

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



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE DOS
VARIETADES DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.) CON DIFERENTES
DENSIDADES DE TRASPLANTE BAJO EL SISTEMA DE
FERTIRRIEGO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

Por:

Roxana Quispe Patty

EL ALTO – BOLIVIA

Septiembre, 2025

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

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE DOS VARIETADES DE
CEBOLLA (*Allium cepa* L.) CON DIFERENTES DENSIDADES DE TRASPLANTE BAJO
EL SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

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

Roxana Quispe Patty

Asesores:

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

Tribunal Revisor:

M. Sc. Lic. Ing. Victor Paye Huaranca

M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

Lic. Ing. Walter Fernandez Molina

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

A Dios primeramente por darme la vida, fortaleza y sabiduría.

Este trabajo está dedicado a mí querida familia por su apoyo moral y económico incondicional en especial a mis padres Inocencio Quispe y Marcelina Patty.

A mis queridos hermanos (as) Edwin, Oscar, Héctor, Wilfredo, Lucy y Ariel por su comprensión y cariño que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento en primer lugar a Dios, por darme la vida y por darme sabiduría e inteligencia para alcanzar a plasmar este trabajo.

A la Casa superior de Estudios Universidad Pública de El Alto y a la carrera de Ingeniería Agronómica por haberme acogido y formado en sus aulas durante los años de estudio y al plantel docente por los conocimientos impartidos durante mi carrera de Universitaria.

A la Estación Experimental de Kallutaca por haberme abierto sus puertas y haberme dado la oportunidad de llevar adelante este trabajo de investigación.

Agradecer a mi asesor: M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raul Ochoa Torrez, por el apoyo brindado, orientación, por la disposición de tiempo y por todas las correcciones realizadas para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Un especial agradecimiento a mis tribunales Ing. M.Sc. Lic. Ing. Victor Paye Huaranca, M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas y Lic. Ing. Walter Fernandez Molina, por su apoyo brindado.

Finalmente un agradecimiento especial a mis compañeros y amigas por apoyarme durante esta etapa de mi vida por compartir alegrías y tristezas conmigo quienes me apoyaron de forma desinteresada.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

ÍNDICE DE TEMAS

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Justificación	2
1.3.	Objetivos.....	3
1.4.	Hipótesis.....	3
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Origen de la cebolla.....	4
2.2.	Principales países productores de cebolla	4
2.3.	Zonas productoras de cebolla en Bolivia.....	5
2.4.	Clasificación taxonómica.....	6
2.5.	Características morfológicas.....	6
2.6.	Ciclo vegetativo de la cebolla.....	8
2.7.	Variedades.....	9
2.7.1.	Texas Yellow Grano.....	9
2.7.2.	White Creole	9
2.8.	Densidad de trasplante	10
2.10.	Requerimientos edafoclimaticos	11
2.10.1.	Temperatura	11
2.10.2.	Suelo.....	11
2.10.3.	Humedad	11
2.11.	Requerimiento de nutrientes del cultivo de cebolla	11
2.12.	Trasplante.....	12
2.13.	Riego	12
2.13.1.	Lamina neta (Ln).....	13
2.14.	Fertirrigacion.....	14

2.14.1.	Ventajas y desventajas de la fertirrigacion	14
2.14.2.	Características generales de los fertilizantes para fertirriego.....	15
2.15.	Fertilizantes	16
2.15.1.	Elementos esenciales o nutrientes	17
2.16.	Principales plagas y enfermedades	18
2.16.1.	Plagas.....	18
2.16.2.	Enfermedades.....	18
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.7.	Localización	19
3.7.1.	Ubicación Geográfica.....	19
3.7.2.	Características Edafoclimáticas	20
3.8.	Materiales	21
3.8.1.	Material Biológico.....	21
3.8.2.	Insumos químicos para fertirriego	21
3.8.3.	Material de escritorio	21
3.8.4.	Material de campo.....	21
3.8.5.	Material para sistema de riego	22
3.9.	Metodología	22
3.9.1.	Procedimiento experimental	22
3.9.2.	Labores culturales.....	26
3.9.3.	Diseño experimental	27
3.9.4.	Factores de estudio.....	28
3.9.5.	Variables de respuesta.....	29
3.9.6.	Análisis económico	32
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.7.	Clima	34

4.7.1.	Temperatura	34
4.7.2.	Precipitación Pluvial	35
4.7.3.	Parámetros de riego por goteo	36
4.8.	Variables de respuesta	38
4.8.1.	Variables agronómicas.....	38
4.9.	Altura de planta (Cm).....	38
4.10.	Número de hojas.....	41
4.11.	Diámetro del bulbo (mm).....	44
4.12.	Diámetro del falso tallo (mm)	47
4.13.	Peso total de la cebolla (g).....	50
4.14.	Rendimiento total (t/ha).....	54
4.15.	Análisis económico	57
5.	CONCLUSIONES.....	58
6.	RECOMENDACIONES.....	59
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60
8.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición alimenticia de la cebolla por cada 100g.....	10
Cuadro 3. Fertilizantes solubles con su respectivo concentración y disolución máxima aconsejada para la preparación madre.....	16
Cuadro 4. Disociación iónica de algunos fertilizantes de uso común	16
Cuadro 5. Fertilizantes que se usó en la investigación.	25
Cuadro 6. Solución madre de fertilizantes en 2 litros	25
Cuadro 7. Dosis de fertilizantes para su uso en (ha)	26
Cuadro 8. Análisis de varianza de la altura de planta	38
Cuadro 9. Análisis de varianza de numero de hojas	41
Cuadro 10. Análisis de varianza de diámetro del bulbo	44
Cuadro 11. Análisis de varianza del diámetro del falso tallo	47
Cuadro 12. Análisis de varianza para peso total de la cebolla	51
Cuadro 13. Análisis de varianza del rendimiento	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de cebolla en el mundo...	5
Figura 2. Etapas fenológicas de la cebolla	8
Figura 3. Ubicación del área de estudio	19
Figura 4. Medida de la cebolla para trasplante.....	24
Figura 5. Altura de planta de cebolla.....	29
Figura 6. Número de hojas de la cebolla	30
Figura 7. Diámetro del bulbo de la cebolla	30
Figura 8. Diámetro del falso tallo de la cebolla	31
Figura 9. Peso de la cebolla.....	31
Figura 10. Rendimiento.....	32
Figura 11. Temperatura máxima, mínima y medias en el periodo de estudio	34
Figura 12. Precipitación pluvial.....	35
Figura 13. Promedios de la variable altura de la planta con diferentes variedades.....	39
Figura 14. Promedios de la variable altura de planta con diferentes densidades.....	40
Figura 15. Promedios de la variable altura de planta en la interacción de variedades por densidades de trasplante	40
Figura 16. Promedios de la variable número de hojas con diferentes variedades	42
Figura 17. Promedios de la variable de número de hojas con diferentes densidades de trasplante.....	43
Figura 18. Promedios de la variable número de hojas en la interacción variedades por densidades	43
Figura 19. Promedios de la variable diámetro del bulbo	45
Figura 20. Promedio de diámetro del bulbo con diferentes densidades.....	45
Figura 21. Promedio de diámetro del bulbo de la interacción entre variedades por densidades de trasplante	46

Figura 22. Prueba de comparación de medias de Duncan de la variable diámetro del falso tallo en las diferentes variedades del cultivo de cebolla	48
Figura 23. Promedio del diámetro del falso tallo con diferentes densidades de trasplante en el cultivo de cebolla.....	49
Figura 24. Promedios de la variable diámetro del falso tallo en la interacción entre variedades por densidades en el cultivo de cebolla	49
En la figura 25, de la variable peso total de la cebolla, se observa que la variedad Texas Yellow alcanzo un promedio de 143.6 g, mientras que White Creole registro un peso menor, 119.9 g.....	51
Figura 25. promedio de variable peso total de la cebolla con diferentes variedades.....	51
Figura 26. Promedio de la variable peso total de la cebolla con diferentes densidades de trasplante.....	52
Figura 27. Promedios de la variable peso total de cebolla con la interacción entre variedades por densidad de trasplante	53
Figura 28. Promedio de la variable rendimiento con diferentes variedades	54
Figura 29. Promedio de la variable rendimiento (t/ha) con diferentes densidades de trasplante.....	55
Figura 30. Promedio de la variable rendimiento en la interacción entre variedades por densidades de trasplante	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del experimento usando el Diseño de Bloques al Azar con arreglo en parcelas divididas, donde tenemos 2 variedades (Texas Yellow y White Creole) con 3 diferentes densidades de trasplante, realizado en la Estación Experimental de Kallutaca.....	63
Anexo 2.	Preparación del terreno de manera manual	64
Anexo 3.	Trazado de la unidad experimental	64
Anexo 4.	Variedades que se empleó para la investigación	65
Anexo 5.	Trasplante.....	65
Anexo 6.	Instalación del riego	66
Anexo 7.	Riego	66
Anexo 8.	Sales minerales utilizados en la fertirrigacion.....	67
Anexo 9.	Solución concentrada.....	67
Anexo 10.	Análisis físico – químico de suelo.....	68
Anexo 11.	Análisis físico-químico de agua	69
Anexo 12.	Temperatura máxima, mínima y media registrada durante el estudio.....	70
Anexo 13.	Precipitación registrada durante 2022-2023.....	70
Anexo 14.	Costo total.....	70
Anexo 15.	Costos para cada por tratamiento	71
Anexo 16.	Promedios de las variables de respuesta	72

ABREVIATURAS

mm	Milímetro
cm	Centímetro
g	Gramos
m ²	Metro cuadrado
ha	Hectárea
T	Tonelada
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mg	Miligramo
m	Metro
N	Nitrógeno
P	Potasio
K	Potasio
Ca	Calcio
mg	Magnesio

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca de la provincia Los Andes de la segunda sección municipal de Laja, del departamento de La Paz, Ubicado a una distancia de 35 km de la ciudad de La Paz con una altitud de 3860 m.s.n.m. Se evaluó el comportamiento agronómico de dos variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) con diferentes densidades de trasplante bajo el sistema de fertirriego en el centro experimental de Kallutaca" el objetivo principal de la tesis es analizar cómo las variedades Texas Yellow y White Creole responden a distintas densidades de trasplante, en condiciones del altiplano boliviano, donde los usos y costumbres resultan ineficientes debido a la escasez de agua y las largas jornadas laborales, por lo que se busca mejorar los aspectos como la densidad de trasplante y el manejo del riego mediante el fertirriego. En el estudio se empleó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas, considerando las variables como ser variedad y densidad de trasplante (6, 8 y 10 cm). Se evaluaron diferentes variables agronómicas como la altura de la planta, número de hojas, diámetro del falso tallo, diámetro del bulbo, peso de la planta y rendimiento del cultivo. Los resultados muestran que la variedad Texas Yellow presenta un mayor vigor y adaptabilidad, alcanzando mayores valores en variables como la altura de planta con 44.4 cm, número de hojas 9 hojas, diámetro del bulbo 58 mm, diámetro del falso tallo 16 mm, peso total de la cebolla 143.6 g y el rendimiento 32.92962 t/ha.

En cuanto al análisis (B/C), la variedad Texas Yellow con densidad de trasplante de 10 cm, ha obtenido mayor rentabilidad debido a que por cada boliviano invertido se ganó 1.38 bs. Por otro lado, White Creole mostró menor tolerancia a las altas densidades, requiriendo mayor separación para optimizar su producción. Además, se observa que la variedad Texas Yellow mantiene altos rendimientos incluso en condiciones de mayor densidad, debido a su mayor vigor fisiológico, mientras que la variedad White Creole necesita mayor densidad de trasplante. Los hallazgos en la tesis contribuyen a establecer recomendaciones específicas de manejo para mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo en la región, resaltando la importancia de ajustar la densidad de trasplante según la variedad para maximizar los beneficios económicos y optimizar los recursos disponibles.

ABSTRACT

The present research work was carried out at the Kallutaca Experimental Station in the Los Andes province of the second municipal section of Laja, department of La Paz, located at a distance of 35 km from the city of La Paz at an altitude of 3860 m.a.s.l. The agronomic performance of two onion varieties (*Allium cepa* L.) was evaluated with different transplanting densities under the fertigation system at the Kallutaca experimental station.) with different transplant densities under the fertigation system at the Kallutaca experimental center. The main objective of the thesis is to analyze how the Texas Yellow and White Creole varieties respond to different transplant densities under conditions of the Bolivian altiplano, where the uses and customs are inefficient due to water scarcity and long working days, so the aim is to improve aspects such as transplant density and irrigation management through fertigation. The study used a randomized block design with divided plots, considering variables such as variety and transplant density (6, 8 and 10 cm). Different agronomic variables such as plant height, number of leaves, false stem diameter, bulb diameter, plant weight and crop yield were evaluated. The results show that the Texas Yellow variety presents greater vigor and adaptability, reaching higher values in variables such as plant height with 44.4 cm, number of leaves 9 leaves, bulb diameter 58 mm, diameter of the false stem 16 mm, total weight of the plant and crop yield.

1. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más importante en las familias bolivianas y en el mundo, por su versatilidad culinaria y por su gran demanda comercial ya que su producción representa una fuente importante de ingresos para los agricultores, especialmente en regiones del altiplano. Sin embargo lograr una buena cosecha no depende solo de sembrar y esperar, requiere decisiones técnicas acertadas, como elegir la variedad adecuada, definir la densidad de trasplante y aplicar un manejo eficiente de agua y los nutrientes.

En Bolivia, se cultivan aproximadamente 10 mil hectáreas de cebolla, con un rendimiento promedio nacional de 8.6 t/ha. Sin embargo, en zonas como el altiplano, factores como las heladas, la escasa disponibilidad de agua y el uso de variedades poco adaptadas afectan negativamente la productividad. Además, el desconocimiento sobre la densidad de trasplante óptima y el manejo eficiente del riego limita el desarrollo agronómico del cultivo (INIAF, 2012).

Según FDTA-Valles (2007), el rendimiento del cultivo de cebolla está determinado por la interacción entre el genotipo, el manejo agronómico y las condiciones edafoclimáticas. Una variedad bien adaptada, combinada con prácticas como el fertirriego y una densidad de trasplante adecuada, permite optimizar el desarrollo vegetativo, la formación del bulbo y la productividad final del cultivo.

Frente a las dificultades que enfrenta el cultivo de cebolla en el altiplano como el clima, el uso de variedades poco adaptadas y la falta de criterios técnicos sobre densidad de trasplante, esta investigación busca aportar soluciones concretas. Para ello, se evaluó el comportamiento agronómico de dos variedades (Texas Yellow y White Creole), bajo tres densidades de trasplante (6, 8 y 10 cm), utilizando el sistema de fertirriego en el Centro Experimental de Kallutaca. El propósito es encontrar la combinación más eficiente entre variedad y densidad que permita mejorar tanto el rendimiento como la rentabilidad del cultivo en estas condiciones particulares.

1.1. Planteamiento del problema

La producción de cebolla en el altiplano enfrenta limitaciones agronómicas y climáticas que afectan su rendimiento y calidad, las bajas temperaturas, y los suelos de textura pesada

dificultan el desarrollo óptimo del cultivo, específicamente cuando se utiliza variedades poco adaptadas a estas condiciones.

Además, existe desconocimiento técnico sobre el uso de variedades precoces y la densidad de trasplante adecuada, lo que genera una planificación eficiente del marco de plantación. Esta situación provoca competencia entre las plantas, bajo aprovechamiento de recursos como agua y nutrientes, y una disminución del rendimiento por hectárea.

Ante esta problemática, se hace necesario realizare una investigación que permita determinar el comportamiento agronómico de variedades adaptadas como Texas Yellow y White Creole, bajo distintas densidades de trasplante y fertirriego, con el fin de optimizar el rendimiento y establecer recomendaciones y técnicas específicas para el altiplano.

1.2. Justificación

La producción de cebolla en el altiplano enfrenta diversas limitaciones que afectan, son las condiciones climáticas extremas de la región, como heladas y bajas temperaturas, dificultan la adaptación de variedades tradicionales, disminuyendo la calidad y dificultando su comercialización.

Asimismo, una incorrecta planificación en la densidad de trasplante puede afectar el desarrollo óptimo de las plantas, reduciendo el rendimiento por hectárea y limitando los beneficios económicos. La ausencia de estudios específicos que aborden estas problemáticas impide la implementación de prácticas agrícolas eficientes y adaptadas a las condiciones del altiplano.

Esta investigación busca identificar la combinación más eficiente entre variedad y densidad de trasplante, bajo fertirriego, que permite mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo de cebolla en el altiplano. Los resultados contribuirán al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y adaptadas a las condiciones locales, beneficiando directamente a los productores de la región.

1.3. Objetivos

- **Objetivo general**

- Evaluar el comportamiento agronómico de dos variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) con diferentes densidades de trasplante bajo el sistema de fertirriego en el centro experimental de Kallutaca.

- **Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento agronómico de dos variedades de cebolla por efecto de densidades de trasplante.
- Determinar el efecto de tres diferentes densidades de trasplante en dos variedades de cebolla.
- Determinar la relación beneficio costo (B/C) de dos variedades de cebolla (Texas Yellow y White Creole).

1.4. Hipótesis

- **Ho:** El comportamiento agronómico de dos variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) con diferentes densidades de trasplante bajo el sistema de fertirriego en el centro experimental de Kallutaca no presenta diferencias significativas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen de la cebolla

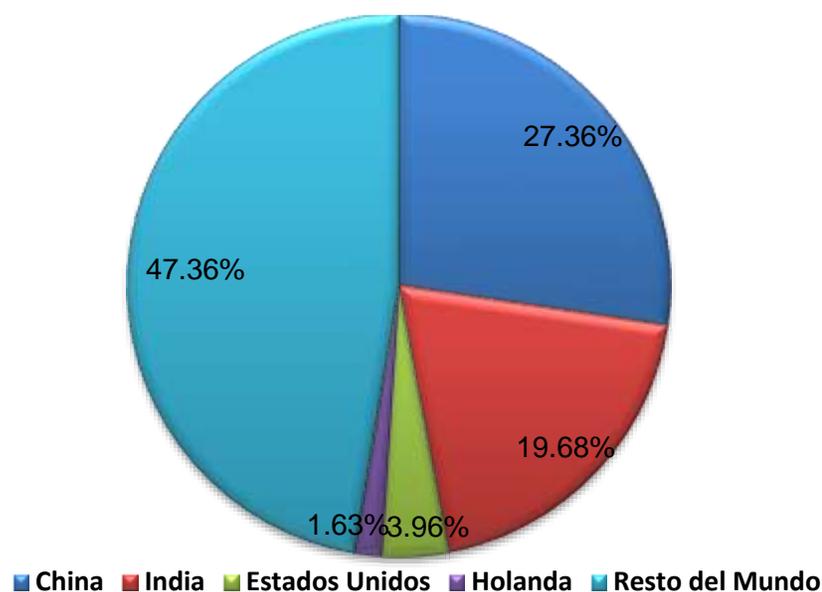
El origen primario de la cebolla se encuentra en Asia Central, mientras que las costas del Mediterráneo actúan como un centro secundario de su difusión. Las primeras menciones de su cultivo datan de aproximadamente 3200 a.C., y civilizaciones como los egipcios, griegos y romanos la cultivaron y apreciaron por sus propiedades alimenticias y medicinales. Durante la Edad Media, los romanos extendieron su cultivo a diferentes países mediterráneos, donde se seleccionaron variedades de bulbos más grandes, que dieron lugar a las cebollas modernas que conocemos hoy. La cebolla también llegó a América Central con los primeros colonizadores europeos, quienes la introdujeron en nuevas tierras, contribuyendo a su popularidad en diversas culturas culinarias (FDTA-Valles, 2007).

Sin embargo, existen discrepancias entre los científicos, en cuanto al centro de origen de cebolla, debido a que no se han encontrado especies silvestres de *Allium cepa* L. Casi todos los botánicos están de acuerdo con Vavilov que designó al Asia central (Pakistán) como su probable centro de origen, porque allí se han encontrado una gran diversidad de plantas del género. En cambio, el oriente próximo y la región de mediterráneo son considerados como posibles centros de domesticación (centros de origen secundario). Se puede considerar a este cultivo como muy antiguo ya que evidencias arqueológicas muestran que los egipcios lo usaron como alimento, en rituales religiosos y en medicina desde el año 3.200 antes de Cristo (Vallejo y Estrada, 2004).

2.2. Principales países productores de cebolla

La cebolla es una de las hortalizas de mucha importancia y de amplia difusión en el mundo, se cultiva una extensión aproximada de 4.3 millones de hectáreas, con una producción de 86 millones de toneladas y un rendimiento promedio mundial de 19.8 t/ha (FAOSTAT, 2014).

FAOSTAT (2014), indica que el mayor productor de cebolla a nivel mundial es China con un total de 22.66 millones de toneladas. China e Irán lideran la lista de los mayores productores de cebolla, con 27.36% y 19.68% respectivamente, de la producción total de cebolla a nivel mundial. Mientras que Estados Unidos se encuentra en el tercer lugar con el 3.96%, como se muestra en la figura 1.



Fuente: FAOSTAT (2014).

Figura 1. Principales países productores de cebolla en el mundo

2.3. Zonas productoras de cebolla en Bolivia

Según MDRyT (2012), indica que después del tomate, la cebolla ocupa el segundo lugar de preferencia por sus diversas formas de consumo, en fresco, hojas o tallos verdes, bulbo seco, deshidratado en polvo, encurtido, y otros.

Los departamentos productores de cebolla son: Cochabamba (Capinota, Santivañez, Punata, Mizque, Vinto, Sipe Sipe y Sacaba); Chuquisaca (Culpina y Las Carreras); Tarija (El Puente, Cercado, San Lorenzo, Uriondo y Padcaya); Santa Cruz (Comarapa y Saipina); Oruro (Cercado, Soracachi, Carracollo y Machacamarca); La Paz (Patacamaya, Achacachi, Ancoraimos, Omasuyos, Palca, Sapahaqui y Achocalla), con mayor producción de cebolla roja y blanca (Huanca, 2010).

IBCE (2017), menciona que la superficie cultivada de la cebolla en nuestro país llegó a los 8 mil hectáreas en los años 2016 - 2017. Con una producción total de 87 mil toneladas y un rendimiento nacional en promedio de 11 t/ha. Los principales municipios productores de cebolla en el departamento de La Paz, son: Sapahaqui, con una superficie de 82.5 hectáreas. Seguido de Achacachi, con una superficie de 44.5 hectáreas y Patacamaya con una superficie de 69 hectáreas.

2.4. Clasificación taxonómica

Según FDTA-Valles (2007), describe la taxonomía y morfología de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Clase:	Liliopsida
Orden:	Liliales
Familia:	Alliaceae
Sub familia:	Allioideae
Género:	<i>Allium</i>
Especie:	<i>Allium cepa</i>
Nombre común :	Cebolla

2.5. Características morfológicas

Según SENA (2010), Y FDTA-Valles (2007), indican las siguientes características morfológicas de la cebolla.

- **Sistema radicular**

La planta de cebolla tiene un sistema radicular formado por raíces adventicias que es superficial y se extiende hasta una profundidad de 30 centímetros. Las raíces presentan pocos pelos absorbentes y esto determina una menor capacidad de absorción de la planta y mayores exigencias con respecto al balance de humedad del suelo. Las raíces se presentan en gran número y salen de un mismo sitio dando un aspecto de cabellera, son blancas y fibrosas, carecen de raíz principal. El proceso de la raíz contempla dos tipos de crecimiento: un crecimiento horizontal que luego pasa a vertical.

- **Tallo**

El tallo verdadero de la planta es un disco o plato que se encuentra en el extremo inferior de las plantas jóvenes y de los bulbos. Sobre él se forman las yemas y las hojas y de él crecen las raíces adventicias.

Esta presentado por una masa aplastada llamada “Disco basal”, de entrenudos muy cortos, situado en la base del bulbo. El tallo verdadero o base del bulbo de la cebolla es marcadamente corto

- **Hoja**

Las hojas de la cebolla son tubulares, puntudas en las partes superiores y ensanchadas en la parte central. Cada hoja consta de dos partes: limbo (hoja verdadera) y vaina cilíndrica y crece sucesivamente. De manera que cada hoja joven pasa por la vaina de la hoja ya crecida. Así, las vainas cilíndricas de las hojas se sitúan una dentro de otra, y de esta manera se forma el llamado falso tallo.

- **Bulbo**

El bulbo es el órgano donde se acumulan las sustancias nutritivas de reserva y está formado por túnicas o escamas carnosas, yemas y tallo verdadero. Las escamas carnosas pueden ser abiertas o cerradas. Las abiertas se forman mediante el engrosamiento de la parte inferior de las vainas de las hojas, que normalmente habrán crecido durante el ciclo vegetativo y ellas envuelven completamente el bulbo. Las escamas cerradas se forman de las vainas enteras de las hojas que no han formado limbo y envuelven una o más yemas.

- **Tallo falso**

Se origina a partir de un bulbo subterráneo compuesto por hojas carnosas que almacenan nutrientes y definen su coloración blanca, morada o amarilla según la variedad. El tallo verdadero es muy corto, mientras que el “falso tallo” visible está formado por hojas verdes cenizas, tubulares y huecas, que emergen del bulbo y cumplen funciones fotosintéticas y estructurales esenciales para el desarrollo de la planta.

- **Flores**

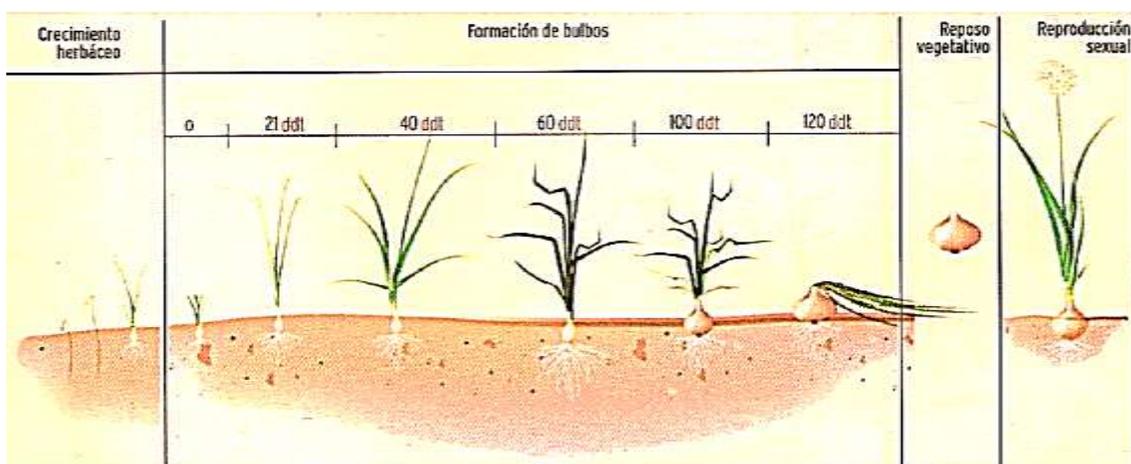
Es una planta de polinización cruzada. En condiciones normales la floración tiene lugar en el segundo año de cultivo tras la emisión de los escapos florales, que llevan en un extremo superior una masa globosa o cónica recubierta por una bráctea membranosa blanquecina, que al rasgarse, da lugar a la aparición de una inflorescencia de tipo umbela simple, en la cual, según la variedad y el tiempo de su formación de 200 a 1.000 flores que darán lugar a las semillas.

- **Semillas**

Las semillas son negras, redondeadas con ciertos aplastamientos. Las semillas van perdiendo su poder de germinación con el tiempo, por eso es importante sembrar semillas al año siguiente de su producción.

2.6. Ciclo vegetativo de la cebolla

Según Brewster (2001) y FDTA-Valles (2007), el ciclo vegetativo de la cebolla se distingue en cuatro fases:



Fuente: Brewster (2001).

Figura 2. Etapas fenológicas de la cebolla

- **Crecimiento herbáceo.** Comienza con la germinación, formándose un tallo muy corto, donde se inserta las raíces en el que se encuentran las células que dan lugar a las hojas. Durante esta fase tiene lugar el desarrollo de raíces y hojas.
- **Formación del Bulbo.** Se inicia con la paralización del sistema vegetativo aéreo y la movilización y acumulación de las sustancias de reserva en las base de las hojas interiores, que a su vez se engrosan y dan lugar al bulbo. Durante este periodo tiene lugar la producción de azúcares que luego se acumulan en el bulbo. Se requiere fotoperiodos largos y, si la temperatura se eleva durante este proceso, esta fase se acorta.
- **Reposo vegetativo.** La dormancia de los bulbos tiene una duración que fluctúa entre pocos días a unos cuantos meses, dependiendo de la variedad. En general la

dormancia se asocia a la precocidad de las variedades. De hecho, una cebolla tempranera tiene un periodo de dormancia de no más de un mes; las de media estación entre dos o tres meses y la tardía, más de cuatro meses. Una temperatura de 0 °C mantendrá la dormancia de las cebollas. Sin embargo, una vez que los bulbos han agotado su periodo de dormancia (dependiendo de la variedad), se produce la brotación de las hojas.

- **Reproducción sexual.** La reproducción sexual se realiza a través de semillas. Estas se producen en el segundo año del cultivo. Gracias a las sustancias de reserva acumuladas, meristemo apical del disco desarrolladas en un tallo floral, localizándose en su parte terminal una flor compuesta de muchas flores pequeñas a manera de umbela o paraguas.

2.7. Variedades

2.7.1. Texas Yellow Grano

Según Rodas (2025), se caracteriza por tener bulbos de excelente finura, cuellos muy finos con catafilos, baja pungencia, sabor dulce, excelente postcosecha, se puede conservar hasta 3 meses. Es un cultivar temprano de bulbos redondos, tamaño uniforme con escamas de color amarillo compactamente colocadas, jugosas, tiernas y dulces. Los bulbos son grandes con peso promedio entre 180 a 250 g. Su color externo es amarillo claro, con alto contenido de agua, su ciclo vegetativo es de 130 días con un rendimiento de aproximadamente 13 a 14 t/ha.

2.7.2. White Creole

Jaramillo *et al.* (1997), mencionan que la variedad White Creole es de día corto y se adapta a intertropicales y es reconocida por su rápido desarrollo, bulbificación temprana y se reporta que el rendimiento es de 18.2 t/ha bajo condiciones de alta densidad. Los bulbos son firmes, de tamaño pequeño a mediano con una forma gruesa y plana. Picante con excelente contenido de materia seca y se puede cosechar a los 150 a 170 días.

2.8. Densidad de trasplante

La cantidad de semilla que se debe emplear es de 100 a 200 g/m² y el trasplante deberá realizarse distribuyendo las plantas en hileras distanciadas de 50 cm y distancia entre plantas de 7 a 10 cm (FAO, 2011).

La cantidad de semilla que se debe emplear es de 3 g/m² y el trasplante deberá realizarse distribuyendo las plantas en hileras distanciadas de 30 a 60 cm y distancia entre plantas de 10 a 15 cm (Nicho, 2000).

2.9. Propiedades nutricionales del cultivo de cebolla

Según Acapa *et al.* (2012), la cebolla es una hortaliza de gran importancia global, destacándose por su versatilidad como condimento en diversas preparaciones culinaria. Se puede consumirse en múltiples formas, como el bulbo seco, las hojas verdes y la cabeza fresca. Su adaptabilidad a distintas condiciones agroclimáticas permite su cultivo en una amplia variedad de regiones, lo que la hace accesible en muchas culturas. Además de su valor culinario, la cebolla es rica en nutrientes y compuestos beneficiosos para la salud, así como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición alimenticia de la cebolla por cada 100 g

Alimento (en 100)	Unidades	Cebolla (cabeza)	Cebolla (cola)
Energía	Kg	37	24
Humedad	G	90.02	92.92
Proteínas	G	0.96	1.64
Grasas	Mg	0.21	0.1
Carbohidratos	Mg	8.99	4.79
Fibra cruda	Mg	0.49	1.07
Calcio	Mg	29	44
Fosforo	Mg	35	38
Hierro	Mg	0.6	4.8
Vitamina A	Mg	8	168
Vitamina B1	Mg	0.04	0.06
Vitamina B2	Mg	0.07	0.36
Niacina	Mg	0.4	0.6
Vitamina C	Mg	5	65

Fuente: Acapa *et al.* (2012).

2.10. Requerimientos edafoclimaticos

2.10.1. Temperatura

La cebolla es una planta que tolera el frío, pero para un adecuado crecimiento y desarrollo requiere de temperaturas comprendidas entre los 18 y 25°C. En el caso de Lanzarote las variedades que mejor se adaptan son las de días cortos de 11 a 14 horas de sol (Agrolanzarote, 2012).

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo esta alrededor de 13 °C a 14 °C con una máxima de 30 °C y mínima de 7 °C. La temperatura óptica para la bulbificación oscila entre 18 °C y 25 °C. Temperaturas de 25 °C a 30 °C aceleran el proceso de formación del bulbo cuando el fotoperiodo es el adecuado (FDTA-Valles, 2007).

2.10.2. Suelo

Aunque se ha demostrado que la cebolla es capaz de bulbificar casi en cualquier tipo de suelo, si se quiere lograr bulbos de calidad será necesario pensar en trabajar en suelos arenosos a francos que permiten que el bulbo exprese todas sus características (Arevalo, 2006).

Prefiere suelos francos, ricos en materia orgánica y bien drenada. Este cultivo es medianamente tolerante a la salinidad, un alto nivel de ésta puede ir en detrimento de la producción. El pH debe de estar en torno de 6 a 7 (Agrolanzarote, 2012).

2.10.3. Humedad

Según FDTA-Valles (2007), indica que un exceso de humedad en el periodo de formación de bulbos, afecta negativamente el proceso de acumulación de sustancias nutritivas en el bulbo. El estrés hídrico provocado por la falta de humedad produce el cierre de estomas dando lugar a una reducción de la fotosíntesis.

2.11. Requerimiento de nutrientes del cultivo de cebolla

Al ser un cultivo de ciclo corto, su desarrollo ocurre en un periodo limitado, lo que exige una disponibilidad inmediata y eficiente de nutrientes para alcanzar un rendimiento óptimo. Durante este breve ciclo, cualquier deficiencia nutricional puede comprometer

significativamente el crecimiento y la productividad, por lo que el manejo fertilizante debe ser oportuno y preciso.

Según Umaña y Asenjo (2000), los requerimientos nutricionales por hectárea incluyen 150 kg de nitrógeno (N), 20 kg de fósforo (P_2O_5), 60 kg de potasio (K_2O) y 25 kg de magnesio (MgO), elementos esenciales para funciones clave como el desarrollo vegetativo, la formación radicular, la regulación hídrica y la fotosíntesis. Estos valores orientan la planificación de la fertilización, especialmente en sistemas como la fertirrigación, donde la sincronización entre oferta y demanda nutricional es fundamental para maximizar la eficiencia del uso de nutrientes y evitar pérdidas por lixiviación o volatilización.

2.12. Trasplante

El CNPSH (2010), señala que en todas las zonas productoras de Bolivia, el trasplante se lleva a cabo con un alto uso de mano de obra. Los métodos de surcado, trasplante y riego varían según la localidad. Por ejemplo, en áreas como Culpina (Chuquisaca), el trasplante se efectúa a ambos lados del surco, dejando un espacio de 30 a 40 cm entre surcos, todo en terreno seco, para finalizar con un riego general. En los valles cálidos, como Mizque y Saipina, este proceso también se adapta a las condiciones locales.

El mismo autor recomienda una vez realizado el surco, se debe soltar agua para que humedezca el surco, e inmediatamente se proceda a introducir las plantas una a una, a un solo lado del surco, dejando una distancia de 20 a 30 cm entre surcos y 10 cm entre plantas.

2.13. Riego

El riego de la cebolla debe realizarse inmediatamente después del trasplante, seguido de riegos regulares cada 3 a 5 días hasta que las plantas se establezcan. Una vez que las cebollas han prendido, los riegos deben espaciarse entre 5 y 7 días, dependiendo de la temporada. A medida que el cultivo se consolida, es esencial mantener una humedad adecuada sin causar encharcamientos, que pueden propiciar enfermedades por hongos y bacterias. Un riego excesivo durante la formación de los bulbos puede interferir con la acumulación de nutrientes, mientras que la falta de riego en la fase final ayuda a preservar los bulbos. Se recomienda suspender el riego entre 15 y 25 días antes de la cosecha para evitar pudrición o rebrote durante el almacenamiento (PNS, 2006).

Al respecto CENTA (2003), señala que la cebolla se puede regar tanto por gravedad, como por goteo. También por aspersión, pero aumentan los riesgos de tener mayor presencia de enfermedades, al no regular la cantidad de agua. El autor menciona la frecuencia de riego óptima según la textura de los suelos, los cuales se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Frecuencia de riego según la textura de los suelos

Textura del Suelo	Riego por día
Textura gruesa (Arenosos)	2 a 3 días
Textura media (Francos)	3 a 4 días
Textura fina (Franco arcilloso)	4 a 5 días

Fuente: CENTA (2003).

2.13.1. Lámina neta (Ln)

La lámina neta representa la cantidad de agua que debe ser aplicada al suelo mediante riego para reponer exclusivamente el volumen de agua que el cultivo ha perdido por evapotranspiración durante un determinado periodo. Se expresa en milímetros (mm), lo que equivale a litros por metro cuadrado, y constituye un parámetro clave en la planificación hídrica de los sistemas de riego. Esta lámina busca restablecer la humedad del suelo desde un nivel mínimo o umbral, generalmente cercano al punto de marchitez hasta alcanzar la capacidad de campo, que es el contenido óptimo de agua que el suelo puede retener sin que se produzcan pérdidas por drenaje profundo.

Según Luppo (2015), este concepto no solo permite ajustar la eficiencia del riego, sino también evitar el estrés hídrico en las plantas, mejorar la absorción de nutrientes y optimizar el uso del recurso agua. En sistemas como la fertirrigación, calcular correctamente la lámina neta es fundamental para garantizar que los nutrientes disueltos en el agua lleguen de forma uniforme y efectiva a la zona radicular activa, favoreciendo así el desarrollo del cultivo y la sostenibilidad del manejo agronómico.

$$1\text{mm} = 1\text{L}/\text{m}^2$$

$$1\text{mm}=10\text{m}^3/\text{ha}$$

2.14. Fertirrigacion

Vidal (2019), señala que el sistema de riego presurizado se ha convertido en una herramienta muy eficiente y sostenible en la agricultura moderna. Países como China, India, Japón y Australia están ampliando mucho su uso, y en Estados Unidos ya se emplea en más de un millón de hectáreas. España ocupa el segundo lugar en Europa con más de 600,000 hectáreas bajo esta técnica, y otros países como Australia, Sudáfrica, Israel, Italia, Egipto, México e India también cuentan con grandes extensiones, superando las 100,000 hectáreas. En total, se estima que hay unos 8 millones de hectáreas en todo el mundo usando fertirrigación. La mayoría de estos cultivos son frutales y viñas, 72%; Hortalizas, 16%; cultivos, 12%. Implementar tecnologías como la fertirrigación es fundamental para optimizar el uso del agua y aumentar la productividad agrícola, especialmente pensando en la creciente población mundial para 2030. Este método combina la aplicación de agua y nutrientes directamente en las raíces, lo que ayuda a reducir pérdidas por evaporación y escurrimiento, haciendo que el recurso hídrico se aproveche de manera mucho más eficiente.

2.14.1. Ventajas y desventajas de la fertirrigacion

La fertirrigación, según Solórzano *et al.* (2020), es una técnica muy eficiente para suministrar fertilizantes a las plantas y se ha popularizado en cultivos como tomate, cebolla y melón, tanto en campos abiertos como en invernaderos.

Esta práctica ofrece varias ventajas como se puede resumir en lo siguiente:

- Permite una fertilización precisa y racional.
- Optimiza el uso de suelos con limitaciones, como compactación o alta permeabilidad.
- Facilita la aplicación de otros insumos, como desinfectantes, herbicidas y fungicidas.
- Reduce las necesidades energéticas de las plantas para absorber agua y nutrientes, manteniendo niveles adecuados de humedad y oxigenación.
- Ahorra agua y fertilizantes, además de controlar mejor la posible contaminación por distribución uniforme y localización de nutrientes.
- Disminuye riesgos de fitotoxicidad, contaminación de acuíferos y pérdidas de nutrientes por volatilización, lavado o escurrimiento.
- Evita nivelaciones de terreno.

- Incrementa los rendimientos de cultivos y mejora la calidad de los frutos.

Entre las posibles desventajas podemos citar:

- Requiere una inversión inicial elevada.
- Necesita sistemas con suficiente presión para funcionar correctamente.
- Demanda personal especializado para su manejo.
- Es indispensable utilizar fertilizantes hidrosolubles para evitar obstrucciones en el sistema de riego y en los goteros.

2.14.2. Características generales de los fertilizantes para fertirriego

Los fertilizantes tienen características clave que son fundamentales para un buen manejo del fertirriego. Entre ellas, destacan su composición química, pureza, nivel de solubilidad, salinidad y pH. Estos aspectos son importantes porque determinan cómo se dispersan y reaccionan en el suelo y las plantas, asegurando que la fertilización sea eficiente y segura para obtener mejores resultados en el cultivo (Vidal, 2019).

2.14.2.1. Solubilidad y compatibilidad

La solubilidad de un fertilizante, determinada por su composición química y física, es fundamental en fertirrigación, ya que estos fertilizantes deben ser altamente solubles (superior a 100 g/L) y contener menos del 0,5% de impurezas. Además, deben ser compatibles entre sí y con los iones del agua de riego y su pH para evitar reacciones que puedan obstruir los emisores.

La fertirrigación requiere fertilizantes altamente solubles (más de 100 g/L) y con bajo contenido de impurezas (<0,5 %) para evitar obstrucciones en los emisores. Además, deben ser compatibles entre sí y con la composición y pH del agua de riego, garantizando una solución nutritiva estable y eficiente. En el Cuadro 8 se presentan los fertilizantes utilizados en la investigación, seleccionados por su solubilidad y comportamiento agronómico. En el Cuadro 3, se muestran algunos fertilizantes solubles utilizados en la investigación.

Cuadro 3. Fertilizantes solubles con su respectivo concentración y disolución máxima aconsejada para la preparación madre

Fertilización	Concentración de Nutrientes (%)	Cantidad máxima a disolver en un estanque de 1000 Litros de capacidad
Ácido fosfórico (85%)	61 P ₂ O ₅	100 litros
Ácido nítrico (15.5% N)	15,5 N	100 litros
Cloruro de potasio	60 K ₂ O	250 kilos
Fosfato de urea	18 N - 44 P ₂ O ₅	200 kilos
Fosfato monoamónico	12 N – 61 P ₂ O ₅	200 kilos
Fosfato monopotásico	52 P ₂ O ₅ – 34 K ₂ O	200 kilos
Nitrato de amonio	33 N	350 kilos
Nitrato de calcio	15.5 N – 26 CaO	200 kilos
Nitrato de magnesio	11 N – 16 MgO	250 kilos
Nitrato de potasio	13,5 N – 46 K ₂ O	120 kilos
Sulfato de amonio	21 N – 22 S	120 kilos
Sulfato de magnesio	16 MgO – 13 S	100 kilos
Sulfato de Potasio	50 K ₂ O – 18 S	100 kilos
Urea	46 N	350 kilos

Fuente: Vidal (2019).

2.15. Fertilizantes

Según Vidal (2019), define como un producto químico, específicamente inorgánico, que proporciona nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Se presenta como una sal inerte sin carga, que al mezclarse con agua (ya sea del suelo o de una solución) se disocia, liberando nutrientes en forma iónica. Estos nutrientes se presentan como iones cargados, que puede ser negativo (aniones) o positivos (cationes), ejemplo como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Disociación iónica de algunos fertilizantes de uso común

Fertilizantes	Iones cargados después de la hidrolisis	
NH ₄ NO ₃ (Nitrato de amonio)	NH ₄ ⁺ (Cación Amonio)	NO ₃ ⁻ (Anión Nitrato)
KH ₂ PO ₄ (Fosfato monopotásico)	K ⁺ (Cación Potasio)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Fosfato monoamónico)	NH ₄ ⁺ (Cación Amonio)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
H ₃ PO ₄ (Ácido Fosfórico)	H ⁺ (Cación Hidrógeno)	H ₂ PO ₄ ⁻ (Anión Fosfato)
KCl (Cloruro de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	Cl ⁻ (anión cloruro)
KNO ₃ (Nitrato de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	NO ₃ ⁻ (Anión Nitrato)
K ₂ SO ₄ (Sulfato de Potasio)	K ⁺ (Cación Potasio)	SO ₄ ²⁻ (Anión Sulfato)

Fuente: Vidal (2019)

Vidal (2019), destaca que la producción de alimentos constituye una de las actividades humanas más trascendentales, no solo por su impacto en la seguridad alimentaria global, sino también por su estrecha relación con el uso racional de los recursos naturales. En este contexto, los fertilizantes juegan un papel determinante, siendo responsables de aproximadamente el 40 % de la producción mundial de alimentos. Sin su aplicación, se requeriría duplicar la superficie cultivada actual para alcanzar los niveles de producción que hoy se obtienen, lo que implicaría una presión insostenible sobre los ecosistemas agrícolas. Además, en los últimos 50 años, el uso de fertilizantes ha experimentado un crecimiento exponencial, pasando de niveles modestos a superar las 180 millones de toneladas anuales, reflejando la creciente demanda de nutrientes por parte de sistemas agrícolas intensivos.

Frente a este escenario, los próximos 20 años plantean desafíos agronómicos complejos: ¿cómo reponer los nutrientes extraídos por los cultivos sin comprometer el equilibrio del suelo?, ¿de qué manera aprovechar el potencial genético de nuevas variedades sin incurrir en costos excesivos?, ¿cómo aumentar la eficiencia productiva sin incrementar el impacto ambiental? La respuesta no radica en aplicar mayores volúmenes de fertilizantes, sino en transitar hacia estrategias más inteligentes y sostenibles, como el uso de fertilizantes de alta eficiencia y tecnologías de precisión, entre ellas la fertirrigación. Este enfoque permite ajustar las dosis y momentos de aplicación según las necesidades reales del cultivo, optimizando la absorción de nutrientes, reduciendo pérdidas y contribuyendo a una agricultura más flexible y responsable.

2.15.1. Elementos esenciales o nutrientes

Vidal (2019), indica que un elemento es esencial cuando satisface los criterios directo e indirecto, en forma conjunta o no. Por criterio directo, corresponde a que el elemento debe ser parte de un compuesto o de una reacción relevante (enzimática o no) para el metabolismo y, por consiguiente, para la vida del vegetal. Si el criterio directo es satisfecho, el elemento es considerado esencial o nutriente.

La lista de nutrientes que satisface el criterio directo y/o indirecto, es la siguiente:

- Macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S.
- Micronutrientes: B, Cl, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Se y Zn.

Dentro los elementos mencionados, los más recientes en ser incluidos son el cobalto, el níquel y el selenio. La importancia del cobalto radica en su papel como componente de la isomerasa de metil malonil-CoA, una enzima clave en la biosíntesis del núcleo de la clorofila. Además, y también es un componente de la vitamina B12 y sus derivados, lo que subraya su relevancia en el metabolismo y la salud de las plantas (Vidal, 2019).

2.16. Principales plagas y enfermedades

2.16.1. Plagas

- **Trips (*Thrips tabaci*):** Produce los mayores daños durante la etapa de pre-bulbificación y bulbificación del cultivo, por la acción de ninfas y adultos que son los responsables de producir lesiones, consistentes en manchas o estrías distribuidas en todo el follaje (Arevalo, 2006).
- **Mosca de la cebolla (*Hylemia antiqua*):** Ataca a las flores y órganos verdes. Las larvas penetran a los bulbos, así como las axilas y al cuello. El ápice de la hoja palidece y después muere (Arevalo, 2006).
- **Escarabajo de la cebolla (*Lylyoderys merdigera*):** Producen daños los escarabajos adultos perforando las hojas. Las larvas recortan bandas paralelas a los nervios de las hojas (Perez, 2003).

2.16.2. Enfermedades

- **Mildiu (*Peronospora destructor o schleideni*):** En las hojas nuevas aparecen unas manchas alargadas que se cubren de un fieltro violáceo, los bulbos no pueden llegar a madurar (Perez, 2003).
- **Roya (*Puccinia sp.*):** Origina manchas pardo-rojizas que después toman coloración violácea, en las cuales se desarrollan las uredosporas. Las hojas se secan prematuramente como consecuencia del ataque (Perez, 2003).
- **Carbón de la cebolla (*Tubercinia cepulae*):** La infección tiene lugar al germinar las semillas, debido a que el hongo persiste en el suelo (Pérez, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.7. Localización

3.7.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, de la provincia Los Andes de la segunda sección municipal de Laja del departamento de La Paz. Se encuentra ubicado a una distancia de 35 km de la ciudad de La Paz, a una altura de 3901 metros sobre nivel del mar. Se encuentra geográficamente a $16^{\circ}46'15.11''$ de latitud Sur y $68^{\circ}19'49.18'$ longitud Oeste (Earth, 2024).



Fuente: Earth (2024).

Figura 3. Ubicación del área de estudio

3.7.2. Características Edafoclimáticas

3.7.2.1. Clima

Las condiciones climáticas de la Estación Experimental de Kallutaca, corresponde a la clasificación del altiplano, seco húmedo. La incidencia de helada se presenta en los meses de mayo a agosto, con una temperatura promedio anual de 7.1 °C., con masas de aire frío provenientes del Norte, que causan olas de frío principalmente en verano e invierno, a una velocidad de viento de 9.7 km/hr, con una precipitación pluvial que alcanza 613.1 mm por año, por los meses de septiembre a abril. Y por el régimen de las corrientes del viento afectada la distribución y frecuencia de las precipitaciones pluviales (SENAMHI, 2008).

3.7.2.2. Suelo

En los predios del Estación Experimental de Kallutaca presenta suelos con texturas franco-arcillosas, la densidad aparente de 1.32 y 1.11 g/cm respectivamente. En cuanto al pH del suelo se reporta un valor de 7.4, y una conductividad eléctrica de 2280 $\mu\text{S}/\text{cm}$, asimismo presentan una acumulación de 4.4% de materia orgánica (Guarachi, 2011).

3.7.2.3. Flora

Según Lopez (2013), el tipo de vegetación natural que predomina en la región Centro Experimental de Kallutaca, está conformada por perennes y arbustivas, las mismas son consideradas plantas invasoras entre las especies de estrato bajo se encuentran Chiji (*Distichlis humilies Phil*); Cebadilla (*Bromus uniolooides Balh*); Diente de león (*Taraxacum officinale Weber*); Bolsa de pastor (*Capsella bursa-pastori L.*); Auja-auja (*Erodium cicutarum L.*); K"ora lupu-lupu (*Tarasa tenella Krapov.*); Mostaza (*Brassica rapa L.*); Muni muni (*Bidens andiloca Kunth*), entre las especies cultivadas Haba (*Vicia faba*); Papa (*Solanum tuberosum*); Quinoa (*Chenopodium quinoa*); Cañahua (*Chenopodium pallidicaule*); trigo harinero (*Triticum aestivum*); cebada (*Hordeum vulgare L.*), trigo (*Triticum sativum*), avena (*Avena sativa*), oca (*Oxalis tuberosum*) y haba (*Vicia faba*).

3.7.2.4. Fauna

Guarachi (2011), menciona que los animales silvestres característicos de la región son: Lekhe lekhe (*Charadriu salticola*), Paloma (*Columba livia*), Ratones (*Mus musculus*) y algunos animales domésticos como la Vaca (*Boss taurus*), Burro (*Equisasinus*), Oveja (*Ovis aries*), Llama (*Lama glama*), Perro (*Canis familiaris*), Cuyes (*Cavia porcellus*), y otros.

3.8. Materiales

3.8.1. Material Biológico

El material biológico que se empleó en el trabajo de investigación fueron plántulas de cebolla (Texas Yellow y White Creole), el material biológico fue proporcionado por el módulo de horticultura del Centro Experimental de Kallutaca.

3.8.2. Insumos químicos para fertirriego

- Nitrato de calcio
- ácido fosfórico
- Nitrato de potasio
- Sulfato de magnesio
- Cloruro de potasio
- Micronutrientes

3.8.3. Material de escritorio

- Cuaderno de campo
- Computadora portátil
- Hojas bond
- Lápiz
- Impresora
- Regla
- Programas estadísticos
- Calculadora

3.8.4. Material de campo

- Cámara fotográfico
- Pico
- Pala
- Rastrillo
- Estacas
- Letreros
- Hilo

- Planilla de registro
- Calibrador vernier
- Flexo
- Balanza
- Romana
- Carretilla
- Tacho de 50 lt
- Cable de 100 mt

3.8.5. Material para sistema de riego

- Tubos pvc
- Codos
- Unión universal
- Llaves
- Teflón
- Bomba de agua
- Cinta de goteo
- Mini válvulas

3.9. Metodología

3.9.1. Procedimiento experimental

3.9.1.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó con mucho cuidado. Consistió en remover y desterronado de manera uniforme toda la superficie del terreno para así de esta manera asegurarnos de que estuviera en las mejores condiciones para el trasplante. Para ello, utilizamos implementos tradicionales como las picotas, que nos permitieron a trabajar con precisión y cuidado, trabajar a mano nos dio la oportunidad de evaluar mejor como estaba el suelo en cada parte.

3.9.1.2. Nivelación del terreno

La nivelación del terreno se realizó de forma manual con la ayuda de un rastrillo, para lograr una superficie uniforme. Además, se hizo una nivelación con un pendiente de 1%, este procedimiento permitió optimizar las condiciones del suelo y facilitar un desarrollo homogéneo del cultivo.

3.9.1.3. Delimitación del terreno

La delimitación del área experimental se realizó con la ayuda de una wincha métrica, se preparó estacas de palo e hilo, distribuyendo las parcelas de cada unidad experimentales, formando un área experimental de 37 m de largo y 1.5 m de ancho ocupando una superficie de 55.5 m², el cual se dividió a tres bloques, cada bloque está compuesto por 6 unidades experimentales con una medida de 2 m de largo y 1.50 m de ancho, teniendo total de 18 unidades experimentales con un pasillo de 0.50 m.

3.9.1.4. Toma de muestras del suelo

Se procedió a tomar muestras de la capa arable del suelo a una profundidad de 0.20 m, por el método de zig - zag. Las cuales fueron mezcladas y cuarteadas hasta obtener un kilo de muestra de suelo; posteriormente fueron enviadas al Instituto Puruma (Agricultura Regenerativa). Unidad de análisis y calidad ambiental, en el cual se analizaron las propiedades físico - químicas del suelo.

3.9.1.5. Formación de surcos

En la formación de los surcos se utilizó una picota para arar la tierra, volcando estas a los costados del surco con una profundidad de 20 cm.

3.9.1.6. Instalación del sistema riego

La instalación del sistema de riego fue antes de hacer el respectivo trasplante de las plántulas de cebolla para que tenga suficiente humedad ya que el suelo se encontraba completamente seco.

3.9.1.7. Trasplante

El trasplante de la cebolla se realizó cuando los tamaños de las plántulas eran de 4 a 5 mm de diámetro de cuello y de altura 15 cm, la apertura de los surcos se lo realizó con la ayuda de una picota, las plántulas se depositaron en la parte media del surco el distanciamiento fue de 0.37 cm entre hileras y las densidades de siembra fue de 6, 8, 10 cm entre plantas.



Figura 4. Medida de la cebolla para trasplante

3.9.1.8. Fertirriego

Salas (2023), sugiere que la aplicación de dosis de fertilización de nivel 3, equivalentes a 50 kg/ha, es recomendable para optimizar la producción y el rendimiento del cultivo de cebolla. Esta dosis no solo favorece el desarrollo del bulbo, sino que también mejora el crecimiento general de la planta, lo que puede traducirse en una cosecha más abundante y de mayor calidad. Esto implica que una fertilización adecuada es clave para alcanzar los mejores resultados en el cultivo de cebolla

La cebolla, por tener un sistema de raíces pequeño, responde muy bien a la fertilización directa. Cuando se hace un buen programa de fertilización, considerando los análisis de suelo y agua, se pueden lograr cosechas más abundantes y de mejor calidad. En esta investigación, se usaron fertilizantes solubles que son compatibles con el sistema de riego por goteo. Esto permite aplicar los fertilizantes de manera precisa y uniforme. La cantidad y tipo de fertilizantes utilizados se determinaron según las necesidades del cultivo y las recomendaciones que aparecen en el Cuadro 5, lo que ayuda a mejorar el crecimiento y el rendimiento de la cebolla.

Cuadro 5. Fertilizantes que se usó en la investigación.

Fertilización	Formula	% de pureza
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄ (85%)
Cloruro de potasio	KCl	K ₂ O (63%) - Cl (47%)
Nitrato de calcio	Ca (NO ₃) ₂	N (17%)-CaO (33%) - Ca (23.5%)
Nitrato de potasio	KNO ₃	N-NO ₃ (13%)-K ₂ O (45%)
Sulfato de magnesio 25.5	Mg SO ₄	MgO (14.9 %) - S (11 %)
Micronutrientes		

Fuente: Salas (2023).

Estos fertilizantes fueron utilizados para satisfacer las necesidades nutricionales y compensar el déficit de nutrientes en el suelo durante el periodo de crecimiento vegetativo de la cebolla.

Obteniendo los resultados correspondientes se preparó soluciones madre, (100 veces concentrada), donde se prepararon soluciones madre de 2 litros, el cual abastece cada 500 mililitros para 50 litros de agua para su respectivo fertirriego mediante el sistema de riego por goteo, como se ve en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Solución madre de fertilizantes en 2 litros

Fertilizantes (g)	
Nitrato de calcio (g)	186.62
Ácido fosfórico (ml)	5
Nitrato de potasio (g)	101
Sulfato de magnesio (g)	91.05
Cloruro de potasio (g)	35.79

Fuente: Salas (2023).

El nivel 3 de fertilización fue preparado con anticipación para garantizar un suministro adecuado de nutrientes para las dos variedades de cebolla. Posteriormente, se implementó un sistema de fertirriego semanal, donde se aplicaron dosis específicas en toneladas por hectárea (t/ha). Esto significa que, además de la fertilización inicial, se realizaron aplicaciones regulares de nutrientes disueltos en el agua de riego, lo que permitió una absorción más eficiente por parte de las plantas.

En el Cuadro 6 y 7 se detallan los fertilizantes utilizados y las cantidades empleadas en la investigación, lo que proporciona una visión clara de cómo se gestionaron los nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo. Este enfoque integral de fertilización y riego fue una parte fundamental para optimizar el crecimiento y rendimiento de las cebollas.

Cuadro 7. Dosis de fertilizantes para su uso en (ha)

FERTILIZANTE	Rendimiento 50 t/ha
Nitrato de calcio (kg)	179.2
Nitrato de potasio (kg)	102.4
Sulfato de magnesio (kg)	89.6
Cloruro de potasio (kg)	35.2
Ácido fosfórico (L)	7.68
Fetrilon Combi 2 (kg)	48

Fuente: Salas (2023)

3.9.2. Labores culturales

Las labores culturales se realizaron de acuerdo al requerimiento del cultivo, para uniformizar la respuesta del cultivo y asegurar el éxito de la investigación. Los tratamientos fitosanitarios se efectuaron de acuerdo al complejo prevaleciente de plagas con el uso de productos químicos. Las labores culturales fueron: aporque, deshierbes, riego, fertilización, tratamiento fitosanitario y cosecha.

3.9.2.1. Deshierbe

El deshierbe se realizó en dos ocasiones durante todo el ciclo del cultivo, esta actividad se realizó manualmente con la ayuda de una chonta, esto para evitar la competencia de nutrientes del cultivo con las malezas.

3.9.2.2. Aporque

En el momento del deshierbe se aprovechó la labor del aporque, para evitar el crecimiento de las malas hierbas. Otro beneficio importante es para airear el suelo (oxigenación), así mismo para que la raíz como el bulbo se desarrolle con mayor facilidad. Este trabajo se realizó manualmente con la ayuda de una chonta.

3.9.2.3. Riego

El riego se realizó cada 3 a 5 días, de acuerdo a las condiciones de humedad del terreno de cada parcela. El riego fue suspendido 10 días antes de la fecha establecida para la cosecha de cada parcela, esto para acelerar la finalización del ciclo de aquellas variedades que no se encontraban en condiciones de cosecha.

3.9.2.4. Tratamiento fitosanitario

El tratamiento fitosanitario fue realizado de manera preventiva cada 30 días y aplicaciones curativas de acuerdo a la presencia e incidencia de las plagas y enfermedades que se presentaron; cada aplicación se realizó después del riego cuando el campo estaba en las condiciones de humedad necesarias y las plantas estaban con la mejor capacidad de respuesta al producto. De manera general, las plagas y enfermedades que se presentaron durante el ciclo productivo fueron: Mildiu (*Peronospora destructor*).

3.9.2.5. Cosecha

La cosecha se efectuó a los 148 días después del trasplante, cuando el 45 % de las plantas de cada tratamiento estaban listo para su cosecha. Con la ayuda de una picota se procedió a cosechar las cebollas, evitando dañarlas. Una vez realizada la cosecha se registraron los datos que se estaba evaluando por tratamiento, posteriormente se llevó al mercado para su venta.

3.9.3. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se realizó bajo el diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones (Ochoa, 2007).

Donde los niveles del factor "A" fueron las dos variedades de cebolla (Texas Yellow y White Creole) y los niveles del factor "B" las tres densidades de trasplante.

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \gamma_j + \alpha \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera de la variable de respuesta

μ = Media poblacional.

β_k = Efecto de k – ésimo bloque

α_i = Efecto del i – ésimo nivel de la variedad.

ε_{ik} = Error experimental de la parcela mayor (E_a).

γ_j = Efecto del j – ésimo de la densidad de trasplante.

$\alpha \gamma_{ij}$ = Interacción de la i – ésima variedad con la j – ésima densidad de trasplante.

ε_{ijk} = Error experimental de la parcela menor (E_b).

ε_{ijk} = Error experimental

3.9.4. Factores de estudio

Los factores de estudio fueron:

Factor A: Variedades

a_1 = Texas Yellow

a_2 = White Creole

Factor B: Densidad de trasplante

b_1 = 6 cm

b_2 = 8 cm

b_3 = 10cm

Formulación de tratamientos

Se formularon los siguientes tratamientos:

$T_1 = a_1b_1$ Texas Yellow 6 cm

$T_2 = a_1b_2$ Texas Yellow 8 cm

$T_3 = a_1b_3$ Texas Yellow 10 cm

$T_4 = a_2b_1$ White Creole 6 cm

$T_5 = a_2b_2$ White Creole 8 cm

$T_6 = a_2b_3$ White Creole 10 cm

3.9.5. Variables de respuesta

3.9.5.1. Altura de la planta (cm)

Se procedió a identificar cinco plantas al azar en cada unidad experimental para medir su altura. La medición se hizo desde la base del cuello de la planta hasta la punta de la hoja más larga, usando un flexómetro. Los resultados se expresaron en centímetros (figura 5).



Figura 5. Altura de planta de cebolla

3.9.5.2. Número de hojas

Para el registro de esta variable, se contó la cantidad de hojas en cada planta dejando fuera las que estaban dañada o eran demasiado pequeña. Se trabajó con cinco plantas por cada unidad experimental, previamente marcadas para facilitar el seguimiento, el conteo se hizo directamente en cada planta, como se muestra en la (figura 6).



Figura 6. Número de hojas de la cebolla

3.9.5.3. Diámetro del bulbo (mm)

Al momento de la cosecha, se midió el diámetro del bulbo con la ayuda de un vernier, tomando como referencia la parte central. Las medidas se registraron en milímetros, como se puede observar en la (figura 7).



Figura 7. Diámetro del bulbo de la cebolla

3.9.5.4. Diámetro del falso tallo (mm)

Se procedió a medir el diámetro del falso tallo en cinco plantas por cada unidad experimental, utilizando siempre las mismas plantas para hacer el seguimiento de su evolución y desarrollo a lo largo del tiempo. Los valores obtenidos se expresaron en mm, como se ilustra en la (figura 8).



Figura 8. Diámetro del falso tallo de la cebolla

3.9.5.5. Peso de la cebolla (g)

El peso de la cebolla se determinó en el momento de la cosecha mediante el uso de una balanza analítica. Se evaluaron cinco plantas previamente seleccionadas por unidad experimental, y los valores obtenidos se expresaron en gramos. Los resultados se expresaron como se observa en la (figura 9).



Figura 9. Peso de la cebolla

3.9.5.6. Rendimiento (kg/ha)

Para su evaluación del rendimiento, se pesó el total de las plantas cosechadas de cada unidad experimental como se puede ver en la (figura 10).



Figura 10. Rendimiento

La unidad utilizada fue: Lb/3m², la cual se transformó a kg/ha.

$$\frac{kg}{ha} = \frac{lb}{m^2} * \frac{0.45359237kg}{1lb} * \frac{10.000 m^2}{1ha}$$

$$\frac{t}{ha} = \frac{kg}{ha}$$

3.9.6. Análisis económico

Para el análisis económico se realizó las siguientes evaluaciones para determinar el cálculo de beneficio/costo para todos los tratamientos:

3.9.6.1. Ingreso bruto

El ingreso bruto se calculó para cada tratamiento, multiplicando el rendimiento ajustado por el precio del producto que fue de 5 b por kilogramo. Este precio se comprobó en las ferias de la ciudad de El Alto.

Donde:

$$IB = R \times P$$

IB = Ingreso bruto.

R = Rendimiento.

P = Precio.

3.9.6.2. Ingreso neto

La utilidad neta se determinó restando el total de los costos de producción del ingreso bruto obtenido.

$$IN = IB - CP$$

Donde:

IN = Ingreso neto.

IB = Ingreso bruto.

CP = Costo de producción.

3.9.6.3. Relación beneficio costo

Se calculó comparando el ingreso bruto con los costos de producción, con el fin de realizar una evaluación económica final. Si la relación es menor a 1, significa que se registran pérdidas, y una relación superior a 1 significa que la actividad económica fue rentable.

= < 1 Rechazado.

= 1 Dudoso.

= > Aceptable

Donde:

$$B/C = IB / CP$$

B/C = Beneficio costo.

CP = Costo de producción.

IB = Ingreso bruto.

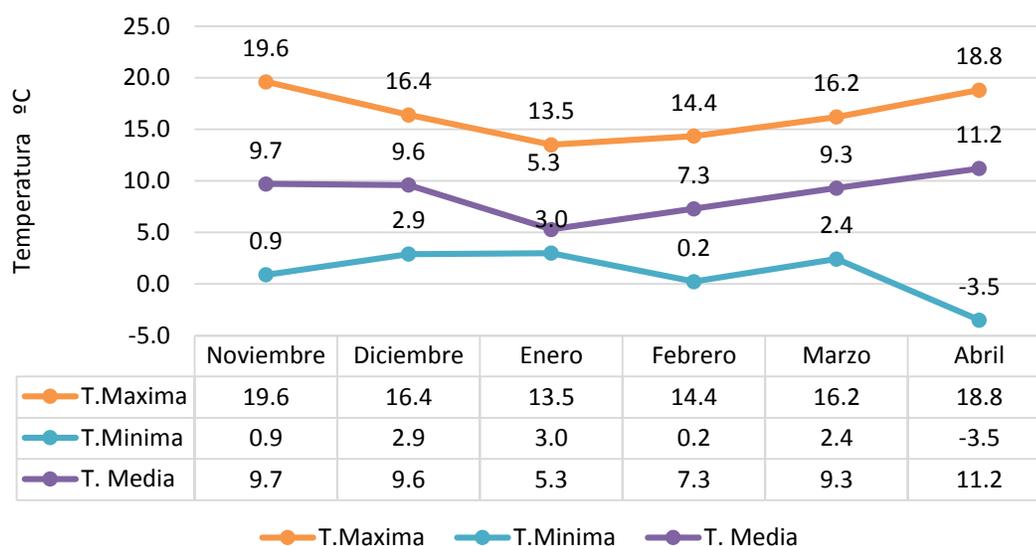
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.7. Clima

En el presente estudio, realizado en la Estación Experimental de Kallutaca, se consideró como información climática notable la temperatura y la precipitación, las cuales fueron monitoreadas desde el inicio de la siembra hasta la cosecha. El municipio de Laja se caracteriza por ser de clima frío, donde predominan condiciones como bajas temperaturas, lluvias frecuentes y presencia de heladas.

4.7.1. Temperatura

Durante el periodo de investigación las de mayor importancia que fueron considerados son: Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Temperatura Media.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Temperatura máxima, mínima y medias en el periodo de estudio

Los datos presentados en la figura 11, detallan el comportamiento de las temperaturas registradas durante el periodo de investigación. En el mes de noviembre alcanzando los valores de 19.6 °C respectivamente, por otro lado, el valor más bajo se registró en el mes de abril con una temperatura de -3.5 °C. Mientras que la temperatura promedio total registrada fue 8.7 °C, con una temperatura máxima media de 17.3 °C y temperatura mínima

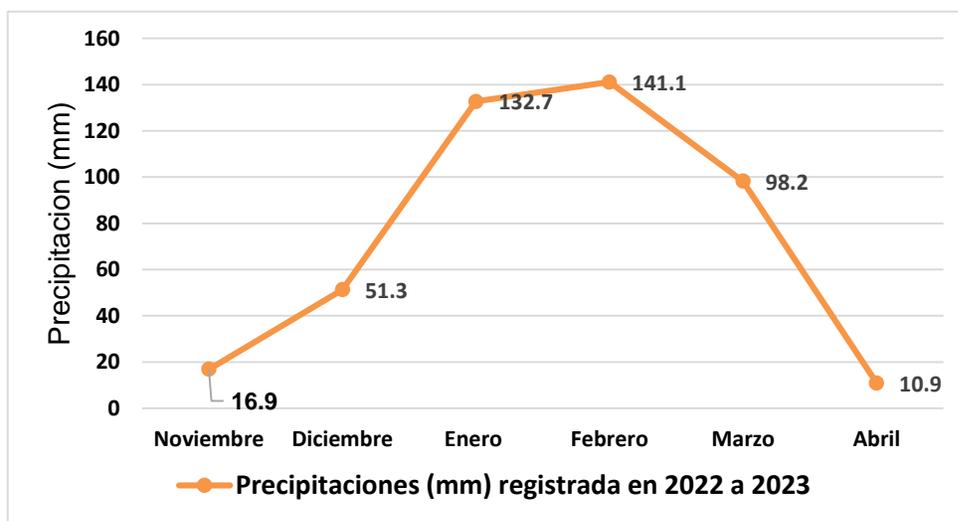
media fue de 1 °C. Se puede afirmar que el cultivo de cebolla es resistente a temperatura bajas pero si es debajo de los 7.0 °C, el desarrollo se ralentiza considerablemente,

Al respecto FDTA-Valles (2006), menciona que la temperatura está íntimamente relacionada con la fotosíntesis; a mayor temperatura, se produce mayor fotosíntesis y viceversa. La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo esta alrededor de 13°C a 24°C.

Según Villalobos *et al.* (2009), observó que las bajas temperaturas en el cultivo de cebolla. Causa un efecto sobre el desarrollo, traspiración y absorción de agua y nutrientes.

4.7.2. Precipitación Pluvial

La figura 12. Muestra cómo se comportaron las precipitaciones durante el periodo de estudio. En el mes de febrero se registró una cantidad considerable de precipitación, alcanzando 141.1 mm, mientras que en el mes de abril la precipitación fue apenas 10.9 mm. Por otro lado en los meses de noviembre, diciembre y enero las precipitaciones fueron aumentando progresivamente: 16.9 mm, 51.9 mm, 132.7 mm respectivita. Este incremento favoreció en el desarrollo del cultivo, ya que las condiciones de humedad fueron más adecuadas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Precipitación pluvial

Al respecto Medina (2008), señala que la cebolla es un cultivo que requiere entre 350 a 500 milímetros de agua para satisfacer sus necesidades hídricas, sin sobrepasar el 70 % de la humedad de campo. Debido al reducido sistema radicular de la cebolla, el cual oscila entre 20 y 200 raíces con pocos pelos absorbentes y raíces con un diámetro menor de un milímetro, la absorción de agua es muy lenta.

4.7.3. Parámetros de riego por goteo

4.7.3.1. Lamina neta de riego

DATOS:

Profundidad radicular: 20 cm

Textura del suelo: Arcillosa limosa

Arena: 11.36 %

Limo: 47.77 %

Arcilla: 41.20 %

Materia orgánica: 4.82 %

Densidad aparente: 1.11 g/cm³

- **Capacidad de campo (CC %):**

$$CC\% = 21,977 - 0,186 (AR) + 2,601 (MO) + 0,127(AC)$$

$$CC\% = 21,977 - 0,186 (11.36) + 2,601 (4.82) + 0,127(41.20) = 37.63 \%$$

- **Punto de marchitez permanente (PMP%)**

$$PMP\% = -5 + 0,74 * 37.63 = 22.85 \%$$

- **Agua disponible**

$$AD = CC\% - PMP\% = 14.79 * 1.11 = 16.42 \text{ mm} / 10 \text{ cm} * 20 \text{ cm} = 32.83 \text{ mm}$$

- **Lamina neta de riego**

$$Ln1: 32.83 * 0.35 = 11.49 \text{ mm}$$

A partir de los análisis físicos del suelo, se determinó una textura arcillosa limosa con 11.36 % de arena, 47.44 % de limo y 41.20 % de arcilla, además de un contenido de materia orgánica de 4.82 % y una densidad aparente de 1.11 g/cm³. Estos parámetros permitieron calcular la capacidad de campo (CC) mediante la fórmula empírica de Luppo (2015), obteniéndose un valor de 37.64 %. El punto de marchitez permanente (PMP), calculado como función del CC, fue de 22.85 %, lo que permitió estimar un contenido de agua disponible (AD) de 14.79 %.

Al considerar la densidad aparente y una profundidad radicular efectiva de 20 cm, se obtuvo un valor de agua disponible de 32.86 mm. Aplicando un coeficiente de agotamiento permitido de 0.35, adecuado para cultivos sensibles al déficit hídrico como la cebolla, se calculó una lámina neta de riego de 11.5 mm. Este valor representa la cantidad de agua que debe ser aplicada por turno de riego para reponer el volumen extraído por el cultivo sin generar estrés hídrico.

4.7.3.2. Volumen de agua requerido

Lamina neta: 11.5 mm

Área del superficie en estudio: 55.5 m²

Lamina neta: 11.5 mm = 11.5L/m²

Volumen total: 11.5 L/m² * 55.5 m²= 638 L

4.7.3.3. Tiempo de riego

Volumen total de riego: 638 L

Caudal: 7200 L/h = 120 L/min

Tiempo de riego: $\frac{638.25 \text{ L}}{120 \text{ L/min}} = 5.31 \text{ minutos}$

Tiempo ideal de riego por turno: ≈ es de 5 a 20 minutos para aplicar la lámina neta de 11.5 mm en toda la parcela de 55.5 m² cada 5 días.

4.8. Variables de respuesta

4.8.1. Variables agronómicas

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el campo de la presente investigación, en la cual se evaluó el desempeño agronómico del cultivo de cebolla de dos variedades (Texas Yellow y White Creole), junto con tres densidades de trasplante: 6, 8 y 10 cm.

4.9. Altura de planta (Cm)

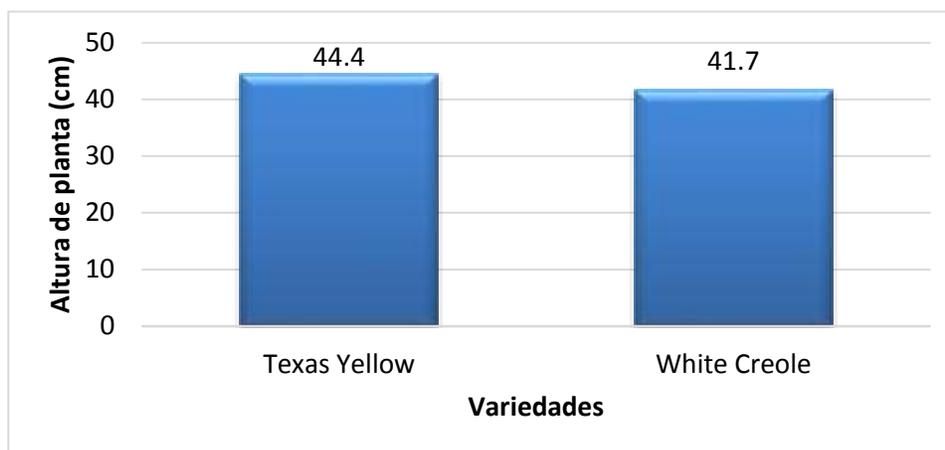
El análisis de varianza presentado en el cuadro 8 para la variable altura de planta nos muestra que no existe diferencias estadísticamente significativa entre los bloques, variedades, densidades ni en la interacción entre variedades por densidades, ya que todos los valores de $Pr>F$ son superiores a 0.05. Se observa que ningún de los factores estudiado tuvo un efecto diferencial sobre la altura de la planta. Además el CV fue de 10.25 %, lo cual se refleja que los datos son confiable siendo este inferior al 30%.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la altura de planta

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F	Sig
Bloque	62.54	2	31.27	1.53	0.3947	ns
Variedades	33.08	1	33.08	1.62	0.3308	ns
Error Variedad	40.78	2	20.39			
Densidades	40.35	2	20.18	1.04	0.3976	ns
Var*Den	93.63	2	46.82	2.41	0.1519	ns
Error Densidad	155.59	8	19.45			
Total	425.96	17				
C.V.: 10.25						

(ns)= no significatvo

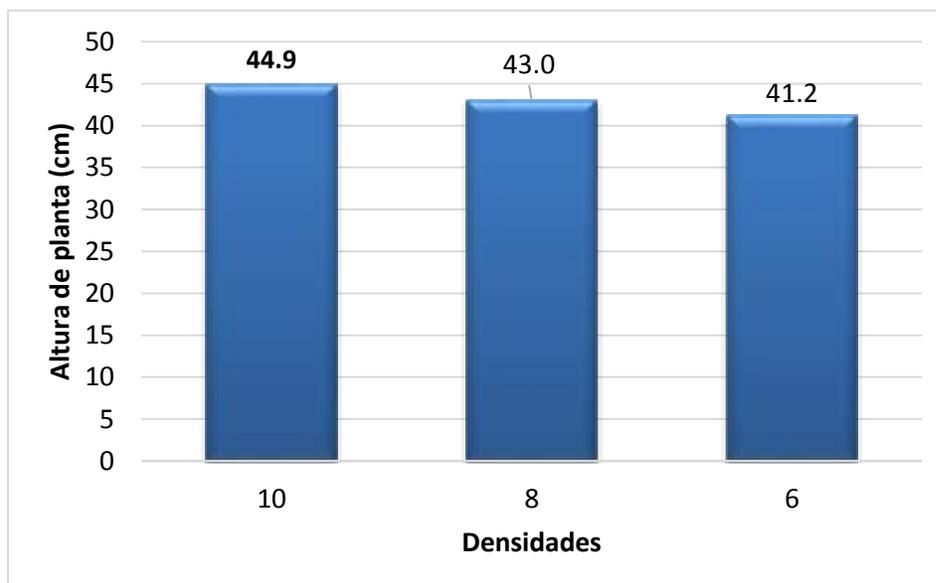
En la figura 13. Se muestra que la variedad Texas Yellow alcanzó una altura promedio de 44.4 cm, superando ligeramente a White Creole, que presentó 41.7 cm.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Promedios de la variable altura de la planta con diferentes variedades

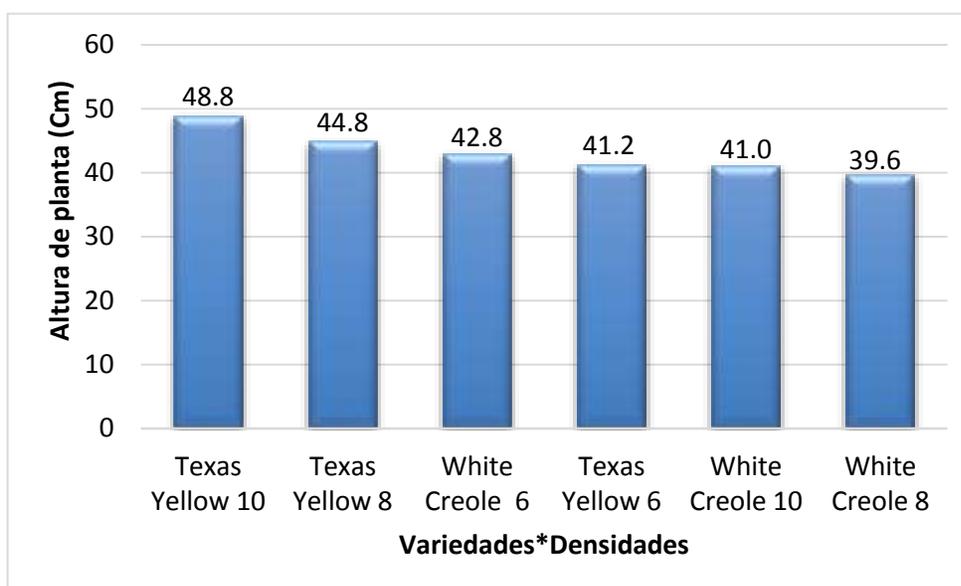
A medida que se incrementó la densidad de trasplante, se observa un efecto positivo en la altura de planta en el cultivo de cebolla. En la figura 14 se evidencia que el mayor altura promedio fue de 44.9 cm, se alcanzó con una densidad de trasplante de 10 cm, seguida por 8 cm con 43.0 cm de altura y finalmente el de 6 cm obtuvo un promedio de altura 41.2 cm.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Promedios de la variable altura de planta con diferentes densidades

Los resultados obtenidos en la interacción entre variedades por densidades de trasplante en el figura 15, nos muestra un comportamiento agronómico numéricamente con leves variaciones en el promedio de altura de la planta, el cultivo fue evaluada a campo abierto en la Estación Experimental de Kalllutaca. La variedad Texas Yellow con densidad de trasplante de 10 y 8 cm alcanzaron un promedio de 48.8 cm y 44.8 cm. Mientras que la variedad White Creole alcanzo su mejor desarrollo con 42.8 cm de altura de planta con una densidad de trasplante de 6 cm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Promedios de la variable altura de planta en la interacción de variedades por densidades de trasplante

Al realizar nuestra investigación vemos que en los resultados estadísticos mostraron que estas diferencias no fueron significativas. Es decir, no se puede afirmar con exactitud que la variedad o la densidad de trasplante hayan influido directamente en el crecimiento en altura de la planta. Aun así, se observó una tendencia interesante: en la variedad Texas Yellow apreciamos según los datos estadísticos que se tiene más desarrollo en la planta cuando tiene mayor densidad de trasplante, mientras que la variedad White Creole mantiene una altura más estable sin importar la densidad.

También Sanchez *et al.* (2015), menciona que la competencia por luz y nutrientes puede influir en el tamaño de las plantas, aunque no siempre se traduce en diferencias significativas. Por eso, aunque no hubo resultados definitivos, es factible continuar investigando esta relación en las futuras investigaciones con más repeticiones o en condiciones más controladas ya que este ayudara a mejorar las futuras producciones

por otra parte Paye (2012), menciona que el nitrógeno (N) favorece el desarrollo foliar y el desarrollo de las plantas; el fosforo (P) estimula la rápida formación y crecimiento de raíces al comienzo de la vegetación; el potasio (K) ayuda a la producción de proteína de las plantas, otorga a las plantas gran vigor y resistencia contra las enfermedades; calcio (Ca) influye en la formación de las paredes celulares y el magnesio (Mg) forma parte de la clorofila y actúa en el metabolismo del fósforo. En conjunto, estos nutrientes crean las condiciones necesarias para que las plantas expresen su máximo potencial en altura, especialmente cuando el manejo nutricional se combina con sistemas como el fertirriego.

4.10. Número de hojas

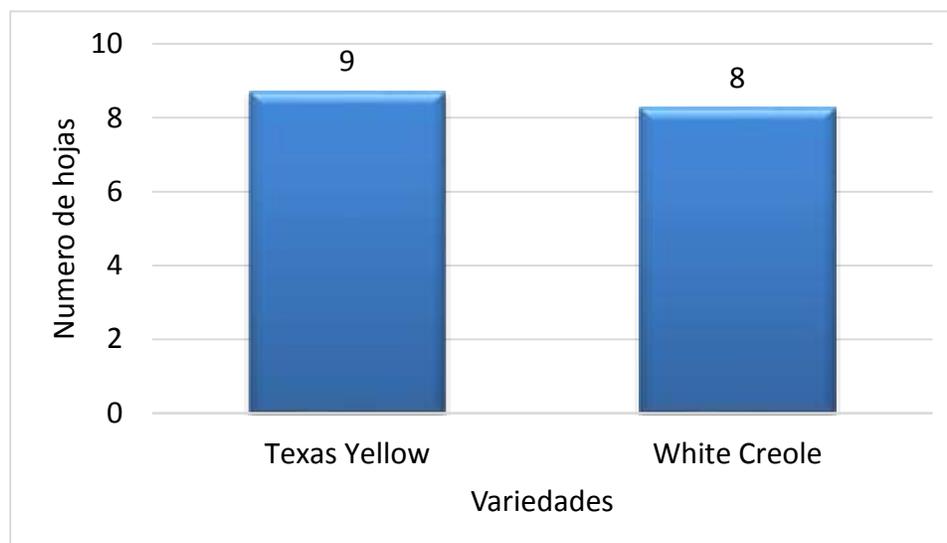
De acuerdo al análisis de varianza presentado en el cuadro 9, no se observa diferencias estadísticamente significativas en el número de hojas por planta en las variedades evaluadas, las densidades de trasplante no muestran significancia ni en la interacción. También se aprecia que el CV es de 10.79 %, lo que nos muestra que la información es confiable.

Cuadro 9. Análisis de varianza de numero de hojas

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F	Sig
Bloques	0.22	2	0.11	0.67	0.5984	ns
Variedades	0.89	1	0.89	5.48	0.1441	ns
Error Variedad	0.32	2	0.16			
Densidades	0.35	2	0.18	0.21	0.8155	ns
Var*Den	0.56	2	0.28	0.34	0.724	ns
Error Densidad	6.71	8	0.84			
Total	9.06	17				
CV: 10.79						

(ns) = **No significativo**

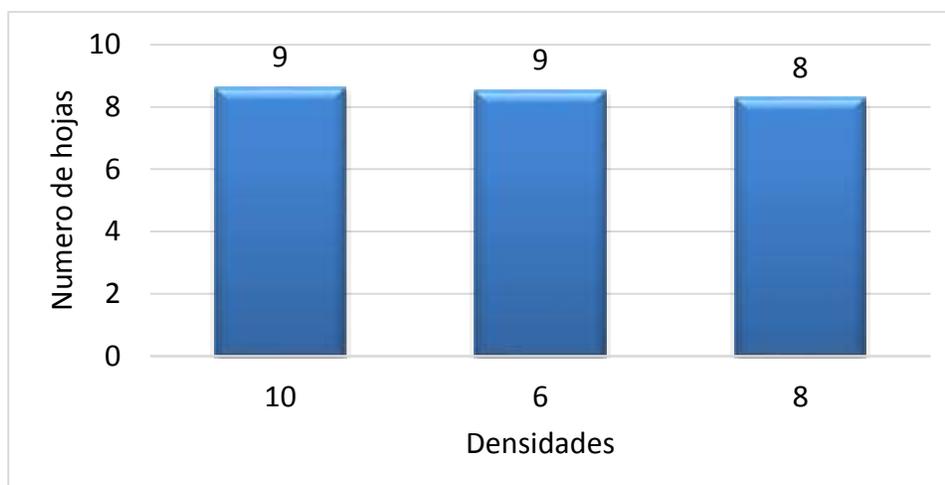
En la Figura 16, se observa que tanto la variedad Texas Yellow como White Creole alcanzaron un promedio de 9 hojas por planta, sin diferencias aparentes entre ellas. Este resultado indica que, bajo las condiciones del experimento, el número de hojas fue uniforme entre las variedades, lo que sugiere que esta variable no estuvo influenciada por las variedades evaluadas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Promedios de la variable número de hojas con diferentes variedades

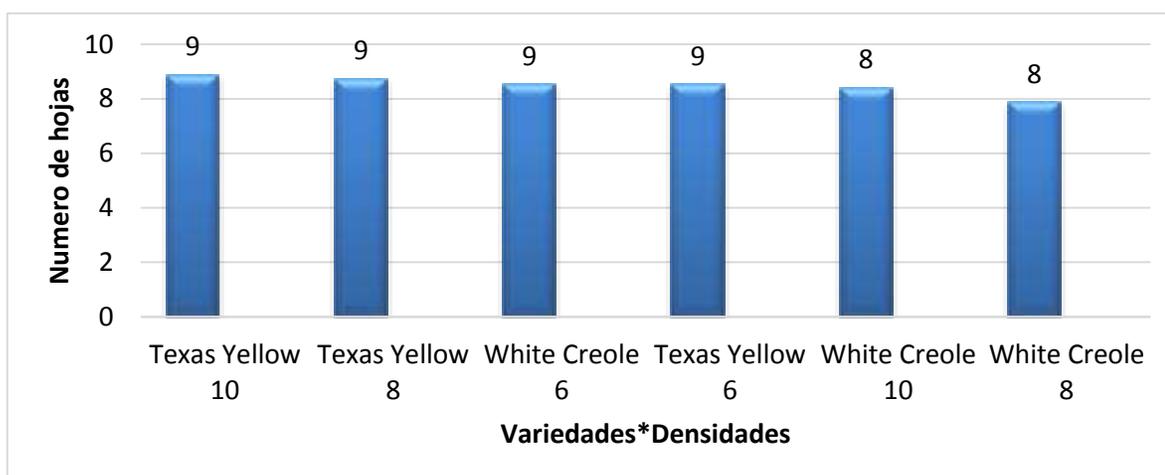
El promedio de la variable número de hojas por planta con diferentes densidades de trasplante, en la figura 17, se observa que las densidades de trasplante de 6 cm y 10 cm generaron un promedio de 9 hojas por planta, mientras que la densidad de trasplante de 8 cm presentó un promedio ligeramente menor, con 8 hojas,



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Promedios de la variable de número de hojas con diferentes densidades de trasplante

Se observa en la figura 18, la variedad Texas Yellow mantuvo un número constante de hojas por planta (9 hojas) en todas las densidades de trasplante evaluadas (6, 8 y 10 cm), mientras que la variedad White Creole presentó un promedio ligeramente menor (8 hojas) en las densidades disponibles. Esta tendencia sugiere que Texas Yellow tiene un desarrollo foliar más estable y posiblemente mayor capacidad de adaptación frente a diferentes densidades de trasplante, mientras que White Creole muestra una respuesta más limitada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Promedios de la variable número de hojas en la interacción variedades por densidades

En el presente estudio, el número de hojas por planta no presentó diferencias significativas entre variedades ni entre densidades de trasplante, lo que indica que esta variable se mantuvo relativamente estable bajo las condiciones evaluadas. Aunque la variedad Texas Yellow mostró un promedio ligeramente superior de número de hojas en comparación con White Creole, estas diferencias no fueron suficientes para considerarlas determinantes en el desarrollo del cultivo.

Asimismo Somarriba (1998). Destaca que especies bien adaptadas tienden a mantener un número constante de hojas, lo que podría explicar la estabilidad observada en Texas Yellow.

Hernandez *et al.* (2015), encontró que la densidad de trasplante entre plantas influye en el crecimiento, pero no necesariamente en el número de hojas cuando se mantiene un manejo agronómico uniforme. Por tanto, el número de hojas por planta, si bien aporta información sobre el desarrollo vegetativo.

4.11. Diámetro del bulbo (mm)

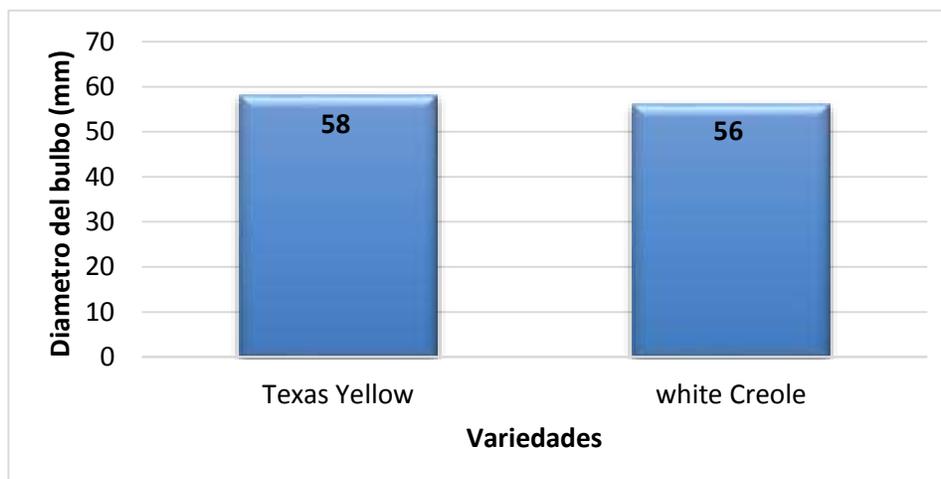
De acuerdo al análisis de varianza presentado en el cuadro 10, no se encontraron diferencias significativas en el diámetro del bulbo entre variedades, densidades de trasplante ni en su interacción ($p > 0.05$). Aunque se observaron una ligera variación numérica. El coeficiente de variación fue de 5.26 % que indica una buena precisión experimental, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados.

Cuadro 10. Análisis de varianza de diámetro del bulbo

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F	Sig
Bloques	201.97	2	100.99	5.51	0.1536	ns
Variedades	18	1	18	0.98	0.426	ns
Error Variedad	36.64	2	18.32			
Densidad	37.61	2	18.81	2.09	0.1862	ns
Var*Den	35.29	2	17.65	1.96	0.2028	ns
Error Densidad	72	8	9			
Total	401.52	17				
CV: 5.26 %						

(ns) = No significativo

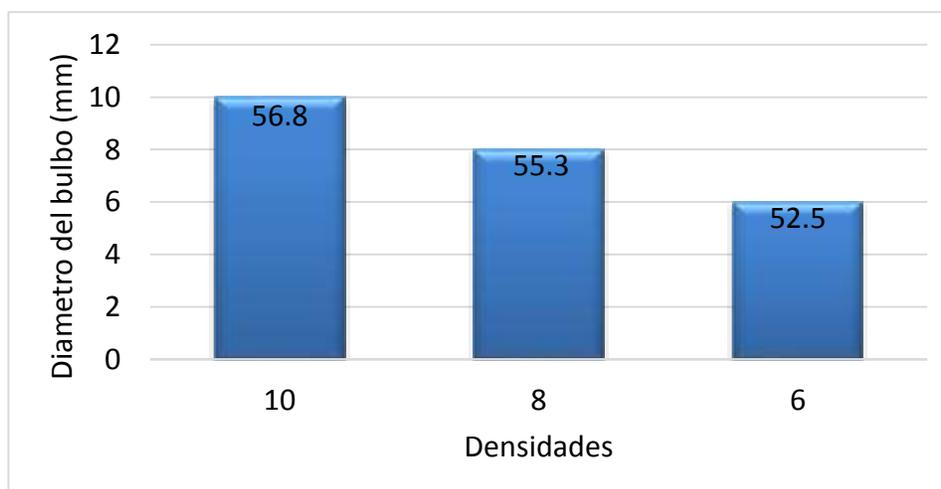
En la figura 19. Se observa que la variedad Texas Yellow alcanzó un diámetro promedio de 58 mm, mientras que White Creole presentó un valor ligeramente menor, con 56 mm. Aunque esta diferencia visual sugiere que Texas Yellow podría formar bulbos más grandes,



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Promedios de la variable diámetro del bulbo

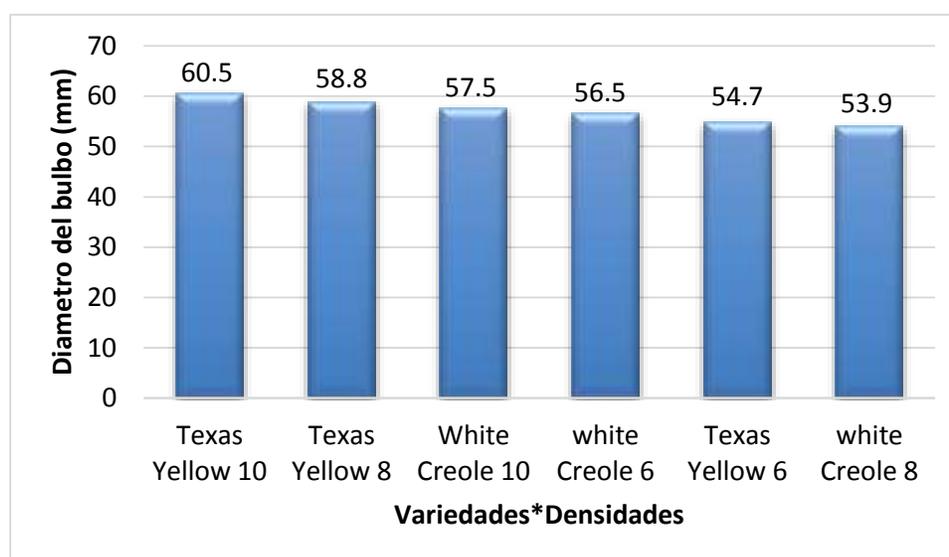
En la Figura 20, se puede ver que el diámetro del bulbo varió según la densidad de trasplante. Cuando las cebollas se trasplantaron con 10 cm de separación, los bulbos fueron más grandes, alcanzando un promedio de 56.8 mm. Y con 8 cm, el diámetro bajó ligeramente a 55.3 mm, y con 6 cm, fue el más pequeño: 52.5 mm.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Promedio de diámetro del bulbo con diferentes densidades

La figura 21. Indica el mayor diámetro de bulbo se obtuvo con la variedad Texas Yellow a una densidad de trasplante de 10 cm entre plantas con 60.5 mm, seguida por Texas Yellow a 8 cm con un diámetro del bulbo de 58.8 mm. En contraste, la variedad White Creole presentó los menores diámetros, especialmente a 8 cm 53.9 mm. Aunque se observan diferencias visuales entre tratamientos, la interacción variedad por densidad no fue estadísticamente significativa, lo que indica que el efecto combinado de estos factores no influyó de manera consistente en el tamaño del bulbo. Sin embargo, se evidencia una tendencia donde menor competencia entre plantas favorece el desarrollo del bulbo, especialmente en la variedad Texas Yellow.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Promedio de diámetro del bulbo de la interacción entre variedades por densidades de trasplante

Por lo tanto, aunque estadísticamente no se detectó una interacción significativa, los promedios sugieren que la variedad Texas Yellow tiene mayor capacidad de formar bulbos de mayor calibre, especialmente cuando se reduce la competencia entre plantas. Esta información es útil para orientar a la población para su producción, considerando tanto el comportamiento agronómico como la densidad de trasplante óptimo para maximizar el tamaño del bulbo.

Según (Lopez *et al.* (2020)), reporta que la variedad Texas Early Grano E 502 genéticamente cercana a Texas Yellow mostró un comportamiento destacado en campo,

con un desarrollo vegetativo vigoroso y un rendimiento superior en comparación con otras variedades. Este tipo de respuesta agronómica sugiere que ciertas variedades tienen una mayor capacidad para aprovechar los recursos disponibles, como el espacio, la luz y los nutrientes, lo que se hace que los bulbos sean más grandes y mejor formados.

Por otro lado Rodríguez (2016), señala que el diámetro del bulbo está estrechamente vinculado a la densidad de plantación. Cuando las plantas tienen más espacio entre sí es decir, menor densidad la competencia por recursos disminuye, permitiendo que cada planta se desarrolle con mayor libertad. Esto favorece el crecimiento individual y, en muchos casos, se obtiene en los bulbos un mayor tamaño.

4.12. Diámetro del falso tallo (mm)

El análisis de varianza realizado en el Cuadro 11, se observa que la variable diámetro del falso tallo presentó diferencias significativas únicamente entre variedades, lo que indica que el tipo de cebolla influye directamente en esta característica. En cambio, ni la densidad de trasplante ni la interacción variedad por densidad mostraron efectos significativos ($p > 0.05$), Así mismo se puede señalar que el valor de coeficiente de variación es de 14.95 %, por lo cual los datos son confiables siendo inferior al 30 %.

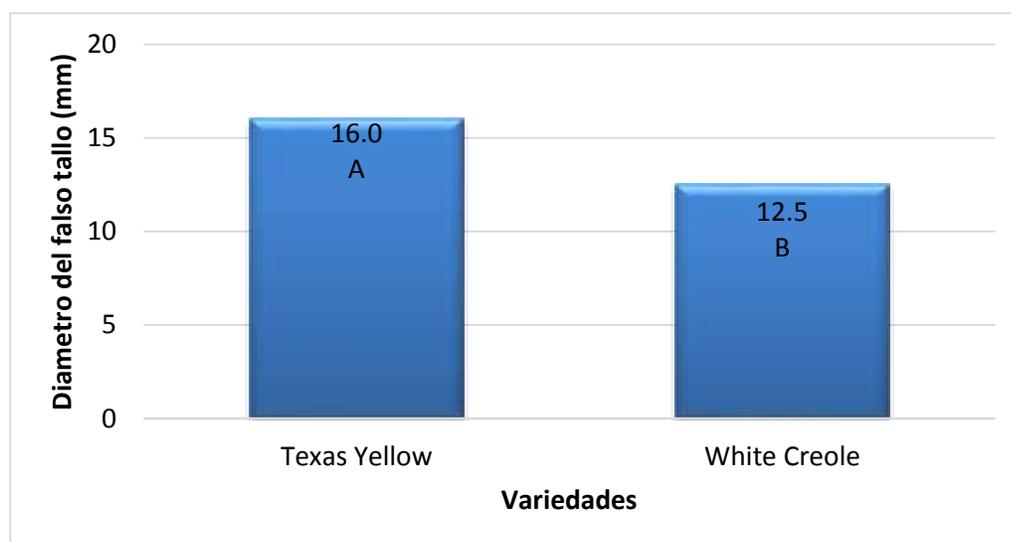
Cuadro 11. Análisis de varianza del diámetro del falso tallo

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F	Sig
Bloques	26.06	2	13.03	13.8	0.0676	ns
Variedades	55.97	1	55.97	59.26	0.0165	*
Error Variedad	1.89	2	0.94			
Densidad	11.91	2	5.96	1.31	0.3228	ns
Var*Den	12	2	6	1.32	0.3204	ns
Error Densidad	36.46	8	4.56			
Total	144.3	17				
CV: 14.95						

* $p < 0.05$; NS: $p > 0.05$

En la figura 22, se muestra que el diámetro del falso tallo mostró diferencias claras entre las variedades, una desarrolló tallos más gruesos que la otra, según la prueba de Duncan. Esto nos dice que el tipo de cebolla influye directamente en cómo crece la planta, más allá de otros factores como la densidad de siembra. En términos simples, algunas variedades

tienen una estructura más robusta por naturaleza, lo que puede ser clave al momento de elegir qué cultivar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Prueba de comparación de medias de Duncan de la variable diámetro del falso tallo en las diferentes variedades del cultivo de cebolla

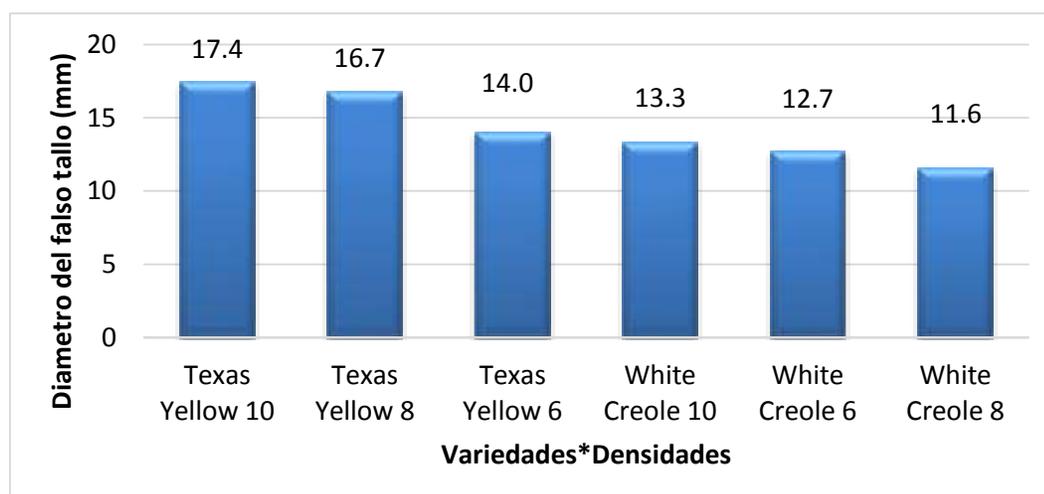
En la Figura 23, se observa que el diámetro del falso tallo disminuye conforme se reduce la densidad de trasplante. A 10 cm de densidad, el promedio fue de 15.33 mm, mientras que a 8 cm bajó a 14.15 mm, y a 6 cm se redujo aún más a 13.35 mm. Esta tendencia sugiere que, al tener más densidad, las plantas pueden desarrollarse con mayor vigor, formando tallos más gruesos. En cambio, a menor distancia, la competencia por recursos como luz y nutrientes limita su crecimiento estructural. Este comportamiento es típico en cultivos donde el espaciamiento influye directamente en el desarrollo individual de cada planta.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Promedio del diámetro del falso tallo con diferentes densidades de trasplante en el cultivo de cebolla

En la Figura 24, se aprecia que la variedad Texas Yellow presentó los mayores diámetros del falso tallo en todas las densidades evaluadas, destacando especialmente a 10 cm de trasplante con 17.4 mm y a 8 cm con 16.7 mm. En cambio, White Creole mostró valores más bajos en todas las densidades de trasplante, con promedios entre 11.6 mm y 13.3 mm. Esta diferencia indica que Texas Yellow tiene un desarrollo estructural más robusto, independientemente de la densidad, mientras que White Creole mantiene un falso tallo más delgado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Promedios de la variable diámetro del falso tallo en la interacción entre variedades por densidades en el cultivo de cebolla

Al realizar nuestro estudio, observamos que la variedad Texas Yellow presentó un mayor diámetro del falso tallo en comparación con White Creole, independientemente de la densidad evaluada. Este comportamiento sugiere una mayor capacidad de desarrollo vegetativo en Texas Yellow, posiblemente asociado a su genética y mejor adaptación al sistema de fertirriego.

El diámetro del falso tallo es un indicador clave del vigor de la planta y está influenciado tanto por la variedad como por el manejo agronómico, incluyendo la densidad de siembra. Asimismo, Rodríguez (2016), señalan que variedades con mayor densidad de plantación tienden a tener un mayor diámetro del tallo y tienden a tener mejor desempeño en condiciones de alta competencia, lo que coincide con los resultados obtenidos para Texas Yellow a 10 cm de densidad de trasplante..

Por otro lado, la respuesta menos favorable de White Creole podría estar relacionada con una menor plasticidad fenotípica frente a cambios en la densidad, como lo plantea Gonzales (2020), quienes destacan que la interacción variedad por densidad puede afectar significativamente los atributos morfológicos de cultivos hortícolas. En este contexto, la elección varietal se convierte en un factor determinante para optimizar el rendimiento y la calidad del cultivo bajo condiciones de fertirriego.

4.13. Peso total de la cebolla (g)

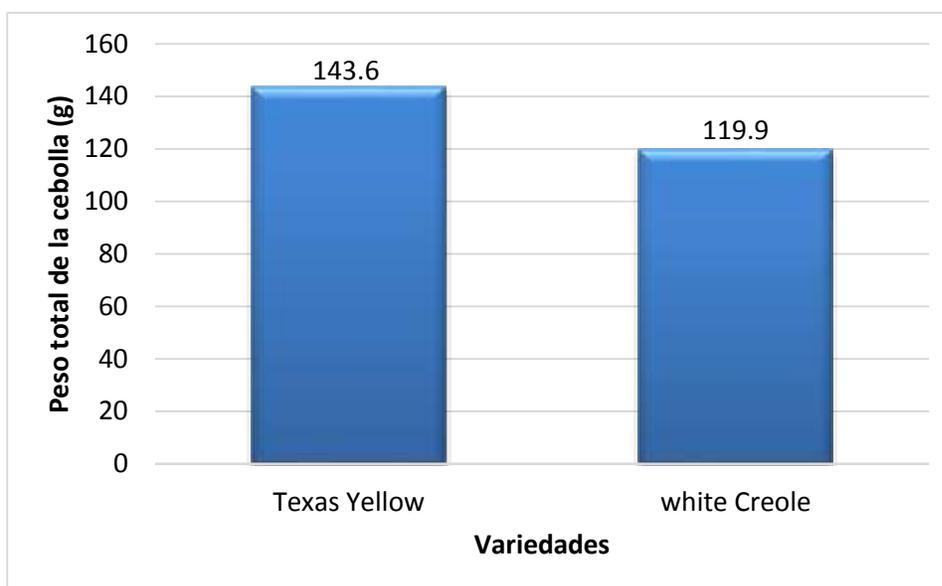
De acuerdo al ANVA para el peso de la cebolla. Como se muestra en el Cuadro 12, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre variedades, densidades de trasplante ni en la interacción. El coeficiente de variación es de 21.73 % que indica que los datos son confiables ya que es inferior al 30 %.

Cuadro 12. Análisis de varianza para peso total de la cebolla

FV	SC	GL	CM	F	Pr>f	Sig
Bloques	8257.53	2	4128.76	9.12	0.0989	ns
Variedades	8224.46	1	8224.46	18.16	0.0509	ns
Error Variedad	905.86	2	452.93			
Densidades	2883.87	2	1441.94	2.04	0.192	ns
Var*Den	1534.01	2	767	1.09	0.3824	ns
Error Densidad	5647.36	8	705.92			
Total	27453.09	17				
CV= 21.73						

(ns) = No significativo

En la figura 25, de la variable peso total de la cebolla, se observa que la variedad Texas Yellow alcanzó un promedio de 143.6 g, mientras que White Creole registró un peso menor, 119.9 g.

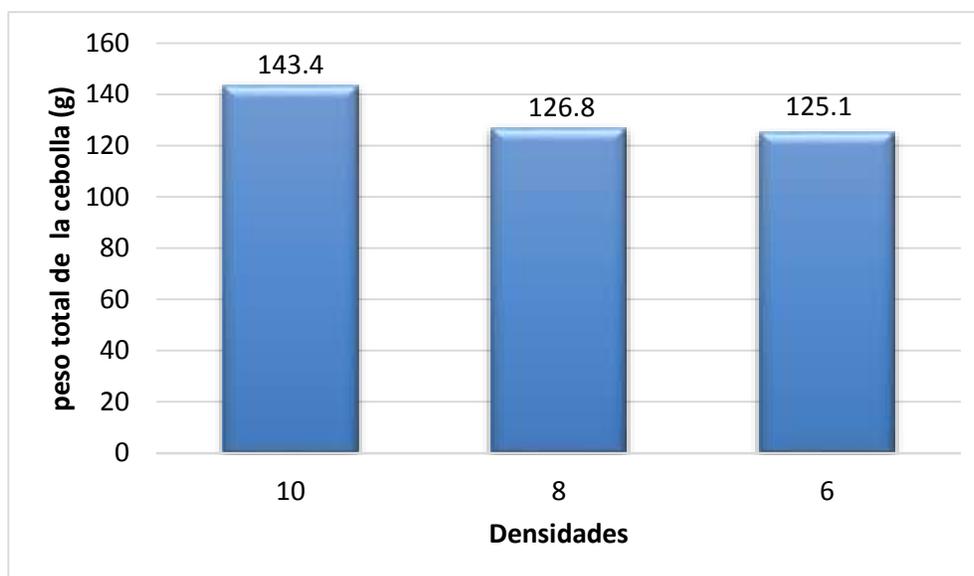


Fuente: Elaboración propia

Figura 25. promedio de variable peso total de la cebolla con diferentes variedades

En la figura 26, se observa que el peso total de la cebolla fue mayor en la densidad de 10 cm de trasplante, con un promedio de 143.4 g, mientras que la densidad de 8 y 6 cm

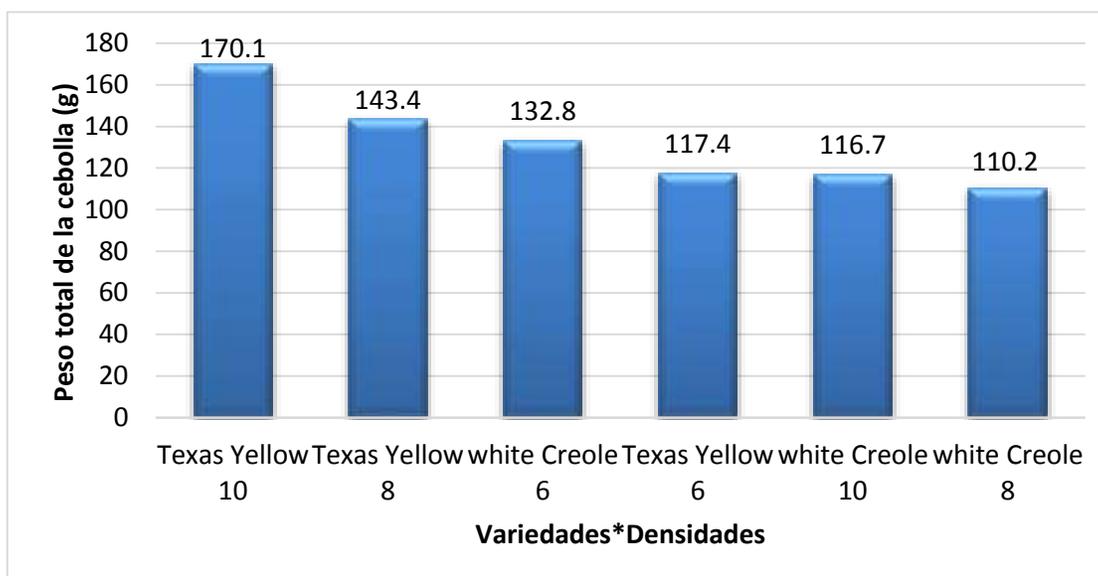
registraron valores más bajos, de 126.8 y 125.1 g, esto nos indica que a mayor densidad de trasplante las plantas se desarrollan mejor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Promedio de la variable peso total de la cebolla con diferentes densidades de trasplante

La Figura 27, muestra que la variedad *Texas Yellow*, especialmente cuando se trasplanto con 10 cm entre plantas, logró el mayor peso total del cultivo, alcanzando los 170.1 g. Esto sugiere que esta variedad responde muy bien cuando tiene mayor densidad para desarrollarse. En cambio, *White Creole* presentó pesos más bajos en todas las densidades evaluadas, lo que indica que su rendimiento es más limitado bajo estas condiciones. En resumen, sembrar *Texas Yellow* con mayor distancia entre plantas parece ser una estrategia favorable para obtener cebollas más pesadas y de mejor calidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Promedios de la variable peso total de cebolla con la interacción entre variedades por densidad de trasplante

(Lopez *et al.* (2017)), señalan que algunas variedades de cebolla, como Texas Yellow, presentan una notable eficiencia fisiológica en la translocación de fotoasimilados, lo que les permite formar bulbos más pesados, especialmente cuando se cultivan bajo condiciones de fertirriego. Esta capacidad no solo refleja un buen aprovechamiento de los recursos hídricos y nutricionales, sino también una adaptación genética que favorece el rendimiento comercial.

(GRA (2010)), destaca que el peso total de la planta está influenciado por factores como la duración del ciclo vegetativo, la arquitectura foliar y la respuesta de cada variedad al manejo agronómico. Estos elementos, al interactuar con el ambiente y las prácticas de cultivo, determinan el potencial productivo de cada genotipo. En las gráficas del presente estudio, se observa que variedad como Texas Yellow sobresalen en peso total, lo que sugiere que, más allá de los números, estas plantas logran expresar su máximo potencial cuando se les brinda un entorno adecuado. Esta interpretación invita a considerar no solo los datos estadísticos, sino también el contexto agronómico y biológico que permite que cada variedad “responda” de forma óptima, reafirmando la importancia de un manejo integral y adaptado a las necesidades del cultivo.

4.14. Rendimiento total (t/ha)

El análisis de varianza para rendimiento (Cuadro 13), nos permite apreciar que no se presentan diferencias significativas para ninguno de los factores evaluados. El CV fue de 18.62 %, sin embargo el porcentaje permitido para condiciones de campo abierto no debe superar el 30 %, por lo que podemos deducir que los resultados son confiables.

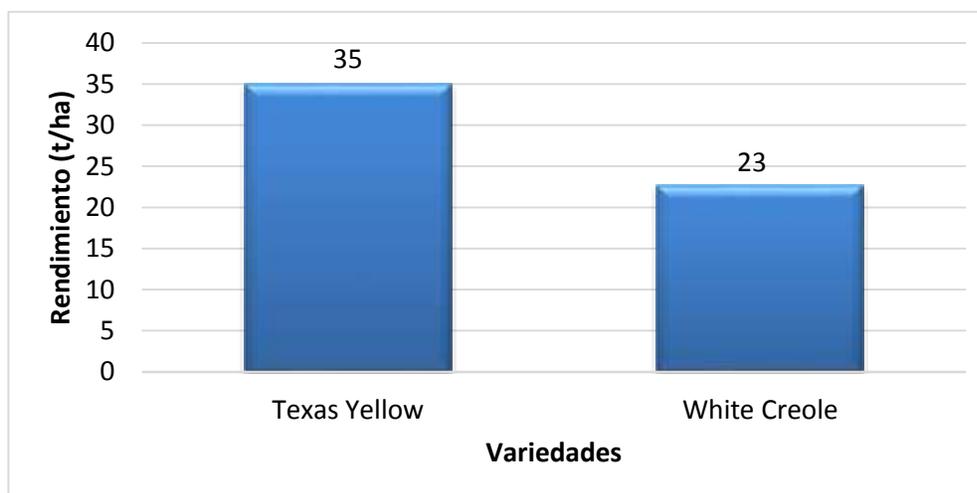
Cuadro 13. Análisis de varianza del rendimiento

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
Bloques	306.73	2	153.37	1.95	0.3384	ns
Variedades	677.73	1	677.73	8.64	0.098	ns
Error Variedad	156.92	2	78.46			
Densidades	3.59	2	1.8	0.06	0.9401	ns
Var*Den	35.72	2	17.86	0.62	0.5626	ns
Error Densidad	230.96	8	28.87			
Total	1411.66	17				

CV: 18.62

(ns) = No significativo.

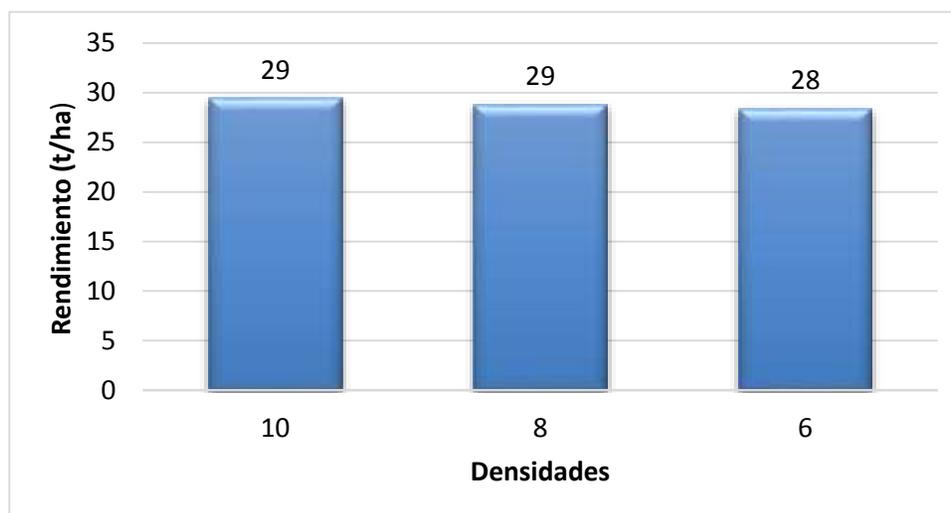
En la Figura 28 muestra una diferencia visual marcada en el rendimiento entre las dos variedades evaluadas. Texas Yellow alcanzó un rendimiento de 35 t/ha, superando significativamente a White Creole, que obtuvo 23 t/ha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Promedio de la variable rendimiento con diferentes variedades

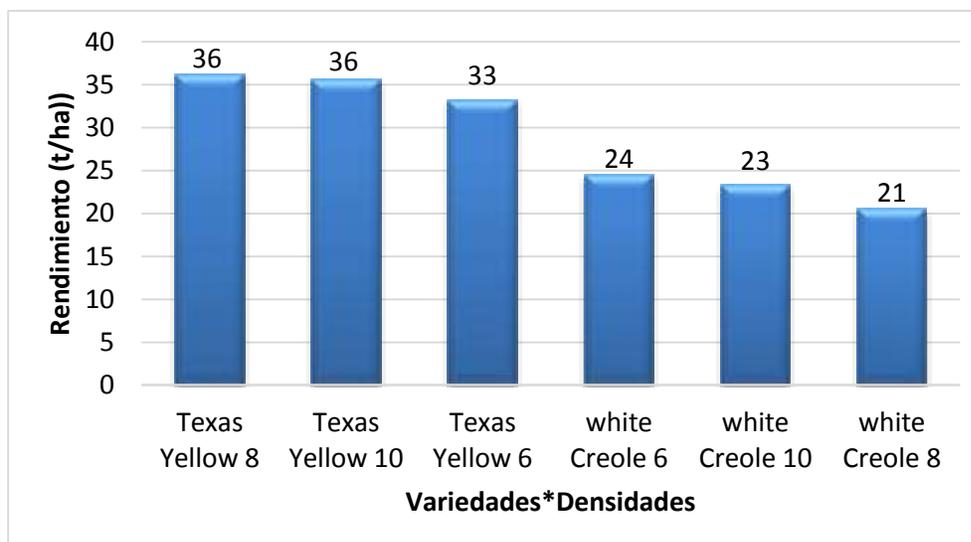
En la figura 29, se muestra que el rendimiento del cultivo fue similar entre las tres densidades de trasplante evaluadas. Las densidades de trasplante de 10 y 8 cm entre plantas alcanzaron los mayores valores (29 t/ha), mientras que la densidad de trasplante de (6 cm) presentó una ligera disminución con (28 t/ha).



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Promedio de la variable rendimiento (t/ha) con diferentes densidades de trasplante

La figura 30, muestra en la interacción entre variedades por densidades que la variedad Texas Yellow supera claramente a White Creole en rendimiento, independientemente de la densidad evaluada. Las densidades de 8 y 10 cm para Texas Yellow alcanzan los 36 t/ha, mientras que la de 6 cm logra 33 t/ha, lo que indica una alta estabilidad productiva. En contraste, White Creole presenta rendimientos más bajos y con mayor variabilidad: desde 24 t/ha a 6 cm hasta 21 t/ha a 8 cm. Esto sugiere que Texas Yellow responde mejor al manejo con fertirriego, mientras que White Creole muestra una menor eficiencia productiva bajo las mismas condiciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Promedio de la variable rendimiento en la interacción entre variedades por densidades de trasplante

Según las figuras obtenidas, la variedad Texas Yellow mostró consistentemente los mayores valores de rendimiento, alcanzando hasta 36 t/ha en densidades de 8 y 10 cm, mientras que White Creole presentó rendimientos inferiores, con un máximo de 24 t/ha, lo que evidencia una clara superioridad genética y agronómica de Texas Yellow bajo condiciones de fertirriego. Esta confirma que el rendimiento está fuertemente influenciado por el genotipo,

Lopez *et al.* (2020), menciona que el rendimiento en cebolla no depende únicamente de las condiciones externas, sino también de la capacidad fisiológica de cada variedad para absorber y aprovechar los nutrientes disponibles en el suelo, especialmente bajo sistemas de fertirriego. Esta eficiencia se traduce en una mayor acumulación de biomasa y, por ende, en una producción más elevada y destacan que la productividad agrícola es el resultado de una interacción dinámica entre el material genético y el manejo agronómico, donde factores como la densidad de siembra pueden modificar significativamente el comportamiento del cultivo. En este contexto, los resultados obtenidos en las gráficas respaldan que la variedad Texas Yellow, al combinarse con densidades adecuadas (8 y 10 cm), logra expresar su máximo potencial productivo, superando ampliamente a White Creole. Esta respuesta agronómica sugiere que Texas Yellow no solo es más eficiente en términos fisiológicos, sino también más adaptable a prácticas tecnificadas, lo que la

convierte en una opción estratégica para productores que buscan optimizar el rendimiento sin comprometer la calidad ni la sostenibilidad del sistema.

4.15. Análisis económico

El análisis económico presentado en el Cuadro 14, muestra que todos los tratamientos evaluados tienen una relación beneficio/costo (B/C) mayor a 1, lo cual indica que la inversión realizada en cada uno de ellos se recupera y genera ganancias. Esto confirma la viabilidad económica del cultivo de cebolla bajo fertirriego. Sin embargo, la variedad Texas Yellow a una densidad de trasplante de 10 cm se destaca como la más rentable, alcanzando un B/C Neto de 1.38; es decir, por cada boliviano invertido se recupera el capital y se obtiene una ganancia adicional de Bs 1.38. Este resultado refleja no solo una alta eficiencia económica, sino también una adecuada respuesta agronómica de la variedad ante condiciones de mayor competencia entre plantas. En segundo lugar, la variedad White Creole a 10 cm obtuvo un B/C Neto de 0.50, lo que representa una ganancia de 50 centavos por boliviano invertido, aunque con menor rendimiento y adaptabilidad. Estos resultados evidencian que la elección varietal y el manejo de la densidad de trasplante son factores clave para optimizar la rentabilidad del cultivo, siendo Texas Yellow a 10 cm una alternativa estratégica para productores que buscan eficiencia y sostenibilidad en sistemas tecnificados.

Cuadro 14. Costos, rendimiento, beneficio y relación Beneficio/costo de la producción de cebolla

VAR	DEN	COSTOS (Bs)	REND (Kg)	PRECIO (Bs/kg)	B. BRUTO	B. NETO (BS)	B/C BRUTO	RELACIÓN B/C NETO
Texas Y.	6	84.11	29.36	5	149.30	65.19	1.78	0.78
Texas Y.	8	73.31	32.55	5	162.75	89.44	2.22	1.22
Texas Y.	10	67.31	32.03	5	160.15	92.84	2.38	1.37
White C.	6	88.06	21.86	5	109.29	21.23	1.24	0.24
White C.	8	76.31	18.44	5	92.20	15.89	1.21	0.21
White C.	10	69.71	20.92	5	104.6	34.89	1.50	0.50

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

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

- La variedad Texas Yellow demostró mayor adaptabilidad y rendimiento bajo condiciones de fertirriego en el Centro Experimental de Kallutaca, superando significativamente a la variedad White Creole en producción con todas densidades evaluadas.
- La densidad de trasplante de 10 cm fue la más eficiente agrónomicamente, ya que permitió maximizar el rendimiento sin comprometer la calidad del cultivo. Esta densidad favoreció la competencia equilibrada entre plantas, optimizando el uso de agua y nutrientes.
- El análisis económico reveló que todos los tratamientos fueron rentables, con valores de beneficio/costo (B/C) mayores a 1. Sin embargo, el tratamiento con Texas Yellow a 10 cm obtuvo el mayor beneficio neto y el B/C más alto (1.38), lo que indica que es la opción más rentable para el productor.
- White Creole presentó menor rendimiento y rentabilidad, especialmente en densidades más bajas, lo que sugiere que su uso debe ser evaluado con precaución en sistemas tecnificados, priorizando condiciones que favorezcan su desarrollo.
- La interacción entre variedad y densidad de trasplante influye directamente en la productividad y rentabilidad del cultivo, por lo que su adecuada selección es clave para el éxito agrónomico y económico en sistemas de cebolla bajo fertirriego.

6. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten realizar las siguientes recomendaciones.

- Se recomienda el uso de la variedad Texas Yellow a una densidad de trasplante de 10 cm, ya que demostró ser la opción más eficiente tanto en rendimiento como en rentabilidad económica. Esta combinación optimiza el uso de recursos y maximiza el beneficio neto para el productor.
- Para sistemas de producción bajo fertirriego, es fundamental ajustar la densidad de trasplante según la variedad utilizada, priorizando marcos más intensivos en aquellas que muestran buena respuesta agronómica, como Texas Yellow, y evaluando cuidadosamente el comportamiento de variedades menos adaptadas como White Creole.
- Es importante considerar el análisis económico como herramienta de decisión agronómica, ya que permite identificar no solo el rendimiento físico, sino también la viabilidad financiera de cada tratamiento, facilitando una planificación más estratégica y sostenible.
- Se recomienda continuar con investigaciones que integren aspectos fisiológicos, de calidad postcosecha y respuesta al manejo hídrico, para ampliar el conocimiento sobre el comportamiento y fortalecer las prácticas agronómicas en cultivos de cebolla bajo tecnologías de riego.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

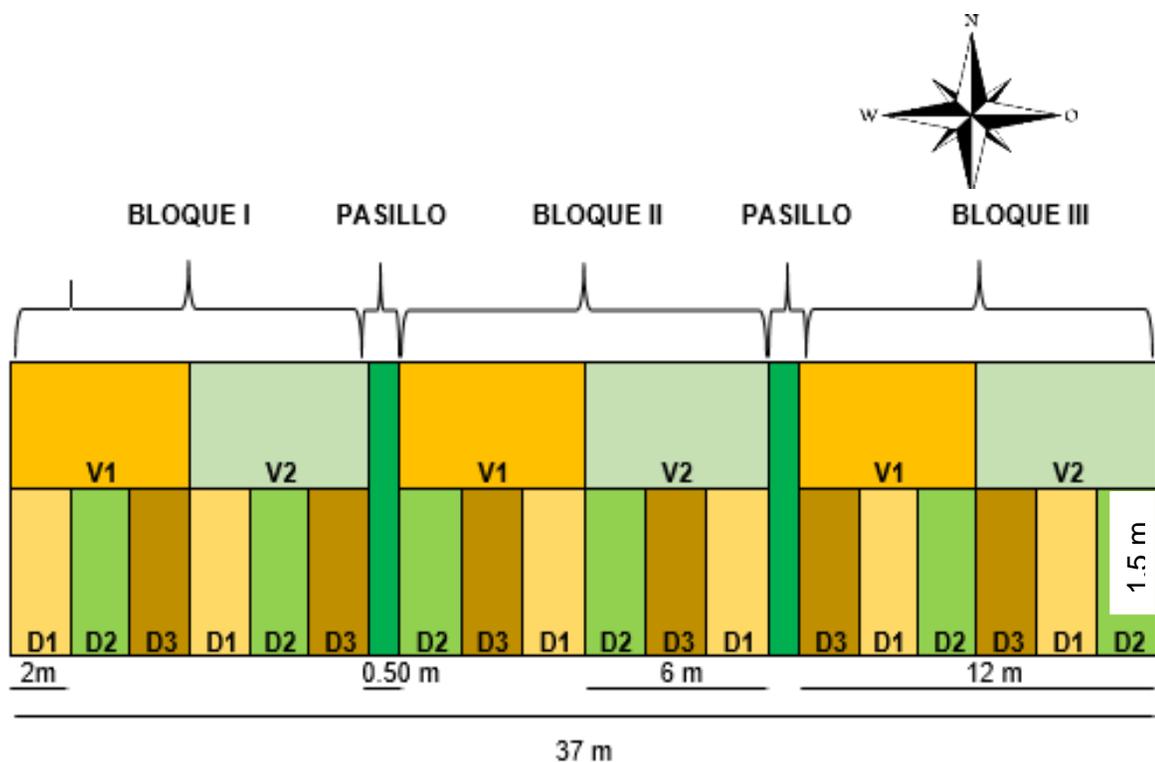
- Acapa, H.;Alvarado, C. y Valencia, C. 2012. Compendio agropecuario observatorio agroambiental y productivo. Cauthin Marielle ed. La Paz, Bolivia 82-87 p. Disponible en <https://www.ruralytierras.gob.bo/compendio2012/files/assets/downloads/publication.pdf>.
- Arevalo, J. 2006. Manual de cultivo de cebolla. Cochabamba, Bolivia (Fundación para Desarrollo Tecnológico Agropecuaria de los Valles "FDTA - Vales").
- Brewster, J. 2001. Las cebollas y otros allium. Zaragoza-España, 253 p.
- CENTA, (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2003. Guia tecnica del cultivo de la cebolla. Libertad, Salvador, 27 p. Disponible en <https://centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-cebolla/>.
- CNPSH, (Centro Nacional de producción de Semilla de Hortalizas). 2010. Hortalizas mujucan de valle de oro tropico. Cochabamba- Bolivia, CNPSH.
- Earth, G. 2024. Coordenadas geograficas de Estacion Experimental de Kallutaca. Consultado 15 de julio. Disponible en https://earth.google.com/web/search/upea+kallutaca/@-1HAlavfCb8zFFHA16.52478234,68.30651682,3900.43846768a,161.57203018d,35y,23.94279577h,0t,0r/data=CiwiJgokCXu8Mdx9hTDAEavNa3gkhzDAGSSThZxOEQgIIAToDCgEwSgOI_____ARAA.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Produccion artesanal de semillas de hortalizas para la huerta familiar. Roma, Italia, 100 p. Disponible en <https://www.fao.org/4/i2029s/i2029s.pdf>.
- FAOSTAT, (Organización de Alimentación y la Agricultura de los Estados Unidos). 2014. Producción de cultivos dirección de estadística, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/compare/Q/QC/S>.
- FDTA-Valles, (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario de los Valles). 2006. Manual del cultivo de cebolla Cochabamba, Bolivia.
- FDTA-Valles, (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario de los Valles). 2007. Manual del cultivo de cebolla. Cochabamba, 13-19 p.
- GRA, (Gerencia Regional de Agricultura). 2010. Manual del cultivo de cebolla. Perú. Disponible en <https://agrolibertad.gob.pe/wp-content/uploads/informacion-tecnica/fichas-tecnicas/agricola/MANUAL%20DE%20CEBOLLA%2016-032010.pdf>
- Guarachi, E. 2011. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en suka kollus. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Publica de El Alto. 115 p.

- Hernandez, B.;Tornero, M.;Sandoval, E. y Rodriguez, M. 2015. Crecimiento, Densidad de trasplante afecta crecimiento, no hojas en manejo uniforme. Puebla-Mexico,
- Huanca, S. 2010. Cultivo de cebolla bajo riego para zona altiplánica. Proyecto de Promoción al desarrollo Rural en el Altiplano Central Suma Uma-Jica. La Paz, Bolivia,
- INIAF, (Instituto Nacional de Investigación Agraria). 2012. Tecnologías innovativas apropiadas a la conservación insitucional de la agrobiodiversidad. Producción y usos del fertilizante.
- Jaramillo, S.;Jaramillo, V. y Jaramillo, A. 1997. Estudio fenologico de tres tipos de cebolla *Allium cepa* L. Disponible en https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48195/49425
- Lopez, G.;Gastelum, S.;Diaz, T.;Ayala, F.;Madueño, J. y Lopez, C. 2017. Incremento del tamaño y peso del bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.) por translocación de nutrientes
- Lopez, j. 2013. Efecto de tres niveles de biol en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) En la comunidad de Kenakahua Alta. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Publica de El Alto. 94 p.
- Lopez, Y.;Velázquez, D.;Santana, Y. y Ponce, F. 2020. Desarrollo vegetativo y rendimiento de cinco cultivares de cebolla en Sandino. 47 Disponible en https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000300059
- Luppo, J. 2015. Manejo del agua en sistemas de riego presurizado. Mendoza-Argentina.
- MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2012. Compendio Agropecuario y observatorio agroambiental y productivo,. La Paz-Bolivia, 528 p. Disponible en <https://www.ruralytierras.gob.bo/compendio2012/files/assets/downloads/publication.pdf>.
- Medina, J. 2008. guía técnica. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo.
- Ochoa, R. 2007. Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia, 297 p. Disponible en https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=qb2p4NQAAAAJ&citation_for_view=qb2p4NQAAAAJ:lJCSPb-OG4C.
- Perez, P. 2003. Diagnóstico y control químico de enfermedades fungosas en tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) en Kullus del altiplano Norte de La Paz. Tesis Ing. Agr. La Paz-Bolivia Universidad Mayor De San Andres. 27 p.
- PNS, (Plan Nacional de Semilla). 2006. Estrategia de abastecimiento de semillas. (MDRAMA-INIAF-PNS). Disponible en www.semillas.org.
- Rodas, J. 2025. Agroactivo Disponible en <https://agroactivocol.com/politica-manejo-datos-agroactivo/>

- Rodriguez, M. 2016. Efecto del diámetro del bulbo y la densidad de plantación en la producción de semilla de cebolla, por el método semilla-bulbo-semilla. Disponible en <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/127>.
- Salas, J. 2023. Evaluación de niveles crecientes de nutrientes en tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) bajo riego por goteo en el norte de La Paz. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. 95 p.
- Sanchez, J.;Perez, M. y Rodriguez, L. 2015. Efecto de la competencia por luz y nutrientes en el desarrollo de plantas en condiciones controladas. 45-52.
- SENAMHI. 2008. Departamento de suministro de informacion hidrometeorologico Kallutaca (UPEA). La Paz.
- Solórzano, O.;Rubio, K.;Rodriguez, I.;Barrezueta, S. y Garcia, M. 2020. Frecuencias de riego en sistema hidropónico en el desarrollo del cultivo.
- Somarriba, R. 1998. Managua-Nicaragua, Universidad Nacional Agraria.
- Umaña, G. y Asenjo, U. 2000. Evaluación de germoplasma de cebolla (*Allium cepa* L.) para la producción de bulbos en Tierra Blanca. Cartago- Costa Rica, Disponible en <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.010856>
- Vallejo, F. y Estrada, E. 2004. Produccion de hortalizas de clima cálido. Cali-Colombia, 333 p. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17559>.
- Vidal, I. 2019. Fertirrigación desde la teoria a la práctica. Chile, Universidad de Concepcion 249 p.
- Villalobos, F.;Fereres, E.;Mateos, L. y Orgaz, F. 2009. Fitotecnia: Bases y tecnologias de produccion agricola. Barcelona-España, Mundi-Prensa. 427 p.

8. ANEXOS

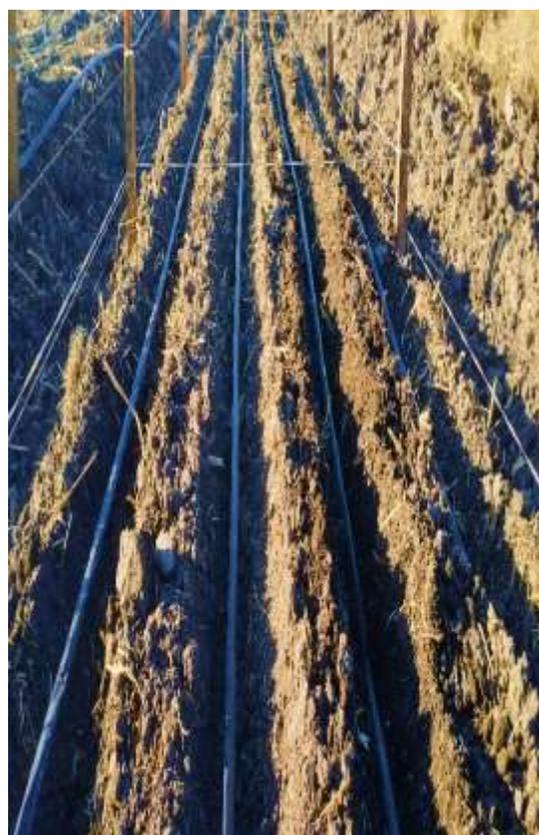
Anexo 1. Croquis del experimento usando el Diseño de Bloques al Azar con arreglo en parcelas divididas, donde tenemos 2 variedades (Texas Yellow y White Creole) con 3 diferentes densidades de trasplante, realizado en la Estación Experimental de Kallutaca.



Superficie de la parcela experimental: 55.5 m^2

Superficie de la parcela mayor: 9 m

Superficie de la parcela menor: 3 m

Anexo 2. Preparación del terreno de manera manual**Anexo 3. Trazado de la unidad experimental**

Anexo 4. Variedades que se empleó para la investigación



Anexo 5. Trasplante



Anexo 6. Instalación del riego**Anexo 7. Riego**

Anexo 8. Sales minerales utilizados en la fertirrigacion



Anexo 9. Solución concentrada



Anexo 10. Análisis físico – químico de suelo



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
"La Casa del Agricultor"



N° PURUMA 441 -2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELO

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	Roxana Quispe Patty	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	Suelo	Fecha de recepción de muestra	26/10/2022
Responsable de muestreo	Roxana Quispe	Fecha de emisión de informe	09/11/2022
Ubicación de la muestra	Departamento: La Paz Provincia: Los Andes Municipio: Laja Comunidad: Kallutaca	Código de la muestra	Suelo
		Código Laboratorio	LMS-298

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO	
TEXTURA	Arena	%	11,36	Bouyoucos
	Limo	%	47,44	
	Arcilla	%	41,20	
	Clase textural	-	Arcillosa Limosa	
pH en H ₂ O relación 1:2,5	-	6,92	Potenciometría	
Conductividad eléctrica (1:5)	dS/m	0,26	Potenciometría	
Materia Orgánica	%	4,82	Walkley y Black-Espectrofotometría	
Nitrógeno total	%	0,35	Kjeldahl	
Fosforo disponible	ppm	15,00	Bray y Kurtz; Olsen	
Potasio intercambiable	meq/100g	0,75	Acetato de amonio 1N pH 7 (Espectrofotómetro de emisión atómica)	

Ing. Miguel Angel Lopez Mamani
Responsable técnico
PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, La Paz-Bolivia Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Página web: Puruma.org Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451 +591 77732819

Anexo 11. Análisis físico-químico de agua

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 71/21

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN AGUA A 71/21

Cliente:	UPEA - AGRONOMÍA
Solicitante:	Ing. Victor Paye Huaranca
Dirección del cliente:	Nardin Rivas, Nro. 850
Procedencia de la muestra:	Comunidad de Kallutaca
	Provincia: Los Andes
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Pozo -1, Horti
Responsable del muestreo:	Ing. Victor Paye Huaranca
Fecha de muestreo:	13 de agosto de 2021
Hora de muestreo:	11:30
Fecha de recepción de la muestra:	16 de agosto de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 16 al 30 de agosto, 2021
Caracterización de la muestra:	Agua de Pozo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella Pet
Código LCA:	71 - 1
Código original :	P-1 Agua de Pozo

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	P-1 Agua de Pozo 71 - 1
Alcalinidad total	EPA 310.1	mg CaCO ₃ /l	5.0	43
Acidez	EPA 305.1	mg CaCO ₃ /l	2.0	< 2.0
Bicarbonatos	EPA 310.1	mg/l	6.0	43
Boro	AZOMETINA -H	mg/l	0.040	0.043
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0.32	11
Carbonatos	EPA 310.1	mg/l	3.0	< 3.0
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0.020	2.3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1.0	162
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO ₃ /l	1.0	50
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ³⁻ mg/l	0.010	< 0.010
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0.18	5.5
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0.30	0.77
pH	EPA 150.1		1 - 14	6.7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0.21	2.8
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0.019	12
Sulfatos	SM 4500-SO ₄ =E	mg/l	1.0	29
Cobre	EPA 220.2	mg/l	0.050	< 0.0050
Hierro	EPA 236.2	mg/l	0.050	0.27
Manganeso	EPA 243.2	mg/l	0.020	< 0.020
Níquel	EPA 249.1	mg/l	0.040	< 0.040
Cinc	EPA 289.2	mg/l	0.038	< 0.038

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 30 de Agosto de 2021

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

JCM/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Anexo 12. Temperatura máxima, mínima y media registrada durante el estudio 2022-2023

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
T.Maxima	18.6	16.4	13.5	14.4	16.2	18.8
T.Minima	0.9	2.9	-3.0	0.2	2.4	3.5
T. Media	9.7	9.6	5.3	7.3	9.3	11.2

Anexo 13. Precipitación registrada durante 2022-2023

Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
16.9	51.3	132.7	141.1	98.2	10.9

Anexo 14. Costo total

CONCEPTO	UD	CANTIDAD	COST/UNIT Bs.	
1 INSUMOS				71.50
3. fertilon combi 2		1	45.00	45.00
4. Nitrato de calcio	kg	0.18662	16.00	2.99
6. Acido fosforico	ml	0.05	50.00	2.50
7. Nitrato de potasio	kg	0.101	20.00	2.02
8. Sulfato de magnesio	kg	0.9105	13.00	11.84
9. Cloruro de potasio	kg	0.3579	20.00	7.16
2 PREPARACIÓN DE SUELOS				80.00
1. Removido del suelo manual	Hr.	4	10.00	40.00
3. Desterronado (manual)	Hr.	2	10.00	20.00
5. Nivelado (manual)	Hr.	2	10.00	20.00
3 RIEGO APERTURA DE CABEZALES				110.00
1. Apertura de surcos	Hr.	3	10.00	30.00
2. Instalacion de para riego	Hr.	1	10.00	10.00
3. Tendido de cintas de goteo	Hr.	1	10.00	10.00
4. Mantenimiento del sistema de riego	Hr.	1	10.00	10.00
5. Aplicación riego por goteo 3 dias/ 30 min	Hr.	5	10.00	50.00
5 LABORES CULTURALES				23.33
1. Deshierbe	Hr.	2	10.00	3.33
2. Aporque	Hr.	2	10.00	20.00
7 POST COSECHA				11.00
1. Acomodo de cebolla en (yutes)	Hr.	1	10.00	10.00
2. Entrega y envió	Hr.	0.1	10.00	1.00
8 COMERCIALIZACION AL MERCADO				6.00
1. Transporte (kallutaca - mercado)	global	1	5.00	5.00
2. Acomodo punto de venta	Hr.	0.1	10.00	1.00
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (C.D.+C.I.)				301.83

Anexo 15. Costos para cada por tratamiento

1. planta de cebolla	unidad	396	0.1	39.6
2. Siembra (Trasplante)	Hr.	0.83	10	8.3
3. Recolección del cultivo	Hr.	0.16	10	1.6

T1 TEXAS YELLOW					T4 WHITE CREOLE				
PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad		PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad	TOTAL
	unidad	0.05	396	19.8		unidad	0.06	396	23.76
T2 TEXAS YELLOW					T5 WHITE CREOLE				
PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad		PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad	
	unidad	0.05	300	15		unidad	0.06	300	18
T3 TEXAS YELLOW					T6 WHITE CREOLE				
PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad		PLANTAS	Unidad	Precio unitario	Cantidad	TOTAL
	Unidad	0.05	240	12		Unidad	0.06	240	14.4
T1 TEXAS YELLOW D: 0.06					T4 TEXAS YELLOW D: 0.06				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL
PLANTULAS	UNIDAD	396	0.05	19.8	PLANTULAS	UNIDAD	396	0.06	23.76
TRASPLANTE	Hr	1	10	10	TRASPLANTE	Hr	1	10	10
COSECHA	Hr	0.4	10	4	COSECHA	Hr	0.4	10	4
TOTAL				33.8	TOTAL				37.76
T2 TEXAS YELLOW D: 0.08					T5 TEXAS YELLOW D: 0.08				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL
PLANTULAS	UNIDAD	300	0.05	15	PLANTULAS	UNIDAD	300	0.06	18
TRASPLANTE	Hr	0.5	10	5	TRASPLANTE	Hr	0.5	10	5
COSECHA	Hr	0.3	10	3	COSECHA	Hr	0.3	10	3
TOTAL				23	TOTAL				26
T3 TEXAS YELLOW D: 0.10					T6 TEXAS YELLOW D: 0.10				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL
PLANTULAS	UNIDAD	240	0.05	12	PLANTULAS	UNIDAD	240	0.06	14.4
TRASPLANTE	Hr	0.3	10	3	TRASPLANTE	Hr	0.3	10	3
COSECHA	Hr	0.2	10	2	COSECHA	Hr	0.2	10	2
TOTAL				17	TOTAL				19.4

Precio total para cada tratamiento

PRECIO DE CADA TRATAMIENTO					
T1	T2	T3	T4	T5	T6
84.11	73.31	67.31	88.07	76.31	69.71

Anexo 16. Promedios de las variables de respuesta

ID	Bloque	Variedades	Densidad	AP	NH	DB	DFT	PTC	R
1	I	Texas yellow	6	43.2	8.6	52.4	15.4	128.78	44.43
2	I	Texas yellow	8	49.4	9.2	61.2	19.4	189.26	42.50
3	I	Texas yellow	10	47.8	8.6	63.6	17.8	167.8	34.57
4	I	white creole	6	45.2	7.2	58.2	12.4	121.66	29.27
5	I	white creole	8	43.8	8.6	57.6	15.6	134.1	21.90
6	I	white creole	10	44.6	8.6	64.2	15.2	158.02	28.37
7	II	Texas yellow	8	39.6	7.8	52.8	13.58	115.84	30.70
8	II	Texas yellow	10	54.6	9.4	57.2	18	207.76	41.27
9	II	Texas yellow	6	40.2	8.8	55.6	13.8	120.98	26.20
10	II	white creole	8	37	7	48.2	11.18	78.78	16.43
11	II	white creole	10	33.8	7.6	48.2	11	73.96	13.73
12	II	white creole	6	43.8	9.6	51.6	14.18	116.8	12.53
13	III	Texas yellow	10	44	8.6	60.6	16.4	134.62	30.97
14	III	Texas yellow	6	35.4	8.2	56.2	12.8	102.4	28.97
15	III	Texas yellow	8	45.4	9.2	62.4	17.2	125.12	35.37
16	III	white creole	10	44.6	9	60.2	13.6	118.02	27.70
17	III	white creole	6	39.6	8.8	59.8	11.54	160	31.43
18	III	white creole	8	42.8	8	56	7.94	117.56	23.17