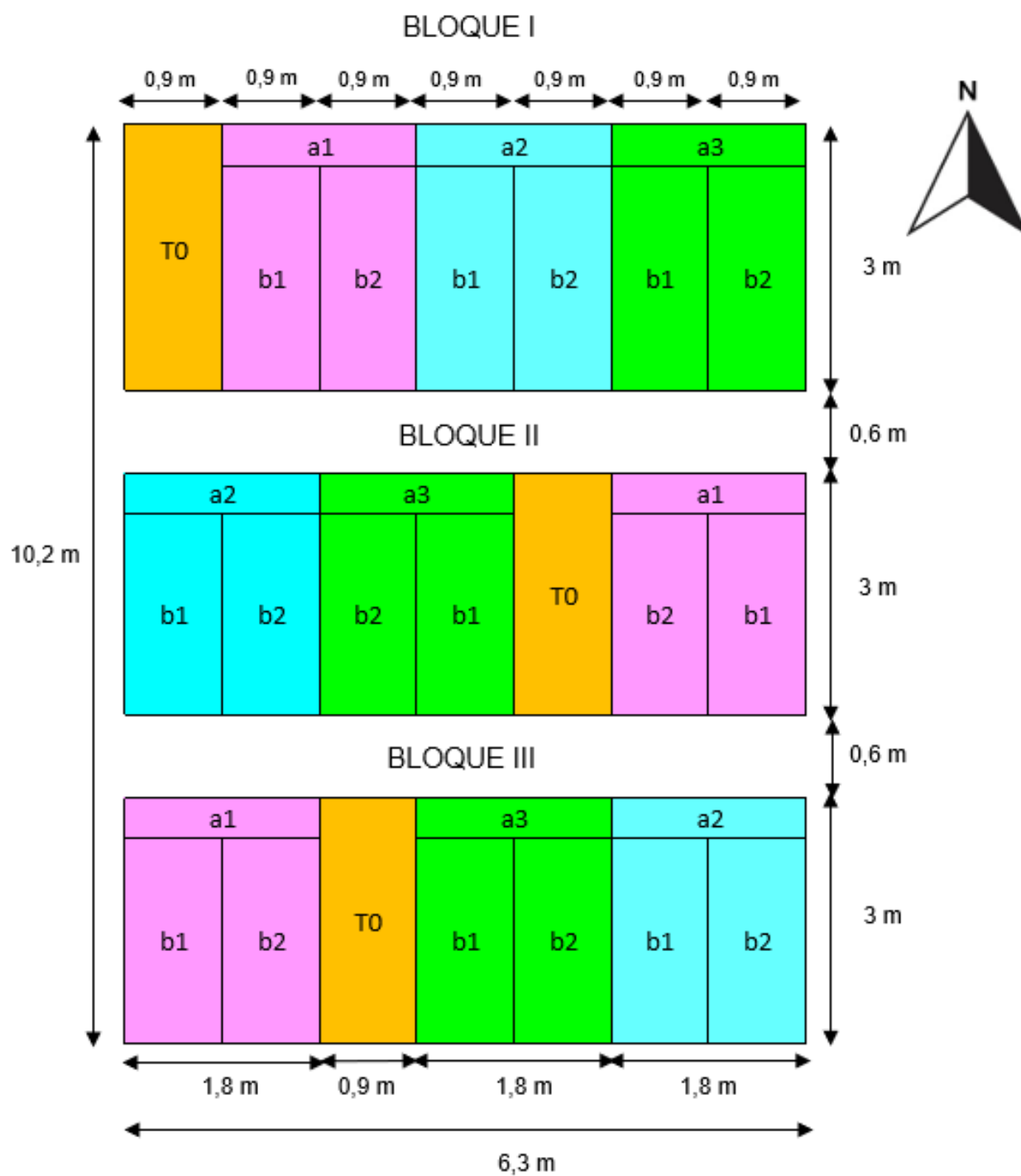
- López, B. 2023. *Apio*, *Apium graveolens*, características, composición, beneficios y usos. 7 p. Disponible en https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/verduras/apio-apium-graveolens?utm_source=.com#google_vignette
- Machaca, F. 2007. Efecto de niveles de estiercol de ovino en el rendimiento de variedades de apio (*Apium graveolens* L.), bajo ambiente protegido en el Municipio de El Alto. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5116/T-1157.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Machaca, A. 2007. Requerimientos agroecológicos del cultivo de apio en la región andina. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). 2025. Abono orgánico una práctica que mejorar la fertilidad del suelo. Guatemala. 3 p. Disponible en <https://www.maga.gob.gt/abono-organico-una-practica-que-mejorar-la-fertilidad-del-suelo/>
- Mamani, J. 2018. Requerimientos hídricos del cultivo de apio en la región andina. Editorial AgroAndes.
- Mamani, J. 2019. Planillas Presupuesto Proyecto AUP Potosi 58 M. Potosí, Bolivia. 63 p. Disponible en <https://es.scribd.com/document/400809359/Planillas-Presupuesto-Proyecto-AUP-Potosi-58-m>
- Mendoza, D. 2019. Evaluación del efecto de tres dosis de lixiviado de humus de lombriz en el comportamiento productivo de apio (*Apium graveolens* L.), bajo ambiente protegido en la zona de Callapa - La Paz. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 163 p. Consultado 06 May. 2024. Disponible en <file:///C:/Users/WINDOWS%2010/Downloads/T2661%20TESIIS%20APIO%20000000000000.pdf>
- Montesinos, E. 2022. Estudio Sobre la cadena productiva de semilla en su componente de comercialización en el Centro Nacional de producción de semilla de Hortalizas en Bolivia. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 84 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/31067/TD-3114.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez, K. 2020. Abonamiento con Gallinaza y Ceniza De Madera y su influencia sobre las características Agronómicas y rendimiento de *Apium graveolens* L. apio ,en Zungarococha, Distrito De San Juan Bautista – Loreto. 2018. Tesis Ing.Agr. Iquitos, Peru. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 65 p. Disponible en <https://api-repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bceddfd5-a3f4-4004-8dfd-a2ca25a6e8e3/content>
- Ochoa, M. 2019. Fertilización organica y su impacto en la calidad del suelo. Mexico. Universidad de Sonora. Disponible en <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/817/0?utm.com>
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales La Paz, Bolivia. Disponible en <https://scholar.google.com/citations?user=qb2p4NQAAAAJ&hl=es>

- Paniagua, Y., Bussmann, W., Romero, C. (2020). *Apium graveolens* L. A piaceae. (eds) Etnobotánica de los Andes. Etnobotánica de las regiones montañosas. Springer, Cham. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-77093-2_25-1
- Paredes R. 2010. Formulación de costo/beneficio a partir de datos agronómicos (en línea) CYMMYT, folleto de información No. 7, México DF. 10p. Consultado 06 May. 2024.
- Palou, N. 2017. El apio el mejor aliado para la dieta. España. 2 p. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20160401/40800612567/apio-calorias-adelgazar-detox-nutrientes-dieta.html?utm.com>
- Pant, A. 2025. celery plant. Estados Unidos. 4 p. Disponible en <https://www.britannica.com/art/Expressionism>
- Perez, D. 2019. Beneficios del Apio era mejor tomar el jugo o comer el tallo. Estados Unidos. 3 p. Disponible en https://www.aarp.org/espanol/salud/vida-saludable/info-2019/beneficios-del-apio-diane-perez.html?utm_source.com
- Plant, N. 2025. *Apium graveolens* celery. Estados Unidos. 2 p. Disponible en https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/apium/graveolens/?utm_source.com
- Popoola, O.; Adesanya, K.; Odusina, T.; Ayanrinde, A. 2015. A Quadratic Regression Analysis of the Effect of Three Levels of NPK Fertilizer on the Yield of Yellow Maize. American Journal of Computational Mathematics. 5(4): 426-430. Disponible en : <https://doi.org/10.4236/ajcm.2015.54037>
- Puruma, 2024. Análisis físico - químico del suelo. Agricultura Regenerativa Laboratorio AgroAmbiental "La Casa del Agricultor". Viacha, La Paz. Bolivia.
- Puruma, 2024. Análisis físico - químico de abonos orgánicos. Agricultura Regenerativa Laboratorio AgroAmbiental "La Casa del Agricultor". Viacha, La Paz. Bolivia.
- Quispe, L. 2020. Niveles de Gallinaza en el rendimiento de dos variedades de Apio (*Apium graveolens*) en Canaán 2750 msnm – Ayacucho. Tesis Ing, Agr. Ayacucho, Perú. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 71 p. Disponible en <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/85bb3a74-c65e-4d3d-99ed-63883d06f317/content>
- Royal Botanic Gardens. 2023. *Apium graveolens* Reino Unido. 2 p. Disponible en <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3AIsid%3Aipni.org%3AAnames%3A838067-1?utm.com>
- Sendra, N., Tonelli, B. y Alí, S. 2011. El cultivo del apio. disponible en <https://docplayer.es/22949595-Catedrahorticultura-el-cultivo-del-apio.html>
- Sartenejas, T. A. 2018. Celery David RZ. Consultado 04 May. 2024. Disponible en <https://tecnoagrosartenejas.com/tag/celery-david-rz/>
- Semenov, M. 2023. La gallinaza como fertilizante orgánico: tecnologías de compostaje y efectos sobre las propiedades del suelo. Rusia. 10 p. Disponible en <https://bulletin.esoil.ru/jour/article/view/758>

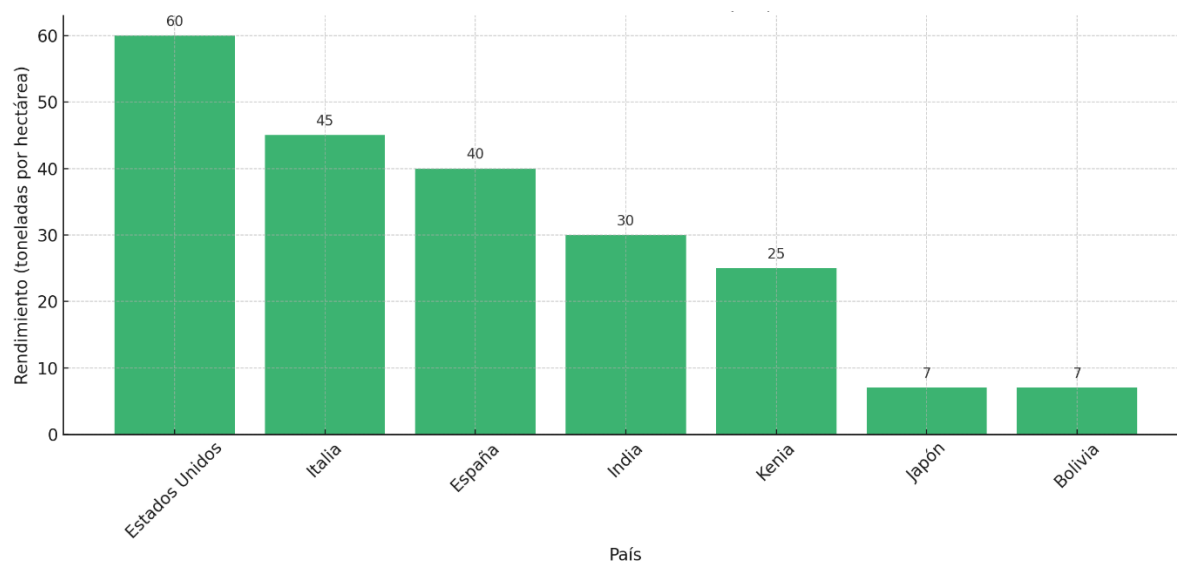
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2012. Departamento de suministro de información hidrometeorológico. Estación Kallutaca (UPEA). La Paz. Serie Climática: 1967-73/77-08.
- Suarez, A. 2024. Bottom ash from combustion of chicken manure as a fertiliser material. Suiza. 7 p. Disponible en <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2024.1392445/full?utm.com>
- Torres, L. 2012. Efecto de tres abonaduras orgánicas en el cultivo de apio (*apium graveolens*) en la zona de la Libertad Cantón Espejo Provincia del Carchi. Tesis Ing. Agr. Carchi Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. 62 p. Disponible en <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8f5436d9-f2e3-4554-a717-152b34e1bd3a/content>
- Vargas, M., Portillo, M., Brambila, P., José, J., Martínez, D., y Medina, S. 2021. Óptimos económicos de fertilizante en la producción de maíz blanco en Valles Altos. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2685>
- Wikifarmer. 2025. Celery Harvest and Yields per Hectare. Grecia. 2 p. Disponible en <https://wikifarmer.com/library/es/article/cosecha-del-apio-y-produccion-por-hectarea>
- Zandstra, B. 2016. Celery: Commercial Vegetable Recommendations. Estados Unidos. 30 p. Disponible en https://www.canr.msu.edu/resources/celery_commercial_vegetable_recommendations_e1308?utm.com
- Zohary, D. y Hopf, M. 2010. Domestication of plants in the Old World. 3ra ed. Oxford University. Consultado 04 May. 2024.
- Zwaan, R. 2021. Variedad David RZ. Guatemala. Consultado 04 May. 2024. Disponible en <https://www.tiktok.com/@multiseedsrz/video/7093636542719216902>
- Zwaan, R. 2025. Vegetable breeding company. Países Bajos. 2 p. Disponible en <https://www.rijkzwaan.com/en/home>

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis Experimental de la investigación.



Anexo 2. Rendimiento promedio del cultivo de apio en comparación a otros países (FAO,2025)



Anexo 3. Semilla de apio variedad David RZ



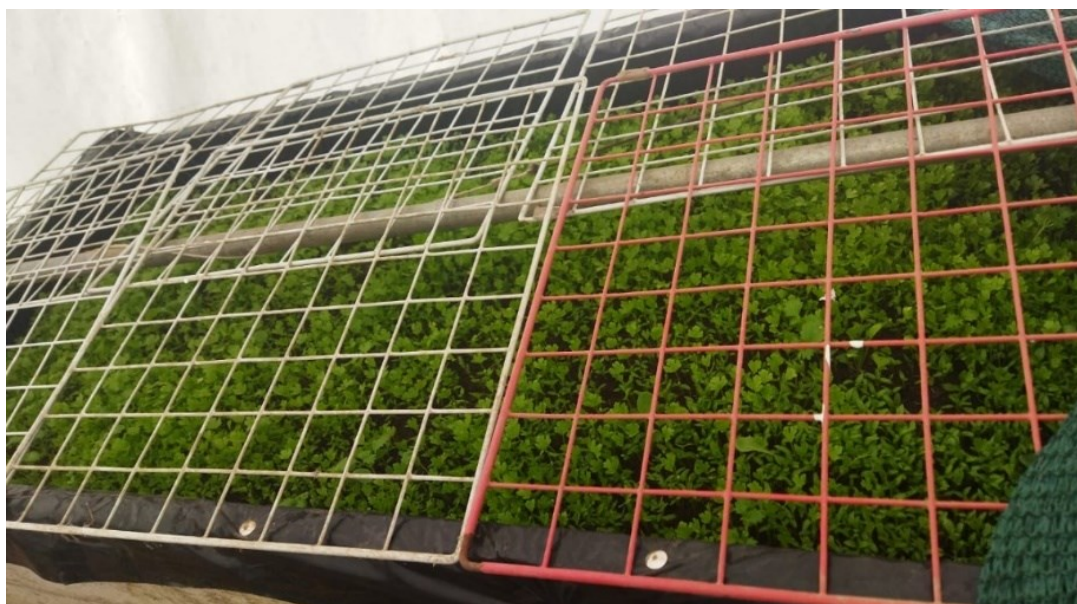
Anexo 4. Emergencia de las plántulas de apio a la tercera semana de siembra



Anexo 5. Crecimiento de las plántulas de apio al mes y medio de la siembra



Anexo 6. Cubierta del almacigo de factores abióticos



Anexo 7. Muestreo de suelo



Anexo 8. Muestra de la gallinaza y ceniza de gallinaza



Anexo 9. Aplicación de materia orgánica en la superficie experimental



Anexo 10. Nivelado y desterronado del terreno



Anexo 11. Distribución de las unidades experimentales según el croquis



Anexo 12. Pesado de los niveles de gallinaza



Anexo 13. Pesado de los niveles de la ceniza de gallinaza



Anexo 14. Trasplante del cultivo de apio



Anexo 15. Mantenimiento de deshierbe durante la producción



Anexo 16. Mantenimiento de poda durante la producción



Anexo 17. Toma de datos de las variables de respuesta



Anexo 18. Materiales necesarios para el proceso de cosecha del cultivo



Anexo 19. Cosecha de las muestras etiquetadas de cada Unidad Experimental



Anexo 20. Medición del cuello de la planta de las muestras en la cosecha



Anexo 21. Medición de la altura de planta de las muestras en la cosecha



Anexo 22. Pesaje de cada una de las muestras etiquetadas**Anexo 23. Lavado de las plantas para el empaquetado**

Anexo 24. Oreado después de la limpieza en agua



Anexo 25. Pesaje para el empaquetado de 1200 a 1500 g/ bolsa



Anexo 26. Empaquetado del cultivo en bolsas**Anexo 27. Empaquetado de toda la cosecha para la venta**

Anexo 28. Sellado de cada una de las bolsas pesadas**Anexo 29. Fotografías de la producción del cultivo**

Anexo 30. Identificación de la investigación mediante el colocado de banner



Anexo 31. Cosecha total del Bloque I



Anexo 32. Cosecha total del Bloque II



Anexo 33. Cosecha total del Bloque III



Anexo 34. Análisis económico para el testigo

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					48,75
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0	0,00	0,00
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0	0,00	0,00
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato		Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado		Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)	6	Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					128,85
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m ²)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50
TOTAL C.D.+C.I.:					191,35
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:					191,35
COSTO Bs/m2					23,62
COSTO Bs/ha					236200,00

Anexo 35. Análisis económico para el tratamiento T2 (5 g/p de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA						
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.	
1 INSUMOS					49,95	
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25	
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50	
3. Gallinaza	1	Sacos	0,2	6,00	1,20	
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0	0,00	0,00	
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00	
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80	
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40	
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40	
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40	
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60	
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00	
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80	
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40	
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00	
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00	
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40	
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00	
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60	
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60	
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40	
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00	
6 LABORES CULTURALES					23,20	
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00	
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60	
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60	
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00	
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00	
5 SIEMBRA					4,00	
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00	
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00	
7 COSECHA					7,20	
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00	
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60	
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60	
8 POST COSECHA					6,50	
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50	
2. Limpieza y embolsado		Hr.	0,5	8,00	4,00	
4. Acomodo en canastas (Cajas)	6	Hr.	0,1	5,00	0,50	
5. Entrega y envío		Hr.	0,1	5,00	0,50	
TOTAL COSTO DIRECTO					130,05	
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50	
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00	
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00	
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00	
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00	
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00	
11. Alquiler terreno (56,7 m2)		Ciclo	1	5,00	5,00	
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00	
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50	
TOTAL C.D.+C.I.:					192,55	
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:					192,55	
COSTO Bs/m2					23,77	
COSTO Bs/ha					237700,00	

Anexo 36. Análisis económico para el tratamiento T1 (5 g/p de ceniza de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					49,35
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofan para enbolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0	0,00	0,00
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0,2	3,00	0,60
5. Acerrin y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (acerrin y estriecol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado	6	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)		Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					129,45
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m2)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13.Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50
TOTAL C.D.+C.I.:					191,95
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:					191,95
COSTO Bs/m2					23,70
COSTO Bs/ha					237000,00

Anexo 37. Análisis económico para el tratamiento T3 (10 g/p de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					50,55
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0,3	6,00	1,80
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0	0,00	0,00
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado	6	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)		Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					130,65
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m2)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50
TOTAL C.D.+C.I.:					193,15
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:					193,15
COSTO Bs/m2					23,85
COSTO Bs/ha					238500,00

Anexo 38. Análisis económico para el tratamiento T4 (10 g/p de ceniza de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					49,65
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0	0,00	0,00
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0,3	3,00	0,90
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado	6	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)		Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					129,75
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m²)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50
				TOTAL C.D.+C.I.:	192,25
				TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:	192,25
				COSTO Bs/m2	23,73
				COSTO Bs/ha	237300,00

Anexo 39. Análisis económico para el tratamiento T5 (15 g/p de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					51,75
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0,5	6,00	3,00
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0	0,00	0,00
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado		Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)	6	Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					131,85
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m²)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					62,50
				TOTAL C.D.+C.I.:	194,35
				TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN:	194,35
				COSTO Bs/m2	23,99
				COSTO Bs/ha	239900,00

Anexo 40. Análisis económico para el tratamiento T6 (15 g/p de Ceniza de gallinaza)

COSTO VARIABLES DE PRODUCCIÓN CARPA SOLAR KALLUTACA					
CONCEPTO	MES	UNIDAD	CANT.	COST/UNIT Bs.	COSTO TOTAL Bs.
1 INSUMOS					50,25
1. Semilla		Gr.	8,22	0,76	6,25
2. Bolsas de celofán para embolsado		Paquete	0,3	35,00	10,50
3. Gallinaza	1	Sacos	0	0,00	0,00
4. Ceniza de Gallinaza		Bolsas	0,5	3,00	1,50
5. Aserrín y desechos de bovinos (Mixto)		Sacos	4	8,00	32,00
2 PREPARACIÓN DE ALMACIGUERAS					12,80
1. Adecuación de almaciguera		Hr.	0,05	8,00	0,40
2. Preparación del sustrato	1	Hr.	0,05	8,00	0,40
3. Nivelado		Hr.	0,05	8,00	0,40
4. Siembra		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Riego (cada 2 días/5 minutos)	1 y 2	Hr.	1	10,00	10,00
3 PREPARACIÓN DE SUELOS					20,80
1. Limpieza de la parcela		Hr.	0,3	8,00	2,40
2. Chunteo del suelo manual		Hr.	1	8,00	8,00
3. Desterronado (manual)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Abonado (aserrín y estiércol animal mixto)		Hr.	0,3	8,00	2,40
5. Nivelado (manual)		Hr.	0,5	8,00	4,00
4 RIEGO APERTURA DE CABEZALES					5,60
1. Tendido de cintas de goteo		Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Mantenimiento de cintas de goteo	3	Hr.	0,3	8,00	2,40
3. Aplicación riego por goteo		Hr.	0,5	8,00	4,00
6 LABORES CULTURALES					23,20
1. Riego (cada 2 días/30 minutos)	3	Hr.	1	8,00	8,00
2. Replante (Refalle)		Hr.	0,2	8,00	1,60
5. Deshierbe		Hr.	0,2	8,00	1,60
6. Apertura de ventanas (Ventilación)	4	Hr.	0,5	8,00	4,00
7. toma de datos del experimento		Hr.	1	8,00	8,00
5 SIEMBRA					4,00
3. Aplicación tipos de abono en tratamientos)	3	Hr.	0,5	8,00	4,00
1. Siembra (Trasplante)		Hr.	0,5	8,00	4,00
7 COSECHA					7,20
1. Corte		Hr.	0,5	8,00	4,00
2. Recolección	5	Hr.	0,2	8,00	1,60
2. Traslado a espacio de post cosecha		Hr.	0,2	8,00	1,60
8 POST COSECHA					6,50
1. Selección		Hr.	0,3	5,00	1,50
2. Limpieza y embolsado	6	Hr.	0,5	8,00	4,00
4. Acomodo en canastas (Cajas)		Hr.	0,1	5,00	0,50
5. Entrega y envió		Hr.	0,1	5,00	0,50
TOTAL COSTO DIRECTO					130,35
1. Agua de riego (sistema de mantenimientos)		m3	5	0,50	2,50
6. Herramientas menores		Ciclo	1	5,00	5,00
7. Depreciación cubierta por ciclo de cultivo (Agrofilm)		Ciclo	1	20,00	20,00
8. Depreciación estructura carpa solar/ciclo cultivo		Ciclo	1	10,00	10,00
9. Depreciación electrobomba/ciclo cultivo	3	Ciclo	1	5,00	5,00
10. Depreciación sistema de riego/ciclo cultivo		Ciclo	1	5,00	5,00
11. Alquiler terreno (56,7 m²)		Ciclo	1	5,00	5,00
12. Mantenimiento infraestructura productiva		Ciclo	1	5,00	5,00
13. Administración y supervisión		Ciclo	1	5,00	5,00
TOTAL, COSTOS INDIRECTOS					62,50
				TOTAL C.D.+C.I.:	192,85
				TOTAL, COSTO DE PRODUCCIÓN:	192,85
				COSTO Bs/m2	23,81
				COSTO Bs/ha	238100,00

Anexo 41. Análisis económico del cultivo expresado en (kg/m²)

Tratamientos	Costos de producción (Bs/m ²)	Rendimiento (kg/m ²)	Precio (Bs/kg)	Rend ajustado (kg/m ²)	Ingreso Bruto (Bs/m ²)	Ingreso Neto (Bs)	B/C	B/C Neto
T0	23,62	11,96	2,5	11,91	29,78	6,16	1,26	0,26
T1	23,77	12,76	2,5	12,71	31,78	8,01	1,34	0,34
T2	23,7	12,98	2,5	12,93	32,33	8,63	1,36	0,36
T3	23,85	12,89	2,5	12,84	32,10	8,25	1,35	0,35
T4	23,73	16,24	2,5	16,19	40,48	16,75	1,71	0,71
T5	23,99	15,16	2,5	15,11	37,78	13,79	1,57	0,57
T6	23,81	16,30	2,5	16,25	40,63	16,82	1,71	0,71

Anexo 42. Variables de respuesta del cultivo

Nro	B	A	C	Trat	Fac	DP	LP	LH	AP	NH
1	I	0 g/p	Testigo	Testigo	Testigo	1,40	24,35	30,80	53,85	9,00
2	I	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	Factorial	1,50	26,40	31,20	55,20	11,00
3	I	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	Factorial	1,40	25,80	29,90	54,50	10,00
4	I	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	Factorial	1,60	29,80	33,50	60,70	13,00
5	I	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	Factorial	1,50	26,80	31,90	58,50	11,50
6	I	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	Factorial	1,80	27,90	33,80	60,60	12,00
7	I	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	Factorial	1,60	27,00	32,40	57,90	11,00
8	II	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	Factorial	1,70	28,20	32,50	59,30	12,00
9	II	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	Factorial	1,70	29,90	33,60	58,90	12,00
10	II	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	Factorial	1,70	26,50	33,60	59,30	11,00
11	II	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	Factorial	1,90	27,40	35,30	61,60	13,00
12	II	0 g/p	Testigo	Testigo	Testigo	1,45	26,60	29,95	55,10	10,00
13	II	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	Factorial	1,38	27,10	31,10	56,20	10,00
14	II	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	Factorial	1,43	27,60	32,60	58,30	10,00
15	III	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	Factorial	1,50	26,90	31,90	57,50	11,00
16	III	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	Factorial	1,50	26,60	31,70	55,30	10,00
17	III	0 g/p	Testigo	Testigo	Testigo	1,45	25,95	29,65	53,90	8,50
18	III	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	Factorial	1,80	26,70	33,90	61,70	14,00
19	III	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	Factorial	1,70	26,20	32,70	58,80	12,00
20	III	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	Factorial	1,72	28,80	32,60	59,10	10,50
21	III	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	Factorial	1,53	27,90	31,90	56,60	11,17

Anexo 43. Datos de la variable rendimiento en diferentes unidades

Nro	⊞	➤	⊙	FACTORES	PESO/PROMEDIO G/P	PESO GRAMOS/UE	PESO KG/UE	PESO KG/M2	PESO KG/HA	PESO TON/HA
1	I	0 g/p	Testigo	Testigo	504,50	10594,5	10,59	3,92	39200,00	39,20
2	I	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	538,10	11300,1	11,30	4,19	41900,00	41,90
3	I	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	552,14	11594,94	11,59	4,29	42900,00	42,90
4	I	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	553,42	11621,82	11,62	4,30	43000,00	43,00
5	I	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	638,56	13409,76	13,41	4,97	49700,00	49,70
6	I	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	571,30	11997,3	12,00	4,44	44400,00	44,40
7	I	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	640,43	13449,03	13,45	4,98	49800,00	49,80
8	II	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	503,24	10568,04	10,57	3,91	39100,00	39,10
9	II	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	683,82	14360,22	14,36	5,32	53200,00	53,20
10	II	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	705,64	14818,44	14,82	5,49	54900,00	54,90
11	II	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	650,60	13662,6	13,66	5,06	50600,00	50,60
12	II	0 g/p	Testigo	Testigo	512,89	10770,69	10,77	3,99	39900,00	39,90
13	II	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	552,16	11595,36	11,60	4,30	43000,00	43,00
14	II	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	585,01	12285,21	12,29	4,55	45500,00	45,50
15	III	5 g/ p	Gallinaza	5-Solido	548,61	11520,81	11,52	4,27	42700,00	42,70
16	III	5 g/ p	Ceniza	5-Ceniza	533,05	11194,05	11,19	4,14	41400,00	41,40
17	III	0 g/p	Testigo	Testigo	520,44	10929,24	10,93	4,05	40500,00	40,50
18	III	15 g/ p	Gallinaza	15-Solido	672,47	14121,87	14,12	5,23	52300,00	52,30
19	III	15 g/ p	Ceniza	15-Ceniza	804,81	16901,01	16,90	6,26	62600,00	62,60
20	III	10 g/ p	Gallinaza	10-Solido	601,28	12626,88	12,63	4,68	46800,00	46,80
21	III	10 g/ p	Ceniza	10-Ceniza	764,92	16063,32	16,06	5,95	59500,00	59,50