

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



TESIS DE GRADO

**EFFECTO DE TRES CONCENTRACIONES DE *Rhizobium* sp. EN
DOS VARIEDADES DE PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.) EN
ETAPA DE ALMÁCIGO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE
KALLUTACA**

Por:

Maya Carmen Quispe Condori

EL ALTO – BOLIVIA

Mayo, 2025

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

**EFFECTO DE TRES CONCENTRACIONES DE *Rhizobium* sp. EN DOS VARIEDADES
DE PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.) EN ETAPA DE ALMÁCIGO EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

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

Maya Carmen Quispe Condori

Asesores:

M. Sc. Lic. Raúl Ramiro Ochoa Torrez

Lic. Ing. Diego Orlando Lopez Portugal

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Walter Fernandez Molina

Lic. Ing. Isaac Elias Condori Tinta

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

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

A Dios padre todo poderoso por su divino amor y vida.

A mi familia, muy especialmente a mi mamá Carmen, a mis hermanos, Nathaly, Brandon y Darwin por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por cada palabra de aliento, por su paciencia y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hijita Megan, Tu existencia me impulsa a ser mejor cada día. Este logro es también tuyo, porque cada paso que doy lleva tu sonrisa en mi corazón.

Con todo mi amor, esta tesis es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por el privilegio de la vida y por haberme permitido culminar exitosamente este trabajo académico.

A la Universidad Pública del Alto, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi formación profesional y por proporcionar un entorno académico propicio para mi crecimiento.

A la Carrera de Ingeniería Agronómica, por permitirme realizar mi proyecto de pregrado en sus instalaciones, facilitando los recursos y espacios necesarios para la investigación.

Expreso mi sincero agradecimiento a mis asesores, M. Sc. Lic. Raúl Ramiro Ochoa Torrez y Lic. Ing. Diego Orlando López Portugal, por su constante apoyo, guía experta y valiosas sugerencias que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Extiendo mi gratitud al tribunal revisor, M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas y Lic. Ing. Isaac Elías Condori Tinta, por dedicar su tiempo a la revisión, así como por sus observaciones y recomendaciones, las cuales contribuyeron significativamente a la mejora de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis amigos por su presencia en cada etapa de este proceso, por su apoyo incondicional, palabras de aliento y compañía, las cuales hicieron que este camino fuera más llevadero y enriquecedor.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xi
ABREVIATURAS	xii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Generalidades del cultivo de pimentón en fase de almacigo	5
2.1.1. Taxonomía del pimentón	5
2.1.2. Descripción botánica del pimentón en etapa de almacigo	6
2.1.2.1. Sistema radicular en almacigueras	6
2.1.2.2. Tallo en almacigueras en almacigueras.....	6

2.1.2.3.	Hojas en almacigueras	7
2.1.3.	Variedades del cultivo de pimentón	7
2.1.3.1.	Variedad california Wonder.....	7
2.1.3.2.	Variedad Mercury	8
2.1.4.	Concepto de germinación.....	8
2.1.5.	Fases de la germinación.....	9
2.1.6.	Características del almacigo.....	10
2.1.6.1.	Sustrato para almacigo	10
2.1.6.2.	Temperatura en almaciguera.....	11
2.1.6.3.	Humedad en almaciguera.....	11
2.1.6.4.	Luminosidad en almaciguera	11
2.1.7.	Manejo del cultivo en etapa de almacigo	12
2.1.7.1.	Almaciguera.....	12
2.1.7.2.	Siembra	12
2.1.7.3.	Riego en almaciguera.....	12
2.1.7.4.	Trasplante.....	13
2.2.	Microorganismos	14
2.2.1.	Microorganismos promotores de crecimiento de las plantas (PGRP)	14
2.2.2.	Rhizobium	15
2.2.3.	Inoculante N2	17
3.	MATERIALES Y MÉTODO	19
3.1.	Localización.....	19
3.1.1.	Ubicación geográfica	19
3.1.2.	Características edafoclimáticas	20
3.1.3.	Clima	20
3.1.4.	Precipitación	20

3.1.5.	Suelo	20
3.1.6.	Flora	20
3.1.7.	Fauna	21
3.2.	Materiales.....	21
3.2.1.	Material de estudio	21
3.2.2.	Material de escritorio	21
3.2.3.	Material de campo	22
3.3.	Método	22
3.3.1.	Desarrollo del ensayo	23
3.3.1.1.	Preparación de almacigueras	23
3.3.1.2.	Preparación del sustrato	23
3.3.1.3.	Desinfección del sustrato.....	23
3.3.1.4.	Desinfección de las semillas.....	24
3.3.1.5.	Aplicación de <i>Rhizobium</i>	24
3.3.1.6.	Siembra	25
3.3.1.7.	Dosis de riego.....	25
3.3.1.8.	Desmalezado.....	26
3.3.1.9.	Frecuencia de riego	26
3.3.2.	Diseño experimental	26
3.3.3.	Factores de estudio	27
3.3.3.1.	Formulación de tratamientos	28
3.3.4.	Croquis experimental.....	28
3.3.5.	Variables de respuesta	29
3.3.5.1.	Porcentaje de germinación	29
3.3.5.2.	Altura de planta.....	29
3.3.5.3.	Longitud de la raíz	29

3.3.5.4.	Longitud del tallo.....	30
3.3.5.5.	Diámetro del tallo.....	30
3.3.5.6.	Peso fresco.....	30
3.3.5.7.	Peso seco de la plántula.....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1.	Características edafoclimáticas de las almacigueras	31
4.1.1.	Temperatura de la carpa	31
4.1.2.	Temperatura de las almacigueras	33
4.1.3.	PH de las almacigueras.....	34
4.1.4.	% Humedad de las almacigueras	34
4.2.	Porcentaje de germinación.....	35
4.3.	Altura de planta	37
4.4.	Longitud de raíz.....	39
4.5.	Longitud de tallo	41
4.6.	Diámetro de tallo	44
4.7.	Peso fresco	47
4.8.	Peso seco	49
5.	CONCLUSIONES	51
6.	RECOMENDACIONES	52
7.	BIBLIOGRAFÍA	53
8.	ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PIMIENTO GERMINADO	10
FIGURA 2. PIMIENTO EN ALMACIGUERA	10
FIGURA 3. ESTRUCTURA DEL <i>rhizobium</i> spp	13
FIGURA 4. IMAGEN SATELITAL DEL AREA DE INVESTIGACIÓN	19
FIGURA 5. CROQUIS EXPERIMENTAL	288
FIGURA 6. TEMPERATURAS DE LA CARPA.....	31
FIGURA 7. TEMPERATURAS DE LAS ALMACIGUERAS	33
FIGURA 8. PH DE LAS ALMACIGUERAS	34
FIGURA 9. % DE HUMEDAD DE LAS ALMACIGUERAS	355
FIGURA 10. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA LONGITUD DEL TALLO (INTERACCIÓN).....	433
FIGURA 11. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA DIÁMETRO DEL TALLO (INTERACCIÓN).....	466

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA % DE GERMINACIÓN.....	36
TABLA 2. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE PLANTA.	37
TABLA 3. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA ALTURA DE PLANTA (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	38
TABLA 4. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LONGITUD DE RAÍZ.....	39
TABLA 5. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA LONGITUD DE RAÍZ (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	40
TABLA 6. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LONGITUD DEL TALLO.....	41
TABLA 7. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA LONGITUD DEL TALLO (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	42
TABLA 8. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA LONGITUD DEL TALLO (VARIEDADES)	42
TABLA 9. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETRO DEL TALLO	44
TABLA 10. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA DIÁMETRO DEL TALLO (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	45
TABLA 11. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA DIÁMETRO DEL TALLO (VARIEDADES)	45
TABLA 12 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PESO FRESCO	47
TABLA 13. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA EL PESO FRESCO (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	47
TABLA 14. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PESO SECO	49
TABLA 15. COMPARACIÓN DE MEDIAS DUNCAN PARA PESO SECO (CONCENTRACIONES DE <i>RHIZOBIUM</i>)	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. SIEMBRA Y DISTRIBUCIÓN	57
ANEXO 2. CONTROL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PIMENTÓN	57
ANEXO 3. INCORPORACIÓN DEL INOCULANTE N2	58
ANEXO 4. DISTRIBUCIÓN DE LAS VARIEDADES DEL PIMENTÓN.....	58
ANEXO 5. CONTROL DE CARACTERÍSTICAS DE LA CARPA	59
ANEXO 6. CONTROL DE CARACTERÍSTICAS POST COSECHA	59
ANEXO 7. DATOS OBTENIDOS DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO.....	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Centro Experimental de Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto; donde se evaluó el efecto del *Rhizobium* en el almacigado de pimentón (*Capsicum annuum* L.), teniendo como variables de estudio: el porcentaje de emergencia, altura de planta, longitud de raíz, longitud del tallo, diámetro de tallo y peso fresco y peso seco. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar en un arreglo bifactorial cuyos factores de estudio fueron 3 concentraciones de *Rhizobium* (5 gr, 10 gr y 15 gr) y un testigo, el otro factor de estudio fueron las 2 variedades de pimentón (Wonder y Mercury) distribuidos en 8 tratamientos, donde cada tratamiento estaba conformado por los distintas concentraciones de *Rhizobium* combinados con las 2 variedades, el % de emergencia se evaluó de forma general indistintamente a las dosis, que ya mostró a los 15 días de la siembra porcentajes del 60% creciendo hasta llegar a más del 90 % después de los 30 días. En la evaluación de las otras variables se pudo determinar que en la variable altura de planta la concentración 2 de 10 gr de inoculante fue la mejor con una media de 12.91 cm, con relación a la variable longitud de raíz también se determinó que la concentración 2 fue la mejor con una media de 4.34 cm, con relación a la variable peso fresco y peso seco se observó lo mismo, que las mejores características las mostro la concentración 2, mostrando en las 5 variables solamente significancia en las concentraciones de *Rhizobium*, ya en la variable longitud del tallo se pudo observar que también tuvo el mejor resultado con la concentración 2 de inoculante de 10 gr con una media de 8.58 cm pero también se pudo observar que tuvo diferencias entre las dos variedades siendo la mejor la variedad Wonder con una media de 7.08 cm, en la variable diámetro del tallo también se observó que la mejor concentración fue la 2 con una media de 0.07 cm y entre las variedades la mejor fue la variedad Mercury con una media de 0.054 cm, mostrándonos en estas 2 ultimas variables significancia tanto en concentraciones de *Rhizobium* como en las 2 variedades de pimentón. Llegando a las conclusiones que el efecto del uso del inoculante a base de *Rhizobium* tiene un efecto positivo sobre el cultivo del pimentón en todas las características evaluadas, también se pudo determinar que la concentración 2 de 10 gr de inoculante es la más efectiva y por

último se determinó que no existe mucha relevancia en el tipo de variedades de pimentón con relación a las características evaluadas.

ABSTRACT

This research work was carried out at the Kallutaca Experimental Center of the Public University of El Alto; where the effect of *Rhizobium* on paprika (*Capsicum annuum* L.) storage was evaluated, having as study variables: the percentage of emergence, plant height, root length, stem length, stem diameter and fresh weight and dry weight. The treatments were distributed in a completely random design in a bifactorial arrangement whose study factors were 3 concentrations of *Rhizobium* (5 g, 10 g and 15 g) and a control, the other study factor were the 2 varieties of paprika (Wonder and Mercury) distributed in 8 treatments, where each treatment was made up of the different concentrations of *Rhizobium* combined with the 2 varieties, the % of emergence was evaluated in a general way regardless of the doses, which already showed percentages of 60% after 15 days of sowing, growing until reaching more than 90% after 30 days. In the evaluation of the other variables it was determined that in the variable plant height concentration 2 of 10 g of inoculant was the best with an average of 12.91 cm, in relation to the variable root length it was also determined that concentration 2 was the best with an average of 4.34 cm, in relation to the variable fresh weight and dry weight the same was observed, that the best characteristics were shown by concentration 2, showing in the 5 variables only significance in the concentrations of *Rhizobium*, in the stem length variable it could be observed that the best result was also obtained with concentration 2 of inoculant of 10 g with an average of 8.58 cm but it could also be observed that there were differences between the two varieties, the best being the Wonder variety with an average of 7.08 cm, in the stem diameter variable it was also observed that the best concentration was 2 with an average of 0.07 cm and among the varieties the best was the Mercury variety with an average of 0.054 cm, showing us in these last 2 variables significance both in *Rhizobium* concentrations and in the 2 varieties of paprika. Reaching the conclusions that the effect of using the *Rhizobium*-based inoculant has a positive effect on the paprika crop in all the characteristics evaluated, it could also be determined that concentration 2 of 10 g of inoculant is the most effective and finally it was determined that there is not much relevance in the type of paprika varieties in relation to the characteristics evaluated.

ABREVIATURAS

PGRP	Microorganismos promotores de crecimiento de las plantas
SPP	Species pluralis
pH	Potencial de hidrógeno
T°	Temperatura
H°	Humedad
s.f.	Sin fecha
C°	Grados centígrados
F.V.	Factor de variabilidad
SC	Suma de cuadrados
gl	Grados de libertad
CM	Cuadrado medio
CV	Coeficiente de variabilidad
NS	No significativo
T	Tratamiento
R	Repeticiones

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el incremento de la población y la necesidad de contar con sistemas productivos más eficientes, es que se buscan nuevas metodologías y sistemas productivos capaces de generar los mayores rendimientos además de ser sistemas más amigables con el medio ambiente y generar productos más sanos buscando la sustitución parcial y total de fertilizantes principalmente nitrogenados.

Incrementar la producción de alimentos sin el deterioro ambiental y buscar tecnologías limpias de bajo costo para los agricultores y productores, es un reto que enfrentan los investigadores en la actualidad, así como el uso racional de los recursos naturales e insumos agrícolas, utilizando alternativas de producción, que no sean invasivos al medio ambiente, son indispensables para lograr una agricultura sostenible y ambientalmente (Almarz, 2009)

El Nitrógeno es un nutriente fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, por eso es tan importante este nutriente no sea escaso y se encuentre disponible en el suelo, el Nitrógeno es un elemento abundante en la naturaleza, se encuentra en la atmosfera y ocupa el 78% del volumen de la atmosfera terrestre en forma de N_2 , la dificultad es que esta forma de nitrógeno no se encuentra disponible para las plantas, para que las plantas puedan asimilarlo el nitrógeno debe encontrarse en forma de NH_4^+ (Amonio) y NO_3^- (Nitrato) (Plata, 2019)

De acuerdo a Paredes (2013) citado por Burgos (2017), los seres vivos no podemos incorporar en nuestro organismo el nitrógeno presente en la atmósfera. El ciclo del nitrógeno es el proceso natural por el cual los seres vivos obtienen el nitrógeno de la atmósfera en forma de amonio (NH_4^+). Los procesos naturales de fijación de nitrógeno incluyen amonificación, fijación abiótica y fijación biológica. La bacteria del género *Rhizobium spp.* se caracterizan por fijar el nitrógeno atmosférico (N_2) mediante una relación simbiótica con plantas.

La fertilización inorgánica ha permitido un aumento en los rendimientos con la peculiaridad que la planta no absorbe el 100 por ciento del fertilizante aplicado en los terrenos agrícolas, pero el exceso de nutrientes altera la fertilidad del suelo disminuyendo la actividad microbiana. Estudios han demostrado que la técnica agroecológica de

inoculación con *Rhizobium* spp. permite la incorporación de 100 a 1,000 kg/ha de nitrógeno, el cual es necesario para un óptimo desarrollo de las plantas (Burgos, 2017).

1.1. Antecedentes

De acuerdo a Santillana *et al.*, (2005), en su trabajo capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*), indica que las cepas de *Rhizobium* estimulan la germinación del tomate y algunas de las cepas que utilizó estimularon el crecimiento de las plántulas de tomate, esto tras la aplicación del inoculante en la tierra como un sustrato.

Según Rodríguez (2020), en su trabajo de investigación titulado efecto de la inoculación de tres niveles de *Rhizobium* en semillas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en la Estación Experimental De Cota Cota, indica que las semillas de pimiento morrón inoculadas con *Rhizobium* no mostraron algún efecto negativo en ninguno de los tratamientos durante la germinación, la emergencia y la etapa fenológica de crecimiento vegetativo antes de trasplante, así mismo se pudo observar que la aplicación de este inoculante afecta positivamente en variables cualitativas como ser el color de las plántulas, que presentan un color verde intenso y uniforme en toda y en todas las plántulas. Además, se pudo observar la no presencia de plagas ni enfermedades en las plántulas durante el crecimiento y desarrollo en el almacigo, aspectos pragmáticos visualizados en campo.

En la actualidad, la agricultura convencional enfrenta serios desafíos de sostenibilidad, debido al uso intensivo de fertilizantes químicos y prácticas de manejo que contribuyen al agotamiento de los suelos, la pérdida de biodiversidad y el deterioro ambiental. Esta situación obliga a buscar alternativas más ecológicas y sostenibles que permitan mantener la productividad agrícola sin comprometer los recursos naturales a largo plazo.

1.2. Planteamiento del problema

La etapa de almácigo es fundamental porque en ella se determina la calidad de las plántulas que serán trasplantadas al campo, influyendo directamente en el rendimiento final del cultivo y en su capacidad de resistir factores bióticos y abióticos. Incorporar *Rhizobium* sp. durante esta fase podría mejorar el crecimiento inicial, la sanidad y la

productividad de cultivos hortícolas como el pimentón (*Capsicum annuum* L.), además de reducir la dependencia de insumos químicos.

No obstante, la falta de estudios experimentales que evalúen los efectos de diferentes concentraciones de *Rhizobium* sp. en la etapa de almácigo de pimentón limita la validación de esta práctica y retrasa su adopción por los agricultores. En este contexto, surge la necesidad de investigar si el uso de estas bacterias puede constituir una estrategia efectiva para fortalecer el desarrollo inicial del cultivo, aportando a una agricultura más sustentable y eficiente.

1.3. Justificación

La necesidad de implementar sistemas productivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente es cada vez más urgente, debido al impacto negativo que los sistemas agrícolas convencionales ejercen sobre los recursos naturales y la biodiversidad. En este contexto, resulta fundamental desarrollar alternativas que favorezcan la productividad sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

Las etapas iniciales del cultivo, particularmente la fase de almácigo, son determinantes para la calidad de las plántulas y, en consecuencia, para el rendimiento y la resiliencia del cultivo en campo. Sin embargo, esta fase suele recibir escasa atención en términos de innovación y sostenibilidad, a pesar de su papel crítico en la adaptación de las plantas frente a factores bióticos y abióticos.

Bolivia enfrenta retos significativos en el ámbito agrícola, como la degradación de suelos, la baja incorporación de tecnologías sostenibles y la limitada investigación aplicada. No obstante, el país cuenta con un gran potencial para adoptar prácticas más amigables con el medio ambiente. Entre las alternativas más prometedoras destacan las rizobacterias, en especial las del género *Rhizobium*, ampliamente reconocidas por su capacidad de fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad del suelo en leguminosas.

Aunque se ha demostrado el efecto positivo de *Rhizobium* sp. en diversos cultivos, la evidencia científica sobre su aplicación en especies no leguminosas, como el pimentón (*Capsicum annuum* L.), y particularmente en la etapa de almácigo, sigue siendo limitada. Evaluar esta interacción simbiótica en el desarrollo inicial de las plántulas permitirá

generar información científica valiosa, orientada a mejorar la calidad del almácigo y reducir el uso de insumos químicos.

Por lo tanto, este estudio se justifica en la necesidad de aportar al conocimiento científico y a la práctica agrícola mediante la evaluación del efecto de diferentes concentraciones de *Rhizobium* sp. en el almácigo de pimentón. Sus resultados contribuirán a la construcción de sistemas productivos más eficientes, resilientes y sostenibles en Bolivia, fortaleciendo la capacidad de los agricultores para enfrentar los desafíos del cambio climático y la degradación de los suelos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de tres concentraciones de *Rhizobium* sp. en dos variedades de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en etapa de emergencia en el Centro Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento agronómico del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa de almacigo en condiciones de invernadero.
- Determinar la dosificación apropiada de *Rhizobium* sp. en el almacigado de pimentón (*Capsicum annuum* L.).
- Determinar cuál fue la mejor variedad de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa de almacigo en condiciones de invernadero.

1.5. Hipótesis

- Ho. La aplicación de *Rhizobium* sp. con diferentes concentraciones no tendrá efecto sobre el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.)
- Ha. La aplicación de *Rhizobium* sp. con diferentes concentraciones tendrá efecto sobre el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del cultivo de pimentón en fase de almacigo

El pimiento es originario de la zona de Bolivia y Perú, donde además de *Capsicum annuum* L. se cultivaban al menos otras cuatro especies, fue llevado al Viejo Mundo por Colón en su primer viaje (1493), en el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa y del mundo con la colaboración de los portugueses. Su introducción en Europa supuso un avance culinario, ya que vino a complementar e incluso sustituir a otro condimento muy empleado como era la pimienta negra (*Piper nigrum* L.), de gran importancia comercial entre Oriente y Occidente (INFOAGRO, s.f.).

Según Pinto (2018) citado por Figueredo (2021), el pimentón pertenece a la familia de las Solanáceas, y a un género que es casi en su totalidad originario de América (con excepción de *C. anomalum*). El centro de origen es la región Sud-Central de Bolivia, en los alrededores del lago Titicaca, y las zonas principales de domesticación fueron los Andes peruanos bolivianos, la región del río Amazonas, y América central, hasta México. El pimiento fue uno de los primeros cultivos domesticados en la historia del hombre, que fue consumido, valorado, venerado y ofrendado a dioses por sus múltiples valores culinarios y medicinales desde tiempos remotos.

2.1.1. Taxonomía del pimentón

La clasificación taxonómica del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) de acuerdo a Rojas (2014):

- **Dominio:** Eukarya
- **Reino:** Plantae
- **División:** Angiospermas
- **Clado:** Gunneridas - Eudicotiledonidas
- **Clado:** Asteridas – Campanulidas
- **Orden:** Solanales
- **Familia:** Solanaceae
- **Género:** Capsicum
- **Especie:** *Capsicum annuum* L.

2.1.2. Descripción botánica del pimentón en etapa de almacigo

El pimentón, es usualmente erecta, aunque hay algunas casi rastreras, de 2 a 5 pies de altura, con tallos angulosos convirtiéndose en cilíndricos según maduran, y leñosos en la base. Su crecimiento es mayormente semi-indeterminado, bastante ramificado. El tallo principal de la mayoría de las variedades comerciales de esta especie produce de 8 a 15 hojas antes de que aparezca la primera flor y entonces se ramifica, dividiéndose en su ápice en dos o tres ramas. Cada rama produce una o dos hojas, terminando en una flor y entonces se divide otra vez en dos ramas de segundo orden. Este patrón de ramificación continúa repitiéndose. Las hojas son alternadas, simples, de forma ovada o algunas veces casi lanceoladas, y con su punta ahusada o gradualmente estrecha y puntiaguda. Tienen una base en forma de cuña o aguda, y pecíolos de $\frac{1}{4}$ a 1 pulgada de largo. La lámina, de un grosor fino y con márgenes enteros, varía en tamaño considerablemente (1 a 5 pulgadas de largo) y tiene poca o ninguna vellosoidad (Fornaris, 2005).

La semilla germina de 10 a 15 días después de la siembra, posteriormente se trasplanta al huerto cuando tiene de 8 a 10 hojas (JICA, s.f.)

2.1.2.1. Sistema radicular en almacigueras

Raíz pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro (INFOAGRO, s.f.).

El peso del sistema radicular es solo un 7 a 17 % del peso total de la planta en función del topo varietal y de las condiciones del cultivo. En las plantas de pimiento morrón jóvenes la proporción relativa del sistema radicular respecto a la biomasa total es mayor a las adultas (Mamani, 2016).

2.1.2.2. Tallo en almacigueras en almacigueras

Según CEDEPAS (2013) citado por Plata (2019), el tallo sirve para soportar las hojas, las flores y los frutos también cumple funciones en el transporte del agua y nutrientes de las raíces a las hojas, es de crecimiento limitado y erecto con un porte que en término medio puede variar entre 0.5 y 1.5 m, cuando la planta adquiere cierta edad la planta se lignifica ligeramente. Es de crecimiento limitado y erecto y se lignifica ligeramente, cuando la

planta adquiere cierta edad. Su porte oscila entre 0,50 m a 2 m de altura, cuando se la cultiva en invernaderos. Se ramifica entre los 10 y 40 cm en dos o tres ramas, que a su vez se bifurcan en forma dicotómica. De las axilas de las hojas se originan tallos secundarios sobre los que se forman frutos, más tardíos que los que se forman sobre el tallo principal.

Es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente) (INFOAGRO, s.f.).

2.1.2.3. Hojas en almacigueras

Las hojas son enteras, ovales o lanceoladas, verde brillante, se insertan en el tallo en forma alternada. La mayor parte de los cultivares existentes pertenecen a la variedad *annuum*, presentando flores de corolas blancas, normalmente solitarias, son alternas color verde intenso y forma lanceolada, son lampiñas enteras y lanceoladas con un ápice muy pronunciado acuminado y peciolo largo o poco aparente: su inserción en el tallo es de forma alterna (Mamani, 2016).

2.1.3. Variedades del cultivo de pimentón

2.1.3.1. Variedad california Wonder

La Variedad California Wonder posee un alto rendimiento y calidad de frutos, son plantas medianas a grandes, muy prolíferas si se cosechan los frutos en la madurez verde. Frutos erectos, gruesos, casi cuadrados, comúnmente de 4 cascós (o lóculos). Color verde oscuro, brillante, que pasa al rojo escarlata al madurar. Pulpa gruesa, firme, buena calidad, dulce y suave. Muy buena resistencia al transporte (Florensa, 2014).

La variedad California wonder su ciclo de vida es de 90 días su color es verde, pero se torna aroja en su estado de madurez, tiene un tamaño de 10 por 10 cm con (longitud y diámetro), su forma es cuadrado, de tallo erecto y ramificado se convierte casi en leñoso; el crecimiento en altura de planta de 70 – 80 cm. Los frutos son dulces no muy largos de color verde oscuro a rojo brillante la planta es no muy alta y de regular frondosidad, con tolerancia al virus de Y de la Patata (PVY) y resistencia al virus del Mosaico del Tabaco (Reche, 2010).

Variedad comercial de origen norteamericano de amplia adaptación; la planta es de forma compacta y de tallo grueso, el follaje es de color verde oscuro abundante, compuesto de hojas grandes. También se caracteriza por su fruto predominante de cuatro lóbulos y de aspecto cuadrangular, el cual puede medir de 8 – 10 cm de diámetro y de 10 – 12 cm de longitud. A veces los frutos resultan con tres lóbulos, aunque la semilla sea pura y uniforme, creyéndose que ello se deba a ciertos factores ambientales de carácter local, Casseres (1980).

2.1.3.2. Variedad Mercury

Es una variedad comercial cuyo ciclo vegetativo hasta la maduración en días es de 72 – 75. La planta puede alcanzar hasta una altura de 46 – 61 cm aproximadamente; el fruto es de color verde a rojo intenso con una longitud aproximada de 11 cm y un diámetro de 10 cm, de pulpa gruesa, también es tetra lobulado el cual se inserta en el tallo en forma colgante. Esta variedad es resistente al TMV y es apta para el procesamiento como la comercialización en fresco, PETOSEED (1992).

Según Duran (2009) citado por Figueredo (2021), es un pimiento dulce tiene una forma cuadrangular su característica es que tiene una pared gruesa su color va de verde a rojo la maduración de los frutos es uniforme su tamaño es de 45 a 60 cm de altura además es vigoroso presenta resistencia a alternaría y virus del Mosaico.

2.1.4. Concepto de germinación

La germinación es el proceso en el que se desarrolla una semilla y llega al nacimiento de una planta, para lograrlo son necesarias diferentes condiciones, que dependen de la semilla o del medio ambiente (Gobierno de Mexico, 2021).

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula. En condiciones normales de laboratorio, la posterior rotura de cubiertas por la radícula es el hecho que se utiliza para considerar que la germinación ha tenido lugar. Sin embargo, en condiciones de campo no se considera que la germinación ha finalizado hasta que se produce la emergencia y desarrollo de una planta normal (Pita y Garcia, s.f.).

2.1.5. Fases de la germinación

Según Pita y Garcia (s.f.), en su manual de germinación de semillas, mencionan y las siguientes fases de la germinación:

- **Imbibición.** La primera etapa de la germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla desde el medio exterior a este proceso se denomina imbibición. La hidratación de los tejidos de la semilla es un proceso físico con una duración variable según la especie considerada, este proceso es variable y está en función a la especie vegetal y las cubiertas seminales de cada semilla variando de entre minutos hasta horas. Una vez que la semilla se ha hidratado, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación. En esta fase de la germinación, si las condiciones del medio lo determinan, la semilla puede deshidratarse y reiniciar el proceso de germinación, u obstante en algunas semillas la deshidratación prolongada puede implicar la transformación de semillas en semillas “semillas duras”, que se caracterizan porque se inhiben muy lentamente, este fenómeno es frecuente en leguminosas.
- **Germinación “sensu stricto”.** Una vez que la semilla se ha hidratado adecuadamente, se entra en una segunda etapa del proceso de germinación, la denominada fase de germinación “sensu stricto” (en sentido estricto), que se caracteriza entre otros hechos, porque se produce una disminución en la absorción de agua de las semillas. Durante esta etapa tiene lugar una activación generalizada del metabolismo de la semilla, lo cual es esencial para que se desarrolle la última fase del proceso de germinación, la fase de crecimiento.
- **Fase de crecimiento.** En esta última fase de la germinación, paralelamente al incremento de la actividad metabólica, se produce el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales. Las semillas que han alcanzado la fase de crecimiento no pueden volver a etapas anteriores y en el caso de que las condiciones del medio no permitan que esta fase pueda seguir adelante, la semilla morirá.

Una vez que la radícula ha roto las cubiertas seminales, se inicia el desarrollo de la plántula, proceso complejo y variable según la especie, que implica un elevado gasto energético que se obtiene mediante la movilización de las reservas nutritivas de la semilla (Pita y Garcia, s.f.)



Fuente. La figura fue obtenida de huerto en casa (s.f.)

Figura 1. Pimiento germinado

2.1.6. Características del almacigo

2.1.6.1. Sustrato para almacigo

El pimiento preferentemente requiere suelos de textura media, sueltos, ricos en fósforo y nitrógeno y se adapta bien en un rango de pH entre 5,5 y 7, como no tolera salinidad, los rendimientos decaen a partir de 3,5 dS/m de conductividad eléctrica, necesita buen drenaje, debido a su sensibilidad a la asfixia radicular (Di Favio, *et al*, s.f.).

Al pimiento morrón le favorece los sustratos franco arenosos con bastante aireación y profundos con un pH entre 6,5 y 7, neutro o ligeramente ácido además con abundante

porcentaje de materia orgánica, fósforo y nitrógeno el pimiento morrón es menos resistente a la salinidad, cuando esto sucede desarrolla poco (Mamani, 2016).

2.1.6.2. Temperatura en almaciguera

Como la mayoría de las hortalizas el pimiento morrón es de clima cálido, para alcanzar un buen desarrollo necesita temperaturas que oscilen entre los 20 y 25°C en el día y por la noche entre 16 y 18 °C. Las altas temperaturas cuando van acompañadas de humedad relativa baja, existen tolerancia hasta 40°C cuando la humedad es elevada (Mamani, 2016).

Según Mamani (2016), la temperatura óptima para la germinación es de 25 °C temperaturas menores a 15°C y mayores a 35°C no benefician la germinación, durante el crecimiento de la planta la temperatura diurna deberá estar entre 20 °C y 25°C y la temperatura nocturna deberá ser de 16°C y 18°C, en temperaturas menores a los 15 °C el crecimiento se reduce y cuando la temperatura es aún menor a 10°C el crecimiento se paraliza.

2.1.6.3. Humedad en almaciguera

El pimiento se adapta bien al ambiente confinado tanto de los túneles como de los invernaderos, donde frecuentemente hay una humedad relativa muy elevada, a condición de que no se produzcan cambios bruscos o desajustes entre la humedad y la temperatura. La humedad óptima se sitúa entre el 50% y 70%. Con una humedad relativa superior al 70% se producen situaciones favorables para el desarrollo de enfermedades criptogámicas (García, 2008).

2.1.6.4. Luminosidad en almaciguera

El pimiento es una planta exigente en luz durante todo su ciclo vegetativo, la falta de luz provoca un cierto ahilamiento de la planta, con alargamiento de los entrenudos y de los tallos, que al quedar más débiles no podrán soportar un buen trasplante (García, 2008).

2.1.7. Manejo del cultivo en etapa de almacigo

2.1.7.1. Almaciguera

Los almácigos o almacigueras son pequeñas parcelas o sitios donde se siembran las semillas a una alta densidad y se controlan las condiciones climáticas de humedad y temperatura para que los plantines crezcan adecuadamente, con el objeto de obtener en un período de 35 a 65 días plantines sanos con un tamaño y calidad para ser trasplantados al terreno definitivo. Una planta sana y vigorosa proveniente de un buen almacigo; es el punto de partida que marca una parte importante de la productividad y el futuro de la cosecha (SAGP, s.f.).

2.1.7.2. Siembra

La semilla del pimiento morrón debe sembrarse en almácigos y no presenta ningún tipo de dormición. Dentro del rango de temperaturas óptimas (20 - 30°C) la germinación se produce entre los 8 y los 12 días posteriores a la siembra. Puede observarse algún grado de desuniformidad en la germinación, debido probablemente a factores relacionados con la senescencia seminal. Para que la emergencia sea más uniforme puede utilizarse semilla pre germinada o sometida a tratamientos de acondicionamiento osmótico (Torres, 2015).

Según Torres (2015), la semilla de pimiento morrón requiere mayor periodo de tiempo que el tomate para la germinación y emergencia de la nueva plántula, en condiciones normales de agua, luz, oxígeno y temperatura, después de la germinación el crecimiento de la plántula es lento y puede durar entre 35 y 45 días para lograr un desarrollo óptimo para su trasplante.

De acuerdo a Vallejo y Estrada (2004) citados por Plata (2019), la plántula está en condiciones óptimas para el trasplante cuando ha alcanzado un crecimiento entre 8 y 10 cm, el tallo principal ha formado 4 – 8 hojas.

2.1.7.3. Riego en almaciguera

El riego en los primeros días debe ser diario (2 a 3 veces por día) hasta la primera semana, luego se puede aplicar una lámina de agua de riego controlada o continuar con el riego manual, Mantener una humedad uniforme y adecuada del sustrato durante la

germinación y el desarrollo inicial de las plántulas, evitando tanto el estrés hídrico como el encharcamiento, para lograr plántulas sanas y homogéneas para trasplante (SAGP, s.f.).



Fuente. La figura fue obtenida de Sabe la Tierra (2021)

Figura 2. Pimiento en almaciguera

2.1.7.4. Trasplante

De acuerdo a Vallejo y Estrada (2004) citados por Plata (2019), el trasplante debe realizarse cuando la planta tiene entre 4 y 8 hojas verdaderas o tiene una altura de entre 8 y 10 cm, siendo conveniente que al momento de trasplante aun no haya aparecido el botón floral. Cuando se realiza el trasplante pueden romperse algunas raíces, si esto coincide con los meses de calor puede presentarse un retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta para evitar tal efecto es recomendable regar las plántulas un día antes del trasplante. Los sitios de siembra deben estar acondicionados para el trasplante, en el caso de cultivos con acolchado, plástico, las líneas por goteo deben ser probadas previamente a la cobertura y el plástico roturado para definir los sitios del trasplante (Vallejo y Estrada, 2004).

2.2. Microorganismos

También denominados microbios, estos organismos cuentan con una organización biológica muy básica, una proporción importante de ellos cuenta con apenas una única célula, además se caracterizan por existir numerosas variedades, de diferentes formas y tamaños. Los organismos unicelulares procariotas y eucariotas, junto con ciertos hongos y algas, componen el universo de los microbios (Enciclopedia Concepto, 2021).

Cada tipo de organismo realiza una función específica. Algunos, como las algas, son fotosintéticas, otros, como las cianobacterias, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico. Sin embargo, la mayoría de los organismos del suelo utilizan la materia orgánica o la mineral como fuente de nutrientes y energía. Muchos están especializados en romper la materia orgánica de plantas y animales, dando sustancias simples, inorgánicas, que pueden ser devueltas a la atmósfera o arrastradas con las aguas de drenaje o ser incorporadas al stock de reserva mineral o al complejo arcillo-húmico. Otros organismos establecen relaciones simbióticas con otros organismos vivos, como *Rhizobium*, cianobacterias, micorrizas, etc. Para una buena gestión de los suelos es preciso conocer el hábitat y las costumbres alimentarias de los organismos que lo pueblan para favorecer el desarrollo de los organismos benéficos y reducir la actividad de los dañinos (Asociación Vida Sana, 2022)

Los microorganismos, por su gran versatilidad bioquímica, son los intermediarios entre el mundo mineral y el mundo vivo. Con sus innumerables reacciones metabólicas permiten incorporar los materiales del suelo en el mundo viviente y están en la base de toda productividad, por lo que debe darse a los microorganismos el papel fundamental que les corresponde en la fertilidad de los suelos (Asociación Vida Sana, 2022).

2.2.1. Microorganismos promotores de crecimiento de las plantas (PGRP)

En la rizosfera existen gran número de microorganismos que establecen relaciones de simbiosis con las plantas. Estos microorganismos intervienen en el ciclo de algunos elementos minerales como el fósforo, el nitrógeno, el carbono, el hierro entre otros, y favorecen la nutrición de las plantas. A cambio se aprovechan de los exudados de las raíces en forma de ácidos orgánicos, mucílagos, aminoácidos o azúcares (Asociación Vida Sana, 2022)

La Asociación Vida Sana (2022), indica que los PGPR favorecen el crecimiento de las plantas por diferentes mecanismos: síntesis de fitohormonas (fundamentalmente el ácido indolacético), promocionan el crecimiento de la raíz y la proliferación de los pelos radicales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sustancias quelantes del hierro (sideróforos) que aumentan su absorción por parte de las plantas. Además, intervienen en la fijación del nitrógeno (bacterias fijadoras de nitrógeno) y aumentan la absorción de agua y nutrientes y la absorción del fósforo (micorrizas). A estos dos últimos grupos vamos a dedicar un apartado especial por su gran importancia en la vida de las plantas y en el desarrollo de una agricultura más sostenible.

Los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PCV), son un grupo de diferentes especies que pueden incrementar el crecimiento y productividad en las plantas, entre los organismos más conocidos, están las especies pertenecientes a los géneros *Rhizobium spp.*, *Pseudomonas spp.* M, y *Azospirillum*. Los microorganismos PCV, pueden clasificarse en dos grupos. Microorganismos promotores de crecimiento en plantas, donde el mismo afecta a las plantas suprimiendo a otros microorganismos, los mecanismos que estos tienen que ver con su propio metabolismo (solubilizando fosfatos, produciendo hormonas o fijando nitrógeno), los cuales afectan directamente el metabolismo de la planta (incrementando la toma de agua y minerales), mejorando el desarrollo radicular, incrementan la actividad enzimática. de la planta o propician que otros microorganismos benéficos actúen de mejor manera sobre las plantas. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico, las cuales promueven el crecimiento de la planta al suprimir los fitopatógenos. El grupo de microorganismos conocido como PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) fue definido por Kloepper en 1989 como microorganismos que colonizan la raíz y estimulan significativamente el crecimiento de plantas (González y Fuentes, 2017).

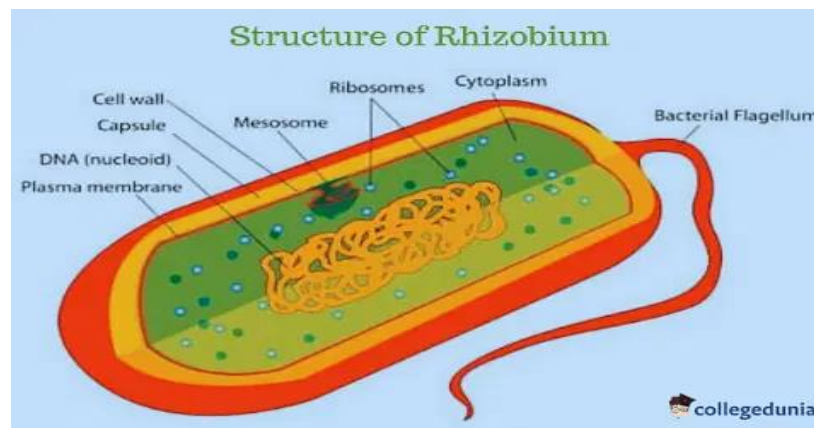
2.2.2. Rhizobium

El descubrimiento y clasificación de *Rhizobium sp.*, se dio a finales del siglo XVI, donde un científico llamado Dalechamps represento gráficamente abundantes nódulos en raíces de *Ornithopodium tuberosum*, lo que desencadenó que algunos científicos como Malphigi quien hizo varias investigaciones en el siglo XVIII y Ward quien tuvo importancia en el siglo XIX, quisieran continuar con la búsqueda del causante biológico en la formación de los nódulos en las raíces de algunas plantas, sin embargo, no fue hasta años después, que los estudios realizados por Hellriegel y Wilfarth en 1888 pudieron por primera vez

establecer que los productores de estos nódulos eran microbios, los que permitían a las leguminosas obtener nitrógeno atmosférico, incluso también descubrieron que esta relación se daba solamente en algunas plantas con características las cuales eran las óptimas para el crecimiento bacteriano en sus raíces, cualidades de las que carecía otras familias de plantas, quienes por más que se les diera las condiciones necesarias no se generaban nódulos, por tal razón en 1890, Beijerinck aisló y cultivo exitosamente la bacteria a partir de nódulos aunque fue Frank en 1889 quien lo había denominado *Rhizobium spp*, nombre que se mantiene actualmente (Díaz, 2022).

De acuerdo a Díaz (2022), su clasificación taxonómica es la siguiente:

- **Dominio:** Bacteria
- **Filo:** Proteobacteria
- **Clase:** Alphaproteobacteria
- **Orden:** Rhizobiales
- **Familia:** Rhizobiaceae
- **Género:** *Rhizobium*



Nota. La figura fue obtenida de Equipo Collegedunia (2024)

Figura 3. Estructura del *Rhizobium* sp.

El género *Rhizobium spp.* pertenece al grupo de bacterias Gram negativas. Exhibe forma de bacilo y posee una doble membrana. Las especies de *Rhizobium* pasan dos etapas durante su ciclo de vida; etapa de vida libre y etapa de relación simbiótica en las raíces. Durante el periodo de vida libre, el *Rhizobium* se encuentra expuesta a variaciones del

medio ambiente como escasez de nutrientes, variaciones de pH y salinidad, cambios en temperatura, y presencia de metales pesados disueltos en el suelo, estudios a nivel de laboratorio han determinado que la humedad y el valor de pH son los principales factores que alteran la actividad microbiana incluyendo las poblaciones de *Rhizobium*. En la etapa de relación simbiótica, la bacteria se encuentra presente en las raíces de la planta en forma de nódulos o rizoma, el nódulo es el resultado de la colonización de *Rhizobium spp*, en las raíces donde se conoce que ocurre la fijación biológica de nitrógeno en forma de gas (N_2) y se produce el amonio (NH_4^+) (Burgos, 2017).

Los Rhizobios en grandes concentraciones y seleccionados pueden llegar a tener resultados realmente beneficiosos para las especies vegetales no pertenecientes a la familia de las fabáceas, en la germinación que es una de las fases fenológicas más importantes los Rhizobios en altas concentraciones pueden llegar a tener un beneficio magnificado y con mejores expectativas de seguir el ciclo vegetativo sin ningún problema (Cuadrado *et al.*, 2009).

2.2.3. Inoculante N₂

El inoculante N₂ es un producto biológico de alta eficiencia, empleado para potenciar el crecimiento y la productividad de las plantas mediante la inoculación directa sobre las semillas al momento de la siembra. Este inoculante está formulado a base de turba estéril enriquecida, la cual actúa como soporte físico y nutricional que garantiza la viabilidad y supervivencia de las bacterias del género *Rhizobium* durante un periodo prolongado. Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2024), cada gramo del inoculante contiene como mínimo mil millones (10^9) de células viables de *Rhizobium*, microorganismos altamente eficientes en la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (N_2) y con especificidad simbiótica para distintas especies de leguminosas.

El modo de aplicación del inoculante puede realizarse tanto en su forma sólida como líquida, siguiendo las recomendaciones establecidas. Estas indican que 250 g o 250 mL de inoculante deben mezclarse homogéneamente en $\frac{1}{4}$ de litro de agua junto con 50 kg de semilla. Posteriormente, las semillas tratadas deben someterse a un proceso de secado a la sombra para evitar la muerte de los microorganismos, y luego ser sembradas en el sustrato o en las almacigueras, asegurando una adecuada colonización microbiana desde las primeras etapas del desarrollo radicular.(CIAT, 2024).

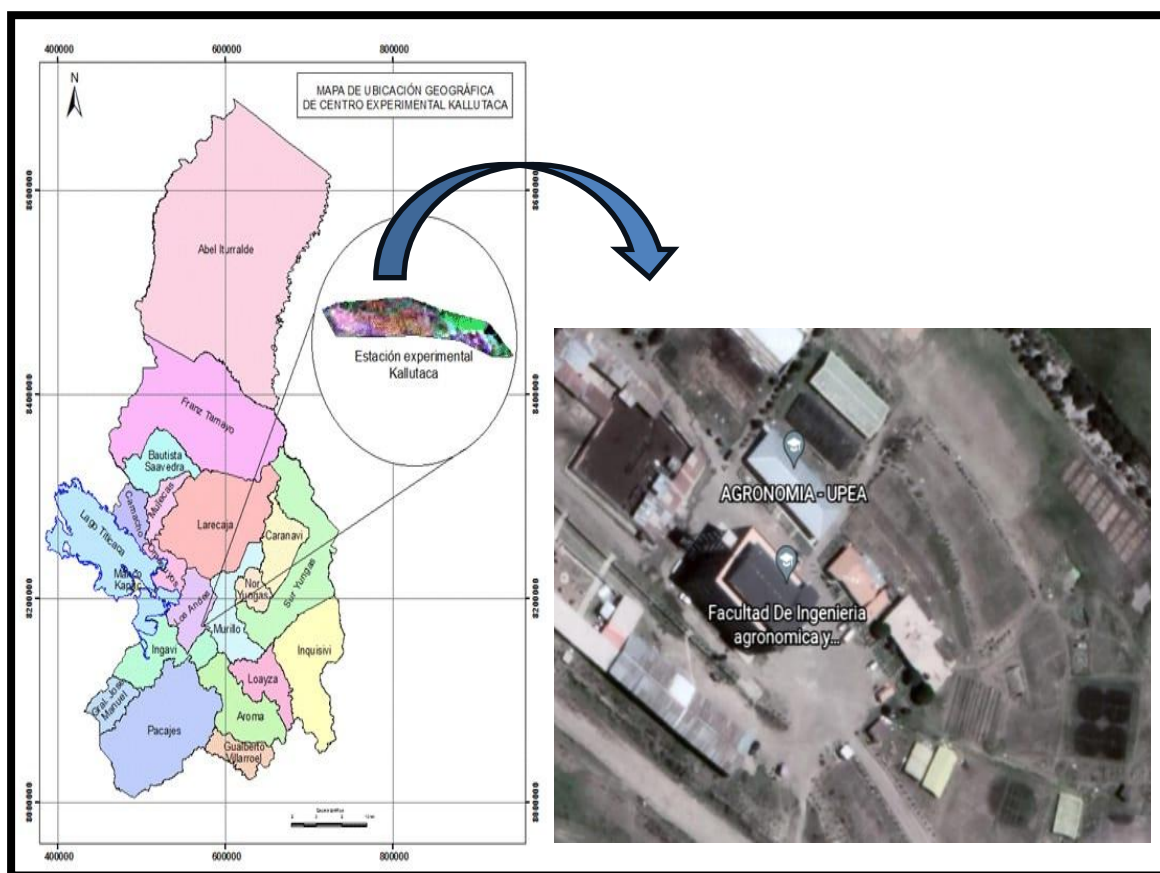
El proceso de inoculación reviste una gran importancia agronómica, ya que permite establecer una población activa de *Rhizobium* en la rizósfera, mejorando la asimilación de nitrógeno y fósforo (N_2 y P_2) y promoviendo el desarrollo inicial del cultivo. Según (Valverde, 2015), es fundamental garantizar que cada semilla reciba una alta densidad de bacterias viables, dado que solo una fracción de ellas sobrevive y se adhiere en la zona superficial de la semilla, especialmente en el punto de emergencia de la radícula, donde se inicia la simbiosis. De esta manera, el uso adecuado del inoculante N_2 constituye una práctica sostenible y eficiente dentro del manejo biotecnológico de los cultivos.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en los predios del Centro Experimental de Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto, ubicada a 20 km al sureste de la ciudad de La Paz, geográficamente comprendida entre los paralelos: 16° 31' 27" de latitud Sur y 68° 18' 32' de longitud Oeste a una elevación de 3 900 msnm (UDAPE, 2016)



Nota. La figura fue adaptada de Condori (2017) y Gooogle eart (2024)

Figura 4. Imagen satelital del area de investigación

3.1.2. Características edafoclimáticas

3.1.3. Clima

El área de estudio se caracteriza por un clima templado-frío, con una temperatura media anual de aproximadamente 12 °C. La humedad relativa promedio es del 25%, lo que refleja condiciones relativamente secas en comparación con otras regiones andinas. La distribución de la precipitación, aunque moderada, es suficiente para sustentar los cultivos y la vegetación natural, con un promedio anual que varía entre 600 y 650 mm (SENAMHI, 2024).

3.1.4. Precipitación

La precipitación anual media es de 667 mm, concentrándose principalmente entre los meses de noviembre y marzo, coincidiendo con la temporada de lluvias típica del altiplano. No obstante, las primeras lluvias pueden iniciar en septiembre y prolongarse hasta abril, generando un período de humedad extendido que favorece la germinación de semillas y el crecimiento vegetativo de los cultivos. La variabilidad anual es notable, con un promedio máximo de precipitación de 911 mm y un mínimo de 404 mm, lo que indica que la región puede experimentar años relativamente húmedos o secos. Esta distribución irregular de las lluvias condiciona el diseño de estrategias de riego y manejo de agua en actividades agrícolas y experimentales (Arteaga, 2007).

3.1.5. Suelo

El suelo del Centro Experimental presenta una textura franco-arcillosa, típica de formaciones fluviolacustres, con presencia de sectores de bofedales y áreas de pastoreo. La composición edáfica favorece la retención de humedad, aunque la fertilidad natural puede variar dependiendo de la profundidad y de la cobertura vegetal existente. Los suelos se clasifican principalmente como Leptosoles, Regosoles y Cambisoles, cada uno con propiedades específicas que determinan su capacidad de uso agrícola y su manejo (Arteaga, 2007)

3.1.6. Flora

La vegetación de la zona presenta una distribución dispersa, concentrándose en antiguos terrenos de haciendas y alrededores de viviendas. Entre las especies arbóreas y

arbustivas destacan los kiswaras (*Buddleja* sp.), los cipreses (*Cupressus* sp.), eucaliptos (*Eucalyptus* sp.) y pinos (*Pinus* sp.), los cuales han sido introducidos y adaptados a las condiciones locales. En menor proporción, se encuentra queñua (*Polylepis* sp.), especie nativa de alta importancia ecológica, que contribuye a la conservación del suelo y al mantenimiento de microhábitats. La vegetación natural y las especies introducidas cumplen un papel crucial en la protección del suelo, la regulación del microclima y el soporte de fauna local (Arteaga, 2007).

3.1.7. Fauna

La fauna del área combina especies nativas y algunas introducidas que se han adaptado a las condiciones climáticas y edáficas de la región. Entre los mamíferos más representativos se encuentran el zorro (*Canis culpeus*), el zorrino (*Conepatus chinga*) y la liebre pampa huanco (*Orytalagus cuniculus*), esta última de reciente introducción y considerada plaga en cultivos de granos y hortalizas debido a su alto índice de reproducción. En cuanto a la avifauna, se registran especies como la perdiz (*Tinamidae*), patos (*Anatidae*), marías (*Falconidae*), y otras aves como yaca yaca, cernícalo, picaflor y chockas (pato silvestre), que predominan en las riberas de los ríos y áreas húmedas. Estas especies desempeñan un papel ecológico importante, participando en la polinización, dispersión de semillas y control biológico de plagas (Arteaga, 2007).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

Para esta investigación como material de estudio se utilizó el inoculante N2 y semillas de dos variedades de pimentón, la variedad California Wonder y la variedad Sweet Mercury.

3.2.2. Material de escritorio

- Laptop
- Bolígrafo
- Planilla de datos

3.2.3. Material de campo

- Bandejas de almacigo
- Regaderas
- Herramientas, pico, malla milimétrica
- Pistola de calor
- Balanza analítica
- Termómetro

3.3. Método

Para el presente trabajo se empleó una metodología cuantitativa con un alcance exploratorio descriptivo, empleado para trabajos de implementación exploratoria o sin evaluaciones previas de acuerdo a Hernández Sampieri, Fernández Collado & Pilar Baptista (2010) citados por Sandoval (2023).

El experimento se dio inicio el 29 de noviembre de 2023 en la etapa de almaciguera, bajo condiciones controladas de vivero, y se extendió hasta el 08 de enero de 2024. Durante este periodo se llevó a cabo el seguimiento del crecimiento y desarrollo de las plántulas, con el propósito de evaluar su comportamiento fisiológico y morfológico antes del trasplante.

En esta fase se registraron variables morfoagronómicas consideradas indicadores del vigor de las plántulas, tales como la altura de la planta (cm), la longitud del tallo (cm) y el diámetro del tallo (mm). Estas mediciones se realizaron en intervalos regulares utilizando instrumentos calibrados, garantizando la precisión y repetibilidad de los datos obtenidos.

El ensayo permitió identificar la etapa fenológica óptima para el trasplante, a partir del análisis del crecimiento estructural de las plántulas y su adaptación al medio de cultivo empleado. De esta manera, los resultados obtenidos en la fase de almaciguera proporcionaron información relevante sobre la calidad fisiológica y el potencial de establecimiento de las plantas en etapas posteriores del cultivo.

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Preparación de almacigueras

Se utilizaron tres bandejas de almácigo con dimensiones de 95 cm de largo por 50 cm de ancho, las cuales se distribuyeron de acuerdo con las repeticiones experimentales y subdivididas internamente según los tratamientos establecidos. Antes de su uso, las bandejas fueron sometidas a un proceso de desinfección con el propósito de eliminar posibles contaminantes físicos, químicos o biológicos que pudieran interferir en la germinación y desarrollo de las plántulas, garantizando así condiciones de cultivo asépticas y uniformes.

3.3.1.2. Preparación del sustrato

El sustrato de siembra se formuló empleando una mezcla de suelo agrícola, arena lavada y compost orgánico, en una proporción 3:1:1 (v/v), con el objetivo de obtener un medio de crecimiento con óptimas propiedades físicas y químicas, favoreciendo el drenaje, la aireación y la retención de humedad. Los componentes fueron mezclados manualmente sobre una superficie limpia, utilizando una pala dentro de una carretilla, hasta lograr una mezcla homogénea y de textura uniforme. Una vez alcanzada la homogeneidad deseada, se procedió al llenado de las almacigueras, asegurando una distribución uniforme del sustrato y evitando la formación de compactaciones que pudieran afectar el desarrollo radicular de las plántulas.

3.3.1.3. Desinfección del sustrato

Para la desinfección del sustrato de la almaciguera se empleó una pistola de calor, la cual propaga aire caliente con el propósito de reducir la carga microbiana (bacterias, hongos) y suprimir semillas de malezas o patógenos. El tratamiento se aplicó durante 45 minutos, asegurando una distribución homogénea del calor en todo el volumen del sustrato con el fin de que la temperatura interna alcance entre 60 °C y 80 °C. Luego del tratamiento térmico, el material quedó en reposo durante 24 horas para permitir su oxigenación y estabilización antes de la siembra.

Este método corresponde a una pasteurización térmica parcial del sustrato, orientada a eliminar organismos no deseados sin ocasionar daños severos a la estructura física o microbiológica residual del medio. Su respaldo metodológico encuentra sustento en

prácticas comunes de desinfección de sustratos y suelos en producción de viveros, donde la elevación de temperatura controlada es una alternativa eficiente frente a métodos químicos convencionales (fumigantes).

3.3.1.4. Desinfección de las semillas

Las semillas, con un peso total aproximado de 7,2 gramos (equivalentes a 1 080 unidades), fueron sometidas a un proceso de desinfección superficial previo a la siembra. En primera instancia, se lavaron con agua corriente para eliminar impurezas o residuos químicos adheridos. Posteriormente, se preparó una solución de hipoclorito de sodio al 5 %, diluyendo 1 litro del producto en 4 litros de agua, donde las semillas se sumergieron durante 2 minutos, asegurando un contacto uniforme. Finalizado el tratamiento, se enjuagaron con agua limpia y se dejaron secar al aire libre sobre papel absorbente estéril hasta alcanzar humedad superficial adecuada.

3.3.1.5. Aplicación de *Rhizobium*

Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2005), citado por Tejerina (2021), se recomienda diluir 250 g de inoculante *Rhizobium* N₂ en 4 litros de agua destilada para obtener una suspensión homogénea destinada a la inoculación de semillas o plántulas.

En el presente estudio, se utilizó inoculante biológico *Rhizobium* N₂, elaborado y envasado por el CIAT, administrado en tres niveles de concentración junto con un testigo sin inoculación, con el fin de evaluar su efecto sobre el desarrollo inicial de las plántulas. Las concentraciones aplicadas fueron:

- Tratamiento 0 (control): ausencia de inoculante.
- Tratamiento 1: 5 g de inoculante N₂ en 8 mL de agua destilada.
- Tratamiento 2: 10 g de inoculante N₂ en 16 mL de agua destilada.
- Tratamiento 3: 15 g de inoculante N₂ en 24 mL de agua destilada.

La preparación de la suspensión se realizó mediante la medición precisa del volumen de agua y el pesado exacto del inoculante para cada concentración experimental. La mezcla se llevó a cabo en un matraz Erlenmeyer, realizando agitación constante para asegurar la dispersión homogénea de las células de *Rhizobium* en la solución. La aplicación se

efectuó por riego localizado, distribuyendo uniformemente el inoculante sobre las unidades experimentales según la dosis establecida, garantizando así un contacto eficiente con la raíz de las plántulas y optimizando la colonización rizosférica.

3.3.1.6. Siembra

Con las semillas ya desinfectadas (y pre-inoculadas según el tratamiento experimental correspondiente), se procedió a la siembra en las hileras correspondientes. Se adoptó una densidad de plantación de 15 × 15 cm, ubicando 15 semillas por hilera y realizando 3 hileras por tratamiento. Dado que se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, cada tratamiento contó con un total de 135 semillas. En todo el experimento se sembraron 8 tratamientos, lo que da como resultado un total general de 1 080 semillas (aproximadamente 7,2 gramos, según peso del lote de semillas utilizado).

La disposición de 15 × 15 cm es consistente con esquemas de linealidad y espacialización comúnmente empleados en ensayos de viveros, donde se busca un equilibrio entre espacio suficiente para el crecimiento inicial de las plántulas y densidad que permita eficiencia de uso del vivero (ver recomendaciones generales de espaciamiento en producción de semillas y densidad de siembra).

3.3.1.7. Dosis de riego

La dosis de riego aplicada en el experimento se determinó en función de la cantidad de inoculante microbiano *Rhizobium* N₂ utilizada en cada tratamiento, asegurando que la suspensión se distribuyera homogéneamente sobre el sustrato y favoreciera la colonización rizosférica de las plántulas. Las dosis de agua fueron previamente calculadas y medidas con precisión para cada nivel de inoculación, garantizando condiciones uniformes y reproducibles en todas las unidades experimentales.

La distribución de los tratamientos según concentración de inoculante fue la siguiente:

- Concentración 1: tratamientos 3 y 4
- Concentración 2: tratamientos 5 y 6
- Concentración 3: tratamientos 7 y 8

La aplicación del inoculante *Rhizobium* N₂ se realizó teniendo en cuenta que su desarrollo depende directamente de la lámina de riego suministrada. En cada bandeja de

almaciguera (95 × 50 cm, área 0,475 m²), se aplicaron volúmenes de agua previamente calculados para garantizar una distribución homogénea del inoculante y favorecer la colonización rizosférica de las plántulas. La concentración 1 recibió 0,5 L de agua por bandeja ($\approx 1,05$ L/m²), la concentración 2 1 L por bandeja ($\approx 2,11$ L/m²) y la concentración 3 1,5 L por bandeja ($\approx 3,16$ L/m²), mientras que el testigo no recibió inoculante. El riego se realizó tres veces por semana, asegurando humedad óptima del sustrato y máxima eficacia en la fijación biológica de nitrógeno, conforme a recomendaciones de manejo de riego en ensayos con inoculantes microbianos

3.3.1.8. Desmalezado

La limpieza del sustrato dentro de las almacigueras es una labor importante puesto que al ser un sustrato ideal el crecimiento de todo tipo de plantas es favorecido y perjudican el normal crecimiento y desarrollo de las plántulas de pimiento morrón.

El desmalezado en las almacigueras del pimiento morrón se realizó 2 veces vez por semana esto con el objetivo de eliminar plantas perjudiciales que perjudiquen el normal crecimiento. Este manejo se realizó de forma manual

3.3.1.9. Frecuencia de riego

Una vez sembradas las semillas en las almacigueras, el riego se realizó con una frecuencia de tres aplicaciones por semana, ajustando el volumen de agua de acuerdo con la concentración de inoculante asignada a cada tratamiento. La lámina de riego aplicada por bandeja (95 × 50 cm, área 0,475 m²) se calculó previamente para garantizar una humedad óptima del sustrato y un contacto uniforme del inoculante con la rizósfera. Cada aplicación tuvo una duración aproximada de 5 minutos, suficiente para humedecer todo el sustrato sin provocar saturación ni escurrimiento, asegurando la supervivencia de los microorganismos y promoviendo un desarrollo radicular eficiente. Este esquema de riego permitió mantener condiciones adecuadas para la germinación y el establecimiento inicial de las plántulas.

3.3.2. Diseño experimental

Para esta etapa se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial donde se evaluarán dos factores, factor a (concentraciones de *rizhobium*) y el

factor b (variedades de pimentón) donde también se determinará si hay una interacción (Ochoa, 2009).

Resultando la siguiente ecuación lineal:

De acuerdo a Ochoa (2009), el modelo lineal aditivo empleado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Una observación

u = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor a

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor b

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i-ésimo nivel del factor a, con el j-ésimo nivel del factor b

(interacción a x b)

ϵ_{ijk} = Error experimental

3.3.3. Factores de estudio

Factor a: concentraciones

a_1 = Testigo (0 gr de inoculante)

a_2 = Concentración 1 (5 gr de inoculante)

a_3 = Concentración 2 (10 gr de inoculante)

a_4 = Concentración 3 (15 gr de inoculante)

Factor b: variedades

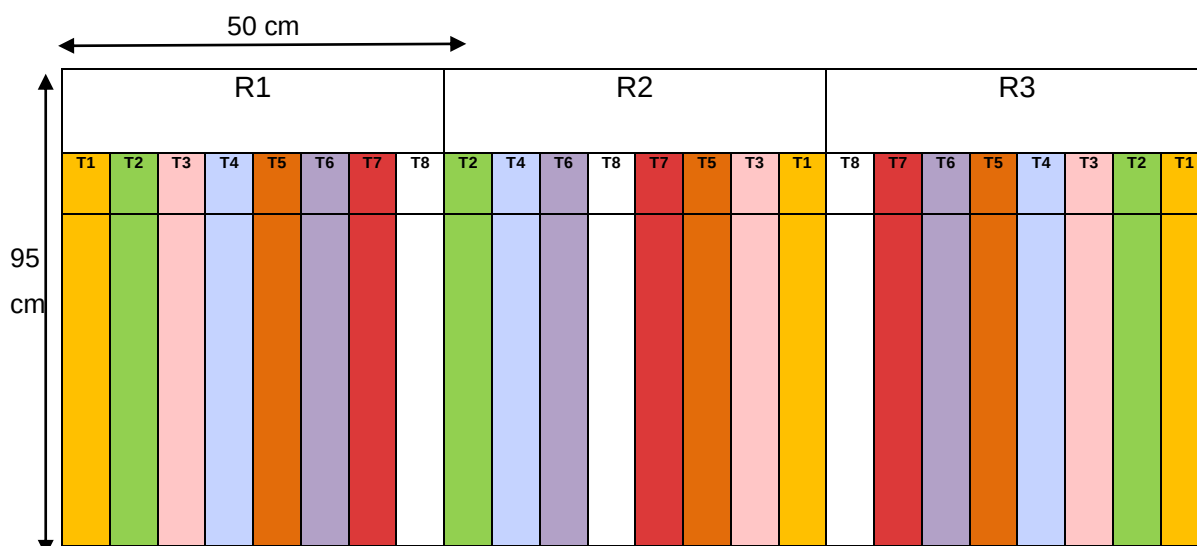
b_1 = Variedad california Wonder

b_2 = Variedad sweet Mercury

3.3.3.1. Formulación de tratamientos

T_1	=	a_1b_1	Variedad California Wonder sin inoculante (Testigo)
T_2	=	a_1b_2	Variedad Sweet Mercury sin inoculante (Testigo)
T_3	=	a_2b_1	Concentración 1 (5 gr) X Variedad California Wonder
T_4	=	a_2b_2	Concentración 1 (5 gr) X Variedad Sweet Mercury
T_5	=	a_3b_1	Concentración 2 (10 gr) X Variedad California Wonder
T_6	=	a_3b_2	Concentración 2 (10 gr) X Variedad Sweet Mercury
T_7	=	a_4b_1	Concentración 3 (15 gr) X Variedad California Wonder
T_8	=	a_4b_2	Concentración 3 (15 gr) X Variedad Sweet Mercury

3.3.4. Croquis experimental



Fuente: Elaboración propia, (2025)

Figura 5. Croquis experimental

3.3.5. Variables de respuesta

3.3.5.1. Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se determinó mediante observación directa de la emergencia de la radícula en semillas colocadas en cajas de Petri con papel absorbente humedecido con agua destilada, siguiendo protocolos estandarizados en ensayos de laboratorio. Las semillas se incubaron bajo condiciones controladas de temperatura y humedad durante un periodo de 7 días, registrando diariamente el número de semillas germinadas. A partir de estos datos, se calculó el porcentaje de germinación mediante la relación entre el número de semillas germinadas y el total de semillas sembradas, multiplicado por 100. Esta metodología permitió evaluar la viabilidad y el vigor inicial de los lotes de semillas, proporcionando información confiable sobre su capacidad para producir plántulas normales en condiciones óptimas de luz, agua, aire y temperatura.

3.3.5.2. Altura de planta

La altura de las plántulas se evaluó al final del experimento, mediante medición directa con una cinta métrica graduada en centímetros. Se seleccionaron 10 plantas marcadas por tratamiento en cada bandeja, y la medición se realizó desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la plántula, registrando la altura final alcanzada por cada unidad experimental. Esta variable permitió cuantificar el crecimiento longitudinal de las plántulas y evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre el desarrollo inicial de las plantas bajo condiciones controladas de almaciguera.

3.3.5.3. Longitud de la raíz

La longitud radicular se evaluó al final del experimento mediante la medición de 10 plántulas seleccionadas por tratamiento. La medición se realizó con una cinta métrica graduada en centímetros, desde la base del cuello de la raíz hasta el extremo del ápice radicular, registrando la longitud total de la raíz. Esta variable permitió cuantificar el desarrollo del sistema radicular, evaluando la influencia de los tratamientos sobre la capacidad de exploración del sustrato y absorción de agua y nutrientes en las plántulas bajo condiciones controladas de almaciguera.

3.3.5.4. Longitud del tallo

La longitud del tallo se evaluó al finalizar el experimento mediante medición directa con una cinta métrica graduada en centímetros. La medición se realizó desde el cuello de la raíz hasta el ápice del tallo, registrando la longitud aérea total de cada plántula, lo que permitió cuantificar el crecimiento vegetativo inducido por los tratamientos aplicados.

3.3.5.5. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo se determinó utilizando un vernier o calibrador digital al término del experimento. Se midió el diámetro basal de cada plántula de las 10 muestras por tratamiento, permitiendo evaluar la robustez estructural de los tallos y la eficiencia de la inoculación con *Rhizobium* en el desarrollo inicial de las plántulas.

3.3.5.6. Peso fresco

Para la variable peso fresco, se pesaron las 10 plántulas seleccionadas por tratamiento utilizando una balanza analítica de precisión, registrando los valores en gramos por planta (gr/planta). Se consideró el peso total de la plántula, incluyendo raíces, tallo y hojas, inmediatamente después de la cosecha, lo que permitió evaluar la biomasa aérea y subterránea acumulada como indicador del efecto de los tratamientos.

3.3.5.7. Peso seco de la plántula

El peso seco se determinó al final del experimento con las mismas 10 plántulas por tratamiento. Las muestras fueron llevadas al laboratorio y secadas en estufa de aire forzado a 72 °C durante 72 horas hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, cada plántula se pesó cuidadosamente en la balanza analítica, permitiendo cuantificar la biomasa seca total y evaluar la eficiencia del crecimiento y acumulación de materia orgánica inducida por los tratamientos.

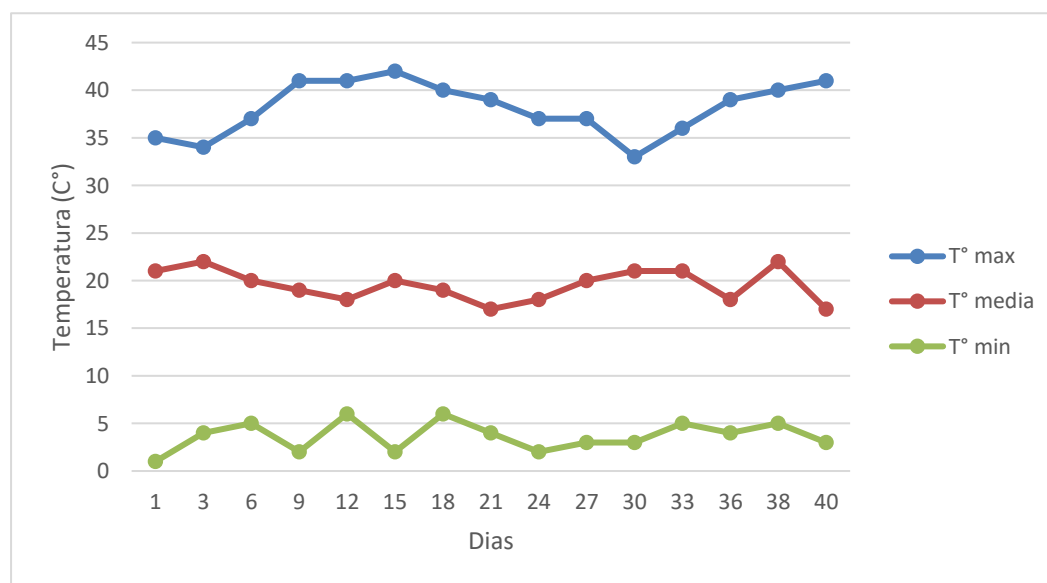
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En concordancia con los objetivos planteados, centrados en evaluar el efecto de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de pimentón y determinar su influencia sobre la eficiencia germinativa y el desarrollo inicial de las plántulas, se presentan a continuación los resultados obtenidos y su respectiva discusión.

4.1. Características edafoclimáticas de las almacigueras

4.1.1. Temperatura de la carpa

Las fluctuaciones de los registros térmicos, al inicio del experimento, durante y al finalizar la actividad de campo, donde fueron registradas por un termómetro automático ambiental, se tomó en cuenta las temperaturas máximas, medias y mínimas dentro del ambiente atemperado, se describen en la fluctuación a continuación.



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 6. Temperaturas de la carpa

En la Figura 6 se presentan las temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en el invernadero a lo largo de todo el experimento, donde el día 1 corresponde al 29 de noviembre, fecha de la siembra, y el día 40 al 8 de enero día de la cosecha.

- La temperatura media se mantuvo dentro de un rango relativamente estable, oscilando entre 15 °C y 25 °C a lo largo del monitoreo. El valor máximo registrado fue de 24 °C el día 38. Este rango térmico se considera adecuado para el desarrollo fisiológico del pimentón, indicando que las condiciones ambientales dentro de la carpa fueron, en general, favorables para el crecimiento del cultivo durante este periodo.
- Temperaturas mínimas: El valor mínimo registrado fue de 2 °C el día 1, lo cual podría representar un riesgo potencial para las plántulas, dependiendo de su tolerancia a temperaturas bajas cercanas a los 0 °C. No obstante, a medida que avanzó el experimento, las temperaturas mínimas mostraron una ligera tendencia ascendente, mejorando progresivamente las condiciones térmicas del ambiente de cultivo.
- Temperaturas máximas: Los valores máximos de temperatura se registraron los días 15 y 40, alcanzando 43 °C. Estas temperaturas extremas pueden generar estrés térmico en las plantas, afectando su crecimiento y fisiología si se mantienen por periodos prolongados. Por ello, resulta fundamental implementar estrategias de control térmico y ventilación dentro del invernadero para evitar posibles daños por sobrecalentamiento.

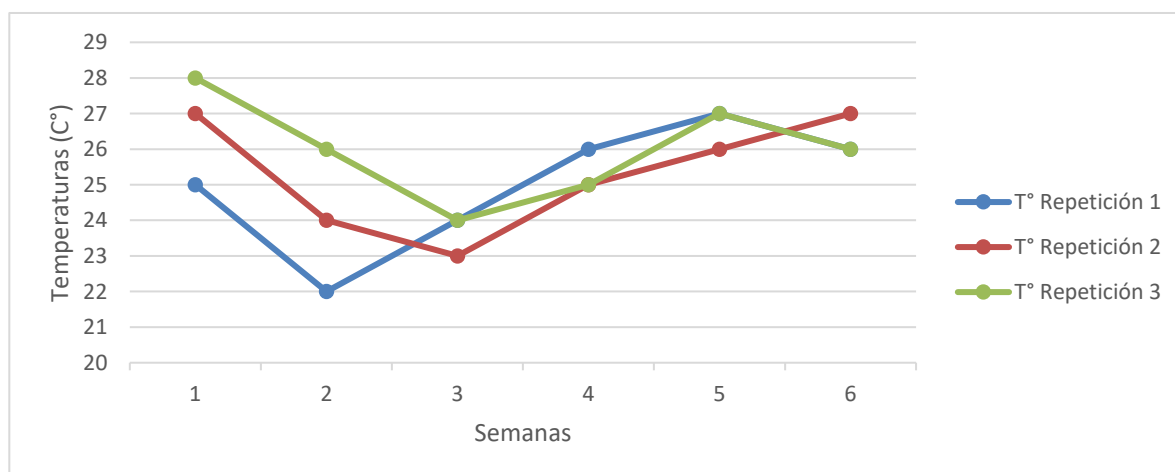
En términos generales, las temperaturas medias observadas indican un ambiente propicio para el desarrollo del pimentón. Sin embargo, los valores extremos, tanto bajos como altos, registrados en algunos días, podrían constituir factores limitantes para el rendimiento del cultivo, lo que resalta la importancia de un manejo adecuado del microclima dentro del invernadero.

De acuerdo a Di Favio, *et al.* (s.f.), el pimentón en su etapa inicial requiere una temperatura ideal entre 20 y 30 °C, llegando a tolerar temperaturas mínimas de 5 °C y máximas de 45 °C para un desarrollo normal.

Según Mamani (2016), la temperatura óptima para la germinación es de 25 °C, temperaturas menores a 15 °C y mayores a 35 °C no benefician la germinación y pueden generar algunos problemas.

4.1.2. Temperatura de las almacigueras

Se registraron las temperaturas de cada una de las bandejas 1 vez por semana, desde el inicio hasta finalizar el estudio como se observa a continuación



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 7. Temperaturas de las almacigueras

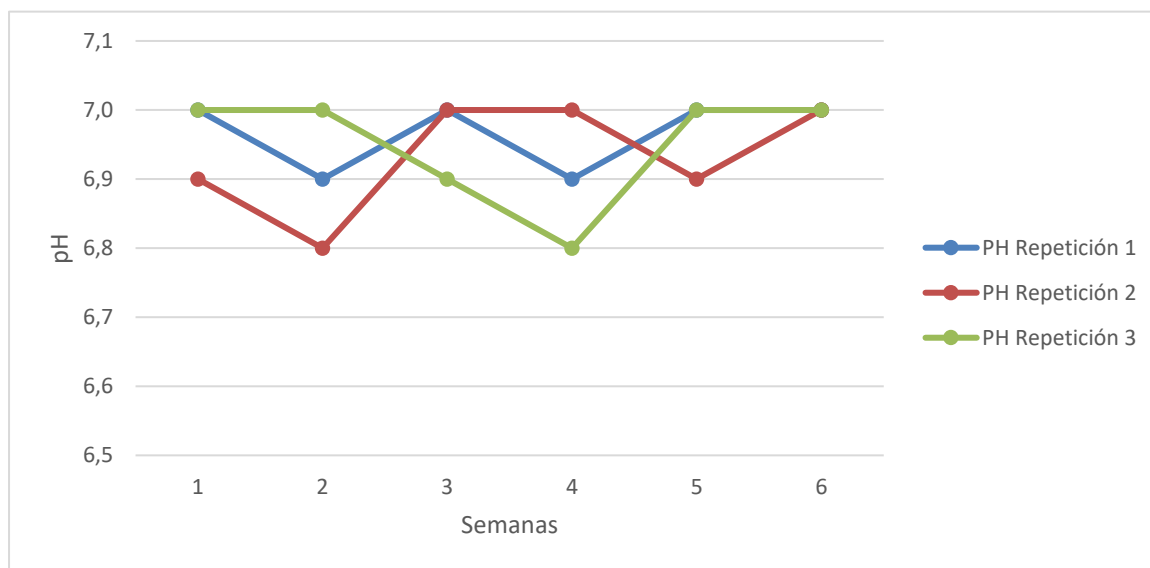
Como se puede observar en la figura 7, se registró las fluctuaciones de las temperaturas de los 3 almacigueros mediante un termómetro de sustrato 1 vez por semana, donde se puede observar que las 3 almacigueras presentaron un comportamiento muy similar, siendo el día 1 el que presentó la temperatura más alta con 25° la almaciguera 1, 27° la almaciguera 2 y 28° la almaciguera 3, siendo además las semanas 2 y 3 las que presentaron los datos más bajos con 22, 23 y 24 °C, manteniéndose la temperatura en un rango medio de entre 28 y 22 °C en las 3 almacigueras.

Cuando se trata de germinar las semillas de pimiento, los cultivadores suelen obtener los mejores resultados con una temperatura del suelo de 23 a 29 °C (75 a 85 °F) (DryGair Energies Ltd., s.f.).

El cuidado en semillero o almaciguera consiste en mantener idealmente una temperatura diurna entre 20 y 26 °C y nocturna de 18-20 °C. (Vicente, *et al.*, s.f.)

4.1.3. PH de las almacigueras

Se registraron los pH de cada una de las bandejas 1 vez por semana, desde el inicio hasta finalizar el estudio como se observa a continuación



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 8. PH de las almacigueras

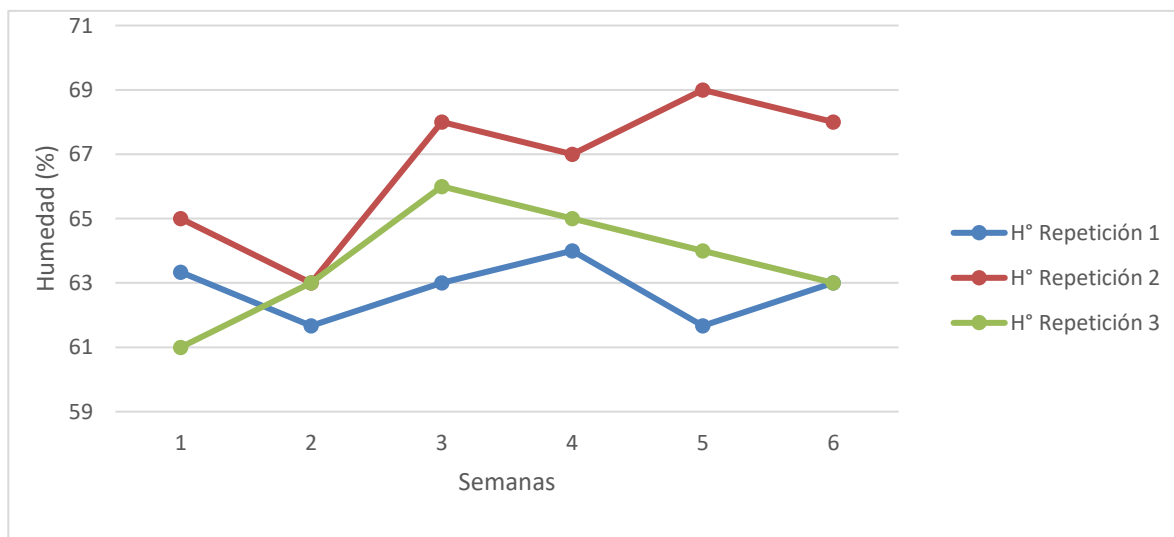
Según los resultados que se muestran en la figura 8, las fluctuaciones de pH en las 3 almacigueras se mantuvieron en un rango neutro de entre 6.8 y 7, siendo rangos ideales para la germinación del pimentón.

De acuerdo a Di Favio, *et al.* (s.f.), se adapta bien en un rango de pH entre 5,5 y 7 en su etapa de germinación, siendo ideal un ph netro de entre 6,5 y 7, no tolera bien la salinidad.

El rango de pH varía entre ligeramente acido (6.0) a neutro (7.0), para que el pimentón germine y se desarrolle de forma ideal (Tejerina, 2021).

4.1.4. % Humedad de las almacigueras

Se registro la humedad de cada una de las bandejas 1 vez por semana, desde el inicio hasta finalizar el estudio como se observa a continuación



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 9. % de humedad de las almacigueras

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 9, el % de humedad del sustrato en las tres repeticiones se mantuvo dentro de un rango comprendido entre 61 y 69 %, valores que se consideran óptimos para el proceso de germinación y establecimiento del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.). Se observa una tendencia estable en las tres repeticiones, con ligeras variaciones semanales atribuibles a factores como la evaporación, la transpiración y la frecuencia de riego. Estos niveles de humedad indican que las condiciones del sustrato fueron adecuadas para mantener un equilibrio hídrico favorable, evitando tanto el déficit como el exceso de agua que podrían afectar la aireación y el desarrollo radicular de las plántulas.

De acuerdo a ELFIELD (2018) citado por Tejerina (2021), la humedad relativa óptima para todas las etapas del cultivo de pimentón oscila entre un 60% a 80%.

De acuerdo a Di Favio, *et al.* (s.f.), es fundamental que la humedad oscile entre valores del 50 a 70 %, ya que niveles de humedad superiores o inferiores a los rangos proporcionados podrían generar distintos problemas.

4.2. Porcentaje de germinación

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, utilizando cajas Petri estériles con papel filtro humedecido con agua destilada.

Se colocaron 25 semillas por repetición y se incubaron a una temperatura constante de 25 ± 2 °C, bajo fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad, durante un período de 10 días. La germinación se evaluó mediante observación diaria y conteo de las semillas que presentaron la emergencia del eje radicular mayor a 2 mm, considerándose como plántulas viables. Posteriormente, se calculó el porcentaje de germinación mediante la relación entre el número de semillas germinadas y el total de semillas sembradas, multiplicado por 100.

Tabla 1. Análisis de varianza para % de germinación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.09	1	0.09	0.05	0.83 NS
concentraciones de Rhizobium (B)	8.84	3	2.95	1.54	0.24 NS
variedades*nivel de Rhizobium (AB)	0.08	3	0.03	0.01	1.00 NS
Error	30.59	16	1.91		
Total	39.60	23			

CV = 17.86 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

El análisis de varianza (Tabla 1) evidenció que los factores principales —variedades (A) y concentraciones de Rhizobium (B), así como su interacción (A×B), no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Esto sugiere que la inoculación con Rhizobium no tuvo un efecto estadísticamente relevante sobre la germinación inicial de las semillas de pimentón bajo condiciones controladas. Sin embargo, se observó una tendencia favorable en las concentraciones intermedias del inoculante, que podrían indicar una respuesta fisiológica positiva en etapas tempranas del desarrollo. El coeficiente de variación (CV = 17.86 %) se consideró aceptable dentro de los parámetros de precisión experimental en bioensayos de laboratorio.

Los resultados indican que el tratamiento T5 presentó la mayor tasa de germinación con un 96 % a los 10 días de incubación, mientras que el tratamiento T1 (control sin inoculación) alcanzó solo un 72 %. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Marquina *et al.* (2018), quienes obtuvieron un 97.1 % de germinación en *Capsicum annum* inoculado con *rizobacterias* en cajas Petri, en comparación con 75.5 % en el tratamiento control. Asimismo, Nápoles y Milanés. (2022) demostraron que la inoculación

con cepas de *Rhizobium* promovió una germinación más rápida y uniforme en semillas de café bajo condiciones similares de laboratorio. Estos resultados confirman que el ambiente controlado y la adecuada humedad favorecen la activación enzimática y la elongación del eje radicular, incrementando el potencial germinativo de las semillas tratadas con microorganismos benéficos.

Estos son explicables, entre otras causas por la acción que ejercen las rizobacterias sobre la activación de procesos metabólicos que se llevan a cabo en las semillas, producto de la secreción de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal tales como las giberelinas, las cuales son las encargadas de activar la síntesis de enzimas hidrolíticas que ocurre en el endospermo (Torres, 2015).

De acuerdo a Napoles y Milanés (2022), los Rhizobios incrementa la germinación en distintos tipos de cultivos, como el café, la lechuga, oleíferas y otro tipo de plantas además de mejorar sus características en el cultivo.

4.3. Altura de planta

En la tabla 2, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta en las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 2. Análisis de varianza para altura de planta.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.25	1	0.25	0.59	0.45 NS
concentraciones de <i>Rhizobium</i> (B)	102.01	3	34.00	79.72	<0.0001 **
variedades*nivel de <i>Rhizobium</i> (AB)	0.06	3	0.02	0.04	0.99 NS
Error	6.83	16	0.43		
Total	109.14	23			

CV = 6.38 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboración propia, (2025)

De acuerdo al análisis de varianza en la tabla 2, se pudo determinar que para el factor B (concentraciones de *Rhizobium*), el resultado fue altamente significativo ($P < 0.0001$), mientras que para el factor A (variedades) y la interacción A*B los resultados fueron no significativos ($P > 0.05$). Esto quiere decir que con relación a la variable altura de planta existen diferencias significativas entre los 4 niveles de *Rhizobium* aplicados, pero no

existe diferencia entre las 2 variedades ni la interacción entre variedades y concentraciones de *Rhizobium*.

Por otra parte, de acuerdo al coeficiente de variabilidad obtenido que es de 6,38 % se puede evidenciar un buen manejo de las unidades experimentales, lo que nos indica que los datos son confiables.

Tabla 3. Comparación de medias Duncan para altura de planta (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (o g)	7.74	A
Concentración 1 (5 g)	8.80	B
Concentración 3 (15 g)	11.49	C
Concentración 2 (10 g)	12.91	D

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test de Duncan al 5% de significancia para las diferentes concentraciones de *Rhizobium* (Tabla 3), se observa que la concentración 2 de *Rhizobium* (10 gr) presentó la media más alta en altura de planta, alcanzando 12.91 cm. Le sigue la concentración 3 (15 gr) con una media de 11.49 cm, luego la concentración 1 (5 gr) con 8.80 cm, y finalmente el testigo, que registró la menor media de 7.74 cm. Estos resultados indican que la dosis de 10 gr de inoculante es la más eficiente para promover el crecimiento en altura del cultivo de pimentón en esta etapa de desarrollo.

Asimismo, los datos respaldan la hipótesis alterna, confirmando que la inoculación con *Rhizobium* ejerce un efecto positivo significativo sobre la altura de las plantas. Esto sugiere que la respuesta del pimentón al tratamiento depende de la dosis óptima de inoculante aplicada, siendo 10 gr la cantidad más favorable bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Santillana et al (2005), menciona que se demostró que las cepas de *Rhizobium* utilizadas en su estudio mejoraron el rendimiento de su cultivo, además que verificó que las cepas de *Rhizobium* mejoran la germinación y promueven el crecimiento de las semillas. Al respecto numerosos estudios han demostrado que el uso del *Rhizobium* como bacterias fijadoras del N₂ y como promotoras del crecimiento de plantas no leguminosas a tenido buenos resultados.

De acuerdo a INFOAGRO (s.f.), el pimiento es una planta muy exigente en nitrógeno durante las primeras fases del cultivo, especialmente durante la germinación ayudando en funciones como el crecimiento.

Segun Hungria y Vargas (2000), las plantas dependiendo la especie, tienen un límite en la cantidad de nitrógeno que pueden absorber y usar en función de su capacidad metabólica según su etapa. Al llegar a una dosis moderada, se puede haber alcanzado ese límite, y una dosis más alta no proporcionó un beneficio adicional.

4.4. Longitud de raíz

En la tabla 4, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable longitud de raíz en las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 4. Análisis de varianza para longitud de raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.05	1	0.05	1.14	0.30 NS
concentraciones de Rhizobium (B)	2.45	3	0.82	20.76	<0.0001 **
variedades*nivel de Rhizobium (AB)	0.06	3	0.02	0.52	0.68 NS
Error	0.63	16	0.04		
Total	3.19	23			

CV = 5.18 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

De acuerdo al análisis de varianza en la tabla 4, se pudo determinar que para el factor B (niveles de Rhizobium), el resultado fue altamente significativo ($P < 0.0001$), mientras que para el factor A (variedades) y la interacción A*B los resultados fueron no significativos ($P > 0.05$). Esto quiere decir que con relación a la variable longitud de raíz existen diferencias significativas entre los 4 niveles de Rhizobium aplicados, pero no existe diferencia entre las 2 variedades ni la interacción entre variedades y niveles de Rhizobium.

Por otra parte, de acuerdo al coeficiente de variabilidad obtenido que es de 5,18% podemos evidenciar un buen manejo de las unidades experimentales, lo que nos indica que los datos son confiables.

Tabla 5. Comparación de medias Duncan para longitud de raíz (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (0 g)	3.47	A
Concentración 3 (15 g)	3.69	AB
Concentración 1 (5 g)	3.82	B
Concentración 2 (10 g)	4.34	C

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test Duncan al 5% para concentraciones de *Rhizobium* en la tabla 5, se puede observar que la concentración 2 de *Rhizobium* de 10 gr tuvo la media más alta con una longitud de 4.34 cm, seguido de la concentración 1 de *Rhizobium* de 5 gr con una media de 3.82 cm, después tenemos la concentración 3 de *Rhizobium* de 15 gr que tuvo una longitud de 3.69 cm y por último con la media más baja que fue el testigo con 3.47 cm, siendo la dosis de 10 gr de inoculante la mejor, esto puede deberse a que para el cultivo de pimentón en esta etapa la dosis ideal de *Rhizobium* sea 10 gr ratificando lo visto en la variable altura de planta.

La aplicación de 10 gr de *Rhizobium* promueve un desarrollo radicular más eficiente, optimizando la absorción de nutrientes esenciales. Este comportamiento respalda la hipótesis alterna, evidenciando que la inoculación con *Rhizobium* tiene un efecto positivo sobre el crecimiento vegetal. Además, los resultados se alinean con estudios previos que destacan la capacidad de *Rhizobium* para sintetizar fitohormonas promotoras del crecimiento, tales como ácido indolacético (AIA), giberelinas y citoquininas, contribuyendo a la elongación y proliferación de raíces.

Santillana et al (2005), sostienen que las moléculas promotoras del crecimiento como el ácido indol acético, las giberelinas y las citoquininas producidas por los rizobios, presentes ya sea en la rizósfera o en los tejidos de las plantas estimulan el mayor desarrollo de la raíz y realizan la capacidad de absorción de nutrientes de la raíz en beneficio de la planta no leguminosa.

De acuerdo a Hungria y Vargas (2000), una mayor concentración de *Rhizobium* en la rizosfera puede alterar el microambiente alrededor de las raíces, causando un pequeño

estrés osmótico o alterando la actividad microbiana natural del suelo. Este estrés puede de alguna forma afectar el desarrollo de las raíces.

4.5. Longitud de tallo

En la tabla 6, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable longitud de tallo en las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 6. Análisis de varianza para longitud del tallo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.21	1	0.21	8.42	0.01 *
Concentraciones de <i>Rhizobium</i> (B)	36.80	3	12.27	481.14	<0.0001 **
variedades*nivel de <i>Rhizobium</i> (AB)	1.00	3	0.33	13.04	0.00 *
Error	0.41	16	0.03		
Total	38.42	23			

CV = 2.29 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

El análisis de varianza presentado en la Tabla 6 evidencia que el factor B (concentraciones de *Rhizobium*) ejerció un efecto altamente significativo sobre la variable longitud del tallo ($P < 0.0001$), indicando diferencias estadísticamente robustas entre las cuatro concentraciones evaluadas. En contraste, el factor A (variedades) y la interacción A×B (variedades × concentraciones de *Rhizobium*) mostraron significancia estadística moderada ($0.0001 < P < 0.05$), lo que sugiere que las dos variedades evaluadas difieren en su respuesta al tratamiento y que el efecto del inoculante depende de la variedad considerada. Sin embargo, estas diferencias son menos pronunciadas que las observadas entre las concentraciones del factor B, lo que enfatiza la relevancia predominante de la dosis de inoculante en el crecimiento del tallo.

Adicionalmente, el coeficiente de variación (CV = 2.29%) indica un adecuado control experimental y bajo nivel de error experimental, reflejando alta confiabilidad y consistencia de los datos obtenidos. Estos resultados respaldan la validez del diseño experimental y permiten inferir con confianza la influencia de las concentraciones de *Rhizobium* sobre el desarrollo morfofisiológico del pimentón.

Tabla 7. Comparación de medias Duncan para longitud del tallo (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (0 g)	5.27	A
Concentración 1 (5 g)	6.49	B
Concentración 3 (15 g)	7.61	C
Concentración 2 (10 g)	8.58	D

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Según los resultados obtenidos del Test de Duncan al 5% de significancia para las concentraciones de *Rhizobium* (Tabla 7), se observó que las plantas tratadas con la concentración 2 (10 gr) exhibieron la mayor longitud de tallo, con una media de 8.58 cm. Esta fue seguida por las plantas con la concentración 3 (15 gr), que registraron una media de 7.61 cm, luego la concentración 1 (5 gr) con 6.49 cm, y finalmente el testigo, con la menor longitud media de 5.27 cm.

Estos resultados indican que la concentración de 10 gr de inoculante constituye la dosis óptima para promover la elongación del tallo en el cultivo de pimentón, evidenciando un efecto positivo significativo del inoculante sobre el crecimiento vegetativo. Este comportamiento puede asociarse con la capacidad de *Rhizobium* para sintetizar fitohormonas promotoras del crecimiento, como ácido indolacético, giberelinas y citoquininas, las cuales estimulan la división celular y la elongación tisular, optimizando así el desarrollo morfofisiológico del tallo.

En consecuencia, la aplicación de la dosis óptima de *Rhizobium* no solo mejora la longitud del tallo, sino que también contribuye a un crecimiento más vigoroso y uniforme, lo que es consistente con los principios de bioestimulación microbiana en cultivos hortícolas.

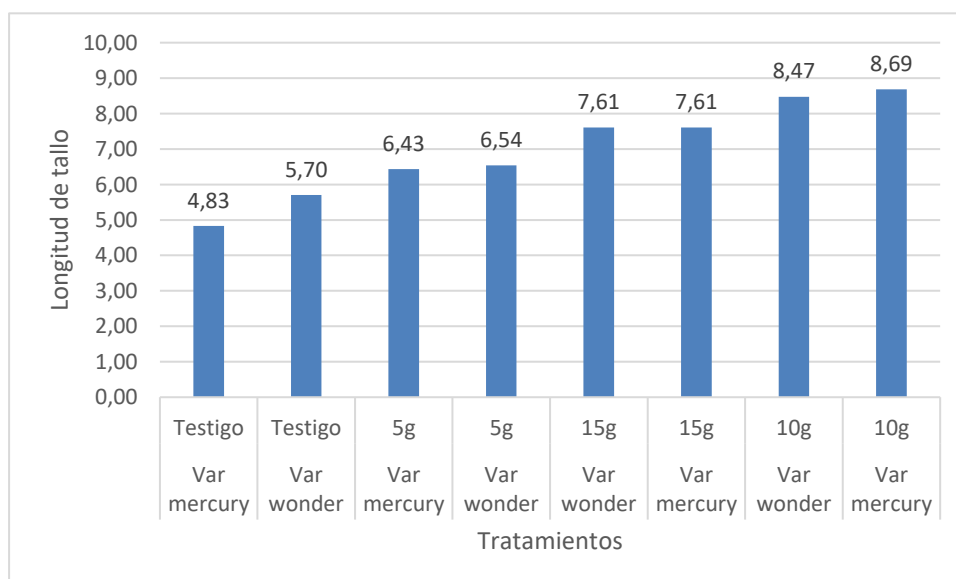
Tabla 8. Comparación de medias Duncan para longitud del tallo (variedades)

Variedades	Medias	Duncan (5%)
Var Mercury	6.89	A
Var Wonder	7.08	B

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en la tabla 8, se puede observar que la variedad Wonder tuvo la longitud de tallo más larga con una media de 7.08 cm,

seguido de la variedad Mercury con una media de 6.89 cm, siendo la variedad Wonder la que presente mejores características.



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 10. Comparación de medias Duncan para longitud del tallo (interacción)

En los resultados del Test de Duncan al 5% para la interacción entre variedades y concentraciones de Rhizobium (Figura 11), se observó que las mejores respuestas se registraron en ambas variedades con la concentración 2 (10 gr) de inoculante, mostrando una longitud de tallo muy similar entre ellas en las concentraciones 2 y 3. La variedad Wonder presentó un desempeño ligeramente superior en la concentración 1 y en el testigo, corroborando los patrones previamente observados y confirmando que la concentración 2 representa la dosis más adecuada para satisfacer los requerimientos fisiológicos del pimentón en esta etapa de desarrollo.

La inoculación con 10 gr de Rhizobium resulta óptima para la elongación del tallo, validando la hipótesis alterna. Las diferencias observadas entre variedades reflejan un efecto genotípico, lo que resalta la importancia de la respuesta varietal al interpretar la interacción con el inoculante. Esto evidencia que la eficiencia del inoculante depende tanto de la dosis aplicada como del potencial genético de la variedad utilizada.

De acuerdo a Figueredo (2021), en su trabajo “comportamiento agronómico de tres variedades del cultivo del pimentón (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero y a campo abierto, Lipari – La Paz” en la comparación entre variedades de

pimentón encontró diferencias significativas en la altura de tallo mostrando que las variedades también influyen en la altura de tallo.

Vázquez (2014) citado por Cabrera *et al* (2017), plantea que *Rhizobium phaseoli* y *Trichoderma* en la peletización de las semillas, protegen las plántulas contra patógenos del suelo y favorecen su crecimiento vigoroso del tallo, siendo el *Rhizobium* beneficioso para el desarrollo del tallo.

4.6. Diámetro de tallo

En la tabla 9, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable diámetro del tallo para las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 9. Análisis de varianza para diámetro del tallo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.00	1	0.00	55.54	<0.0001 **
concentraciones de <i>Rhizobium</i> (B)	0.01	3	0.00	473.06	<0.0001 **
variedades*nivel de <i>Rhizobium</i> (AB)	0.00	3	0.00	11.23	0.0003 **
Error	0.00	16	0.00		
Total	0.01	23			

CV = 4.13 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

De acuerdo con el análisis de varianza presentado en la tabla, se determinó que los tres factores evaluados variedades (A), concentraciones de *Rhizobium* (B) y la interacción entre ambos (AB) mostraron efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) sobre la variable dependiente diámetro de tallo. Esto indica diferencias muy marcadas:

- Entre las dos variedades analizadas.
- Entre las cuatro concentraciones de *Rhizobium* aplicadas.
- En cómo las concentraciones de *Rhizobium* afectan el diámetro de tallo dependiendo de la variedad

Por otra parte, de acuerdo al coeficiente de variabilidad obtenido que es de 4,13% podemos evidenciar un buen manejo de las unidades experimentales, lo que nos indica que los datos son confiables.

Tabla 10. Comparación de medias Duncan para diámetro del tallo (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (0 g)	0.03	A
Concentración 1 (5 g)	0.05	B
Concentración 3 (15 g)	0.06	C
Concentración 2 (10 g)	0.07	D

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test de Duncan al 5% para las concentraciones de *Rhizobium* (Tabla 10), se observó que las plantas inoculadas con la concentración 2 de 10 gr presentaron el mayor diámetro de tallo, con un valor promedio de 0,07 cm. Le siguieron las plantas tratadas con la concentración 3 de 15 gr (0,06 cm) y la concentración 1 de 5 gr (0,05 cm), mientras que el testigo registró la media más baja (0,03 cm). Estos resultados reflejan un efecto positivo de la inoculación sobre el desarrollo estructural de las plántulas, evidenciando un mayor engrosamiento del tallo que favorece la estabilidad mecánica y la conducción eficiente de agua y nutrientes hacia los tejidos aéreos.

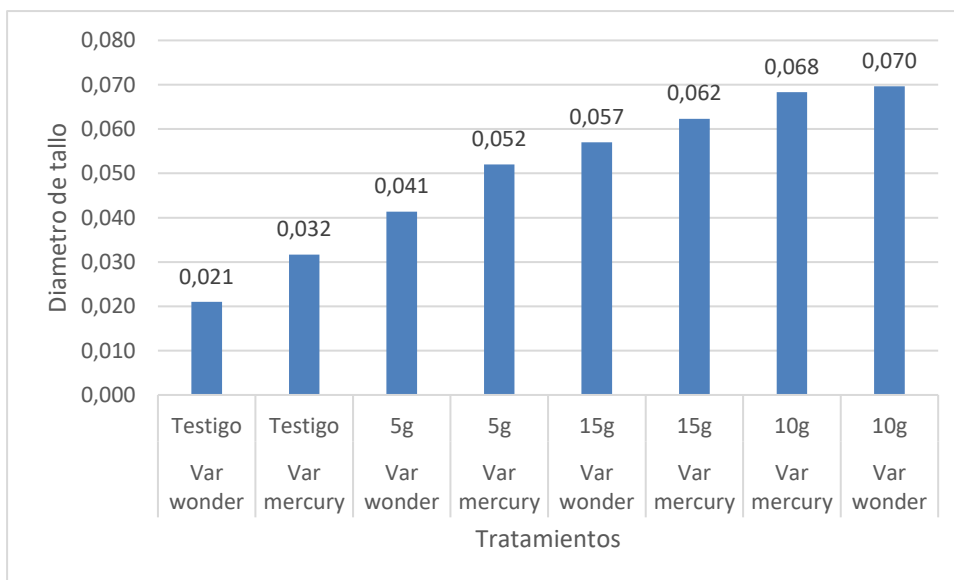
El mejor desempeño observado en la concentración de 10 gr de inoculante sugiere que esta dosis es la más adecuada para promover el crecimiento y vigor del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa de almácigo

Tabla 11. Comparación de medias Duncan para diámetro del tallo (variedades)

Variedades	Medias	Duncan (5%)
Var Wonder	0.047	A
Var Mercury	0.054	B

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test Duncan al 5% para variedades en la tabla 11, se puede observar que la variedad Mercury tuvo el diámetro de tallo más larga con una media de 0.054 cm, seguido de la variedad Wonder con una media de 0.047 cm, siendo la variedad Mercury la mejor.



Fuente: Elaboracion propia, (2025)

Figura 11. Comparación de medias Duncan para diámetro del tallo (interacción)

En los resultados del Test de Duncan al 5% para la interacción entre variedades y concentraciones de *Rhizobium* (Figura 12), se observó que las mejores respuestas en diámetro de tallo se registraron en ambas variedades con la concentración 2 (10 gr) de inoculante, presentando valores muy similares entre ellas. La variedad Mercury mostró un desempeño superior en las concentraciones 1, 3 y en el testigo, corroborando los patrones previamente observados y reafirmando que la concentración 2 constituye la dosis óptima para satisfacer los requerimientos fisiológicos y morfoestructurales del pimentón en esta etapa de desarrollo.

La variable diámetro de tallo respalda la hipótesis alterna, evidenciando que la aplicación de *Rhizobium* mejora significativamente el grosor del tallo, lo que puede incrementar la resistencia mecánica de las plantas, favorecer la estabilidad estructural y optimizar la capacidad de absorción de agua y nutrientes esenciales. Estos resultados destacan la importancia de la inoculación con *Rhizobium* como estrategia de bioestimulación para potenciar el desarrollo vegetativo y la fortaleza agronómica del cultivo de pimentón.

De acuerdo a Plata (2019), los diferentes niveles de *Rhizobium*, determinan el desarrollo del diámetro y la altura del tallo además de otras características de las plantas.

De acuerdo a Laura (2016) citado por Figueredo (2021), Los factores que afectan al crecimiento de las plantas se clasifican en factores internos (genotipo) y externos (clima,

agentes bióticos tipos de suelos y la intervención de la mano del hombre), siendo el factor genotipo el más determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

4.7. Peso fresco

En la tabla 12, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable peso fresco para las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 12 Análisis de varianza para peso fresco

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	3.62	1	3.62	0.22	0.65 NS
concentraciones de <i>Rhizobium</i> (B)	5721.07	3	1907.02	115.16	<0.0001 **
variedades*nivel de <i>Rhizobium</i> (AB)	23.58	3	7.86	0.47	0.7043 NS
Error	264.95	16	16.56		
Total	6013.22	23			

CV = 4.18 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

De acuerdo con el análisis de varianza presentado en la Tabla 12, se determinó que el factor B (niveles de *Rhizobium*) tuvo un efecto altamente significativo sobre la variable peso fresco de las plantas ($P < 0.0001$), mientras que el factor A (variedades) y la interacción A×B no mostraron significancia estadística ($P > 0.05$). Esto indica que los distintos niveles de *Rhizobium* aplicados generan diferencias significativas en el peso fresco del cultivo, mientras que no se evidencian diferencias relevantes entre las variedades evaluadas ni efectos dependientes de la interacción entre variedad y concentración de inoculante.

Adicionalmente, el coeficiente de variación (CV = 4.18%) evidencia un adecuado control de las unidades experimentales, reflejando alta precisión y confiabilidad en los datos obtenidos. Estos resultados sugieren que el incremento en peso fresco del pimentón está principalmente influenciado por la dosis de *Rhizobium*, destacando la importancia de la inoculación microbiana como estrategia agronómica para optimizar el rendimiento vegetativo y la biomasa del cultivo.

Tabla 13. Comparación de medias Duncan para el peso fresco (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (0 g)	74.28	A
Concentración 1 (5 g)	94.89	B
Concentración 3 (15 g)	103.83	C
Concentración 2 (10 g)	116.67	D

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test de Duncan al 5% de significancia para las concentraciones de *Rhizobium* (Tabla 13), se observó que la concentración 2 (10 gr) presentó la mayor media en peso fresco, alcanzando 116.67 gr. Le siguieron la concentración 3 (15 gr) con 103.83 g, la concentración 1 (5 gr) con 94.89 gr, y finalmente el testigo con 74.28 gr. Estos resultados indican que la dosis de 10 gr de inoculante constituye la cantidad óptima para promover la acumulación de biomasa fresca en el cultivo de pimentón durante esta etapa de desarrollo, reafirmando los patrones observados en las variables de crecimiento previamente evaluadas.

El Test de Duncan evidencia que la concentración de 10 gr generó los valores más altos de peso fresco, lo que confirma que la inoculación con *Rhizobium* incrementa significativamente la biomasa inicial del pimentón, validando nuevamente la hipótesis alterna. Este efecto positivo puede atribuirse a la mejora en la absorción de nutrientes esenciales y a la acción bioestimulante del inoculante, la cual promueve la síntesis de fitohormonas como ácido indolacético (AIA), giberelinas y citoquininas, favoreciendo el desarrollo vigoroso del sistema vegetativo y la acumulación eficiente de biomasa en las plantas.

Según Alvarado y Orozco (2007), el peso fresco del pimentón en la etapa de almácigo está influenciado por una variedad de factores, los cuales se pueden clasificar en factores biológicos, ambientales, de manejo agronómico y principalmente genéticos, siendo este último muy importante.

La presencia de microorganismos benéficos como *Rhizobium*, micorrizas o bacterias promotoras del crecimiento que mejoran la absorción de nutrientes influyendo directamente en características como el peso fresco (Alvarado & Orozco, 2007).

4.8. Peso seco

En la tabla 14, se detalla los resultados del análisis de varianza para la variable peso seco para las 2 variedades de pimentón, con las 4 concentraciones de inoculante.

Tabla 14. Análisis de varianza para peso seco

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedades (A)	0.67	1	0.67	0.20	0.63 NS
concentraciones de <i>Rhizobium</i> (B)	1050.83	3	350.28	112.16	<0.0001 **
variedades*nivel de <i>Rhizobium</i> (AB)	4.33	3	1.44	0.50	0.80 NS
Error	48.67	16	3.04		
Total	1104.50	23			

CV = 4.2 %

CV = Coeficiente de variación ** = Altamente significativo * = Significativo NS = No significativo

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

De acuerdo al análisis de varianza en la tabla 14, se pudo determinar que para el factor B (niveles de *Rhizobium*), el resultado fue altamente significativo ($P < 0.0001$), mientras que para el factor A (variedades) y la interacción A*B los resultados fueron no significativos ($P > 0.05$). Esto quiere decir que con relación a la variable peso seco existen diferencias significativas entre los 4 niveles de *Rhizobium* aplicados, pero no existe diferencia entre las 2 variedades ni la interacción entre variedades y concentraciones de *Rhizobium*.

Por otra parte, de acuerdo al coeficiente de variabilidad obtenido que es de 4,2% podemos evidenciar un buen manejo de las unidades experimentales, lo que nos indica que los datos son confiables.

Tabla 15. Comparación de medias Duncan para peso seco (concentraciones de *Rhizobium*)

Concentraciones de <i>Rhizobium</i>	Medias	Duncan (5%)
Testigo (o g)	31.83	A
Concentración 1 (5 g)	40.67	B
Concentración 3 (15 g)	44.50	C
Concentración 2 (10 g)	50.00	D

Fuente: Elaboracion propia, (2025)

En los resultados del Test de Duncan al 5% de significancia para las concentraciones de *Rhizobium* (Tabla 15), se observó que la concentración 2 (10 gr) presentó la mayor media en peso seco, alcanzando 50 gr. Le siguieron la concentración 3 (15 gr) con 44.5 gr, la concentración 1 (5 gr) con 40.67 gr, y finalmente el testigo con 31.83 gr. Estos resultados indican que la dosis de 10 gr de inoculante es la más eficiente para favorecer la acumulación de biomasa seca en el cultivo de pimentón durante esta etapa de desarrollo, corroborando los patrones observados en las variables morfoestructurales previas.

El análisis confirma que la inoculación con 10 gr de *Rhizobium* incrementa significativamente el peso seco de las plantas, validando nuevamente la hipótesis alterna. Este efecto positivo puede atribuirse a la mejora en la absorción de nutrientes esenciales y a la acción bioestimulante del inoculante, que promueve la síntesis de fitohormonas como ácido indolacético (AIA), giberelinas y citoquininas, favoreciendo la acumulación de biomasa y el desarrollo vigoroso del sistema vegetativo.

Según Rodríguez (2020), observo que diferentes niveles de inoculante afectan positivamente en el contenido de peso seco, teniendo en cuenta que las variedades que utilizo como testigos presentaron datos mas bajos.

De acuerdo a Barbaro (2006) citado por Tejerina (2020), se encontraron que las semillas de algunas Solanaceas inoculadas con rizobacter pertenecientes a los géneros *Azobacter* y *Rhizobium* incrementaron significativamente sus características, mientras que *Azospirillum* y *Azobacter* incrementaron el peso seco y contenido de N en el tejido de la planta.

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, los análisis estadísticos realizados y las interpretaciones correspondientes, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La inoculación con diferentes concentraciones de *Rhizobium* sobre las dos variedades de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en la etapa de almácigo tuvo un efecto positivo significativo en todas las variables evaluadas, incluyendo porcentaje de germinación, altura de planta, longitud de tallo, longitud de raíz, diámetro de tallo, peso fresco y peso seco, en comparación con los testigos, los cuales presentaron los valores más bajos.
- El análisis de las concentraciones de *Rhizobium* evidenció que todas las dosis aplicadas influyeron positivamente en el desarrollo agronómico del pimentón; sin embargo, la concentración de 10 gr de inoculante (concentración 2) fue la más eficiente, mostrando los mejores valores en todas las variables evaluadas, seguida por la concentración de 15 gr (concentración 3) y luego la de 5 gr (concentración 1). Esto indica que la dosis de 10 gr representa la cantidad óptima de inoculante para estimular el crecimiento inicial del cultivo en esta etapa.
- La comparación entre las dos variedades evaluadas, Wonder y Mercury, mostró que no existen diferencias marcadas en la mayoría de las características vegetativas. Si bien la variedad Wonder presentó mayor longitud de tallo y Mercury mostró mayor diámetro de tallo, estas diferencias fueron mínimas, lo que indica que la variedad no es un factor determinante en el desarrollo inicial del pimentón bajo las condiciones de este experimento.
- En general, los resultados confirman que la aplicación de *Rhizobium* favorece el crecimiento y desarrollo del pimentón en la etapa de almácigo, destacando la importancia de seleccionar la concentración adecuada del inoculante. La concentración de 10 gr se identifica como la más recomendable para maximizar las características morfofisiológicas del cultivo en esta fase inicial, asegurando un mejor establecimiento de las plántulas y mayor potencial de desarrollo futuro.

6. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar evaluaciones futuras que abarque todas las etapas del cultivo hasta la cosecha, con el fin de obtener información completa sobre los parámetros productivos del pimentón (*Capsicum annuum* L.). Esto permitiría identificar si la aplicación de *Rhizobium* genera beneficios adicionales en otras etapas del cultivo, más allá de los efectos positivos observados en la etapa de almácigo sobre variables como altura de planta, longitud de tallo y raíz, diámetro de tallo, peso fresco y peso seco.
- Se recomienda aplicar el inoculante mediante el riego, de manera periódica, para mantener una población estable de *Rhizobium* en el sustrato. Esto resulta importante debido a que *Rhizobium* no establece una relación hospedante en especies no leguminosas, por lo que la aplicación frecuente puede maximizar sus efectos promotores del crecimiento en pimentón.
- Se sugiere evaluar la inclusión de otros microorganismos promotores del crecimiento, como *Trichoderma* sp. y bacterias del género *Enterobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus mycoides* y *Microbacterium* sp. Esto permitiría analizar sus efectos individuales y combinados con *Rhizobium*, evaluando posibles interacciones sinérgicas que puedan mejorar aún más las características morfofisiológicas del pimentón y optimizar su desarrollo en distintas etapas del cultivo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Almarz, F. (2009). *Tomate como cultivo importante*.

Alvarado, J., & Orozco, X. (2007). *Producción de plántulas de hortalizas en almácigos*.

Arteaga, J. (2007). *Gobierno Municipal de Laja*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.

Asociación Vida Sana. (2022). *Microorganismos del Suelo y Biofertilización*.

Burgos, B. (2017). *Efecto de la Inoculación con (Rhizobium spp) Sobre la Cosecha de Granos del Frijol (Vigna unguiculata)*. Universidad Católica de Puerto Rico, Puerto Rico.

Busquets, T. (11 de Marzo de 2022). *Cultivers.es*. Obtenido de <https://cultivers.es/guia-del-cultivo-del-pimiento/>

Cabrera, Y., & et al. (2017). *Efecto de la Inoculación de Rhizobium Sobre el Crecimiento de Phaseolus vulgaris (Frijol) en Condiciones Semicontroladas*. Cuba.

Casseres E, 1980, Producción de Hortalizas, IICA, Costa Rica, pp. 107-108.

CIAT. (2024). *ciatbo.org*. Obtenido de <https://www.ciatbo.org/productos-detalle.php?producto=13>

Condori, P. (2017). Evaluación del Efecto del Biol Sobre Catorce Accesiones de Papa Nativa (Solanum spp.) en la Estación Experimental Kallutaca. *SciELO*.

Cuadrado, B., Rubio, G., & Santos, W. (2009). *Caracterización de Cepas de Rhizobium y Bradyrhizobiuni (Con Habilidad de Nodulación) Seleccionados de los Cultivos de Fríjol Caupi (Vigna Unguiculata) Como Potenciales Bioinóculos*. Colombia.

Di Favio, A., Loayza , E., & Olivera, F. (s.f.). *Producción y Manejo del Cultivo de Pimentón*. España.

Díaz, A. (2022). *Beneficios Ambientales y Económicos de Rhizobium spp, en Relación Simbiótica con Especies Vegetales en Base a su Capacidad de Fijación de Nitrógeno*. Universidad Santander, Colombia.

- DryGair Energies Ltd. (s.f.). ¿Cuáles son las condiciones ideales para el cultivo del pimiento? *DryGair*.
- Enciclopedia Concepto. (2021). *concepto.de*. Obtenido de <https://concepto.de/microorganismo/>
- Equipo Collegedunia. (4 de Marzo de 2024). *collegedunia.com*. Obtenido de <https://collegedunia.com/exams/Rhizobium-biology-articleid-1072>
- Figueredo, M. (2021). *Comportamiento Agronómico de Tres Variedades del Cultivo del Pimentón (Capsicum annuum L.) Bajo Condiciones de Invernadero y a Campo Abierto, Lipari – La Paz*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.
- Florensa, S. (2014). *Información Sobre Hortalizas Híbridas que Produce y Comercializa. Hibridación*.
- Fornaris, G. (2005). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento, Características de la Planta*. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.
- Garcia, M. (2008). *Efectos de los Diferentes Sistemas de Cultivo (Producción Integrada, Cultivo Ecológico y Cultivo Sin Suelo) Sobre la Composición Antioxidante del Pimiento Fresco Cultivado Bajo Invernadero*. Repositorio UPCT, España.
- Gobierno de Mexico. (29 de Septiembre de 2021). *www.gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/documentos/infografia-etapas-de-germinacion-y-crecimiento-de-arboles?state=published>
- González, H., & Fuentes, N. (2017). Mecanismo de Acción de Cinco Microorganismos Promotores de Crecimiento Vegetal. *SciELO*.
- Huerto en casa. (s.f.). *depositphotos.com*. Recuperado el 10 de 09 de 2024, de <https://depositphotos.com/es/photos/peque%C3%B1as-plantas-de-semillero-de-pimientos.html>
- Hungria, M., & Vargas, M. (2000). Environmental factors affecting N₂ fixation in legumes. *Plant and Soil*.

INFOAGRO. (s.f.). *infoagro.com*. Obtenido de <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>

JICA. (s.f.). Pimentón.

Mamani, J. (2016). *Evaluación Del Comportamiento Agronomico De Dos Variedades De Pimenton (Capsicum annuum L.) En Tres Densidades De Siembra Bajo Ambientes Atemperados En El E.S.F.M. "Warisata" - La Paz*. La Paz, Bolivia.

Napoles, S., & Milanes, S. (2022). Los rizobios incrementan la germinación de las semillas de Coffea arabica y Coffea canephora. Segunda evidencia en Cuba. *redalyc*.

Ochoa, R. (2009). *Diseños Experimentales*. La Paz, Bolivia.

Petossed – COMPAÑIA DE SEMILLAS HIBRIDAS, 1992. El Pimentón, Tróptico: Guía de manejo de cultivo. Santiago de Chile.

Pita, J., & Garcia, F. (s.f.). *Germinacion de Semillas*. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

Plata, P. (2019). *Efecto de la Inoculación de Tres Niveles de Rhizobium en Semillas de Pimiento Morrón (Capsicum annuum) en la Estación Experimental de Cota Cota*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.

Reche, J. (2010). *Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero*. Editorial Signatura Ediciones de Andalucía.

Rodriguez, P. (2020). *Efecto de la Inoculación de Rhizobium en el Cultivo de Locoto (Capsicum pubescens) Durante la Etapa de Almacigado en el Centro Experimental de Cota Cota*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.

Rojas, F. (2014). *Clasificación FitogeneticaMolecular*. La Paz, Bolivia.

Sabe la Tierra. (2021). ¿Como se hace un almácigo y cuando conviene? *El Diario de ediciones primera edicion*.

SAGP. (s.f.). *Manual de Buenas Prácticas de Almácigos en el Cultivo de Pimiento para Pimentón*. Argentina: Ministerio de Economía.

- Sandoval, A. (2023). *Implementacion de un Proceso Productivo Sostenible de Humus de Lombriz en el Centro Experimental de Cota Cota*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.
- Santillana, N., Arellano, C., & Zuñiga, D. (2005). Capacidad del Rhizobium de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *SciELO Peru*.
- SENAMHI. (2024). *senamhi.gob.bo*. Obtenido de <https://senamhi.gob.bo/index.php/inicio>
- Tejerina, B. (2021). *Efecto de la Aplicación de Diferentes Concentraciones de Inoculante Microbiano N2 en Semillas de Tomate (Lycopersicum esculentum L.) en el Centro Experimental de Cota Cota*. Repositorio UMSA, La Paz, Bolivia.
- Torres, F. (2015). *Respuestas Del Pimiento Morrón (Capsicum Annum L.) A La Biofertilizacion, Fertilización Tradicional y Acolchado Plástico En Condiciones De Casa Sombra*. Universidad Autonoma Agraria, Mexico.
- UDAPE. (2016). *udape.gob.bo*. Obtenido de http://www.udape.gpb.bo/portales_html/atlasUdape1234567/atlas20_2016/html/atlas20.html#
- Valverde, C. (2015). *Inoculantes Microbianos*.
- Vicente, F., Condés, L., & Gutierrez, A. (s.f.). *Cultivo del Pimiento en Invernadero*.

8. ANEXOS

Anexo 1. Siembra y distribución



Anexo 2. Control de las características del pimentón



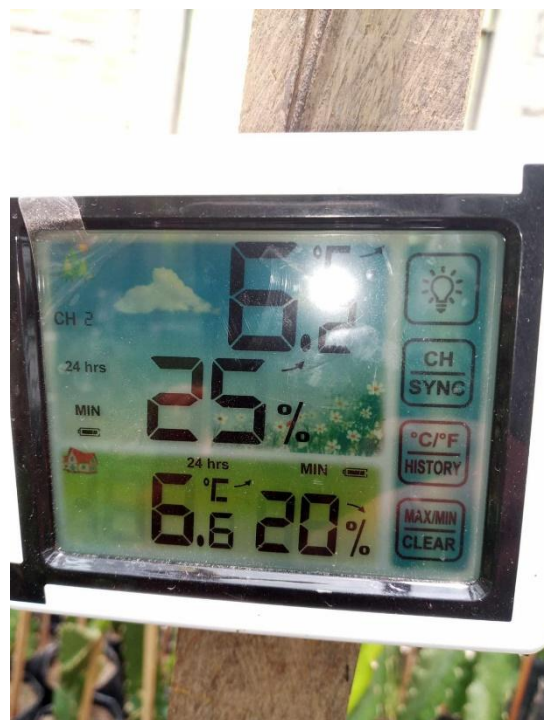
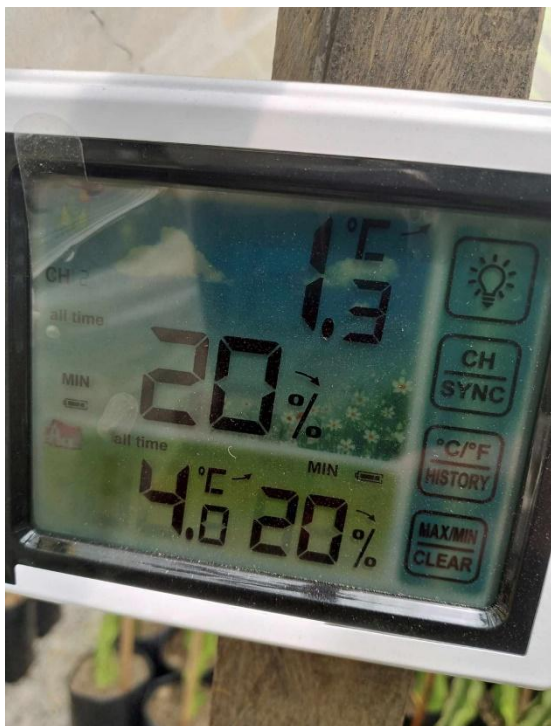
Anexo 3. Incorporación del Inoculante N2



Anexo 4. Distribución de las variedades del pimentón



Anexo 5. Control de características de la carpa



Anexo 6. Control de características post cosecha



Anexo 7. Datos obtenidos durante el trabajo de campo

DATOS									
Repeticiones	variedades	niveles de Rhizobium	Tratamientos	altura de planta (cm)	Peso Fresco (gr)	peso seco (gr)	largo de tallo (cm)	largo de raiz (cm)	diametro del tallo (cm)
R1	Var wonder	Testigo	T1	7,55	70,00	30	5,5	3,34	0,02
R1	Var mercury	Testigo	T2	7,75	74,67	32	4,7	3,6	0,03
R1	Var wonder	5g	T3	8,4	93,33	40	6,3	3,82	0,04
R1	Var mercury	5g	T4	8,6	91,00	39	6,4	3,48	0,05
R1	Var wonder	10g	T5	12,6	116,67	50	8,4	4,24	0,069
R1	Var mercury	10g	T6	12,35	114,33	49	8,5	4,38	0,065
R1	Var wonder	15g	T7	12	109,67	47	7,66	3,68	0,055
R1	Var mercury	15g	T8	12,3	107,33	46	7,4	3,72	0,06
R2	Var wonder	Testigo	T1	7,8	74,67	32	5,76	3,36	0,022
R2	Var mercury	Testigo	T2	7,55	77,00	33	5	3,56	0,032
R2	Var wonder	5g	T3	8,75	88,67	38	6,72	3,86	0,042
R2	Var mercury	5g	T4	8,55	98,00	42	6,6	4,44	0,054
R2	Var wonder	10g	T5	12,45	112,00	48	8,46	4,24	0,07
R2	Var mercury	10g	T6	12,45	121,33	52	8,86	4,44	0,072
R2	Var wonder	15g	T7	10,8	105,00	45	7,56	3,68	0,06
R2	Var mercury	15g	T8	10,15	102,67	44	7,65	3,72	0,065
R3	Var wonder	Testigo	T1	8	77,00	33	5,84	3,36	0,021
R3	Var mercury	Testigo	T2	7,8	72,33	31	4,8	3,6	0,033
R3	Var wonder	5g	T3	9,5	98,00	42	6,6	3,82	0,042
R3	Var mercury	5g	T4	9	100,33	43	6,3	3,48	0,052
R3	Var wonder	10g	T5	14	119,00	51	8,56	4,36	0,07
R3	Var mercury	10g	T6	13,6	116,67	50	8,7	4,38	0,068
R3	Var wonder	15g	T7	12,2	100,33	43	7,6	3,68	0,056
R3	Var mercury	15g	T8	11,5	98,00	42	7,78	3,68	0,062