



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola**

**Evaluación comparativa de cinco sustratos para optimizar el enraizamiento
de brotes de tubérculos (*Solanum tuberosum* L.) y producción de
tuberculillos; Fundo La Banda Huasacache-Arequipa- Perú 2025**

Tesis presentada por:

Postigo Huallpa, Henry Junior

ORCID: 0009-0004-5559-9679

para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Agrícola

Asesor:

Mg. Coloma Dongo, Froy Engelbert

ORCID: 0000-0003-1308-9860

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AGRONOMICA Y AGRICOLA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 06 de Enero del 2026

Dictamen: 014543-C-EPIAyA-2026

Visto el borrador del expediente 014543, presentado por:

2020246071 - POSTIGO HUALLPA HENRY JUNIOR

Titulado:

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CINCO SUSTRATOS PARA OPTIMIZAR EL ENRAIZAMIENTO
DE BROTES DE TUBÉRCULOS (SOLANUM TUBEROSUM L.) Y PRODUCCIÓN DE TUBERCULILLOS;
FUNDO LA BANDA HUASACACHE-AREQUIPA- PERÚ 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AGRONOMO Y AGRÍCOLA

**30675663 - STRETZ CHAVEZ HUMBERTO JOSE
DICTAMINADOR**



**43717897 - VELASQUEZ BARBACHAN JUAN PABLO
DICTAMINADOR**

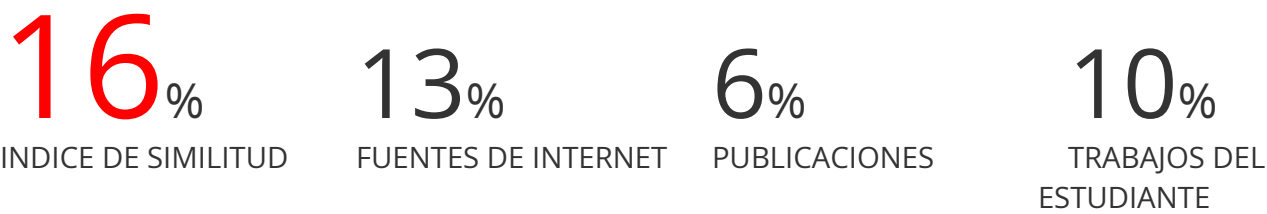


**41785189 - RAMIREZ CHOQUEHUANCA SHIRLEY GABRIELA
DICTAMINADOR**



Evaluación comparativa de cinco sustratos para optimizar el enraizamiento de brotes de tubérculos (*Solanum tuberosum* L.) y producción de tuberculillos; Fundo La Banda Huasacache-Arequipa- Perú 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	6%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unheval.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.inia.gob.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	revista.ibp.co.cu	1%
	Fuente de Internet	
5	www.terralatinoamericana.org.mx	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.puce.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
7	docplayer.es	1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios, fuente de vida y esperanza, ya nuestra Madre María, que intercede por nosotros con amor infinito cada día. Gracias por ser nuestra guía y refugio en momentos de incertidumbre, por fortalecer nuestro espíritu y ayudarnos a avanzar a pesar de las dificultades y adversidades que se presentan en el camino. Su luz ilumina nuestras decisiones y nos brinda la paz necesaria para seguir adelante con fe y perseverancia.

*Dedicado con profundo cariño y gratitud a un gran ingeniero, **Inq. José Miquel Torres Lizárraga.** cuya guía y ejemplo dejaron una huella imborrable en mi camino. Gracias por todo lo que aportaste a mi vida y formación; Envío un abrazo al cielo en tu memoria.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Católica de Santa María por brindarme la oportunidad de realizar mi formación profesional.

Extiendo mi sincero reconocimiento a mi asesor, Ing. Froy Coloma, por su guía y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, expreso mi agradecimiento a los miembros del jurado, Ing. Humberto Stretz, Ing. Juan Pablo Velásquez e Ing. Shirley Ramírez, por sus valiosas observaciones y aportes.

A mis padres, Henrri Postigo y Claudiana Huallpa, les dedico una mención especial por su apoyo incondicional, esfuerzo y amor que me han impulsado a alcanzar mis metas.

De igual manera, a mi amigo Ricardo Alonso Valdivia Laos, por su ayuda constante, consejos y amistad, que fueron un apoyo invaluable para culminar esta etapa.

Finalmente, agradezco a la Ing. Natalie Aguilar Laura y al Ing. Mariano Diaz, por su colaboración y disposición para brindarme su apoyo en momentos clave de este trabajo.

Cada paso en este proceso ha sido un aprendizaje, y cada desafío superado, una oportunidad para crecer. Mi gratitud es inmensa hacia quienes, con su apoyo, consejos y aliento, hicieron posible que este proyecto se concretara.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Arequipa en el Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María para la evaluación comparativa de cinco sustratos para optimizar el enraizamiento de brotes de tubérculos (*Solanum tuberosum* L.) y producción de tuberculillos. Se inició el 24 de marzo y culminó el 23 de agosto del 2025. El objetivo principal fue evaluar el comportamiento de cinco sustratos en el enraizamiento de brotes de tubérculos de papa y la producción de tuberculillos del Fundo La Banda Huasacache.

Se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA) con cinco tratamientos y tres repeticiones, se utilizaron 900 brotes de *Solanum tuberosum*, para cada tratamiento se dispuso 60 brotes. Los sustratos utilizados fueron compost, humus, piedra pómez, promix y arena de río. Se evaluaron la masa radicular, altura de brotes (cm), parámetros fisiológicos, número de tuberculillos por tratamiento y peso de tuberculillo por tratamiento.

Los resultados mostraron que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. El sustrato de piedra pómez (T3) demostró ser superior estadísticamente, alcanzando la mayor masa radicular con 19.00 g, así como la mayor altura final de planta a los 90 días con 28.30 cm. En la fase productiva, el T3 obtuvo los mejores rendimientos, registrando el mayor peso promedio de tuberculillo con 7.77 g. y la mayor cantidad de tuberculillos por planta con 9.00 unidades. El sustrato Promix (T4) se ubicó en segundo lugar en cuanto a peso y altura, mientras que el compost (T1) y la arena de río (T5) presentaron los valores más bajos en el desarrollo radicular y productivo.

Palabras claves: Tuberculillos, Enraizamiento, Brotes.

ABSTRACT

This research was conducted in the city of Arequipa at the La Banda Huasacache Farm of the Catholic University of Santa María for the comparative evaluation of five substrates to optimize the rooting of potato tuber shoots (*Solanum tuberosum* L.) and the production of tubers. It began on March 24 and concluded on August 23, 2025. The main objective was to evaluate the performance of five substrates on the rooting of potato tuber shoots and the production of tubers at the La Banda Huasacache Farm.

A completely randomized design (CRD) with five treatments and three replicates was used. A total of 900 *Solanum tuberosum* shoots were used, with 60 shoots allocated to each treatment. The substrates used were compost, humus, pumice, Promix, and river sand. Root mass, shoot height (cm), physiological parameters, number of tubers per treatment, and tuber weight per treatment were evaluated.

The results showed highly significant differences among the treatments. The pumice stone substrate (T3) proved to be statistically superior, achieving the greatest root mass (19.00 g) and the greatest final plant height at 90 days (28.30 cm). In the productive phase, T3 obtained the best yields, registering the highest average tuber weight (7.77 g) and the highest number of tubers per plant (9.00 units). The Promix substrate (T4) ranked second in terms of weight and height, while compost (T1) and river sand (T5) showed the lowest values for root development and productivity.

Keywords: Tubers, Rooting, Shoots.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. Planteamiento del problema.....	3
1.1 Enunciado del problema	3
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.5 Hipótesis	4
CAPÍTULO II	5
2 Marco Teórico.....	5
2.1. Análisis bibliográfico.....	5
2.1.1 Cultivo de Papa	5
2.1.2 Clasificación Taxonómica.....	5
2.1.3 Distribución y Hábitat.....	6
2.1.4 Morfología de la Papa.....	6
2.1.4.1 Hábito de crecimiento	6
2.1.4.2 Raíces.....	6
2.1.4.3 Tallos.....	7
2.1.4.4 Estolones	7
2.1.4.5 Tubérculos.....	7
2.1.4.6 Brotes	8
2.1.4.7 Hojas	8
2.1.4.8 Inflorescencia.....	8
2.1.4.9 Fruto, Semilla.....	8
2.1.5 Desarrollo del Cultivo.....	9
2.1.6 Requerimientos Edafoclimáticos	9
2.1.7 Etapas Fenológicas.....	10
2.1.8 Variedad Única.....	12

2.1.9	Plagas y Enfermedades	12
2.1.9.1	Plagas	12
2.1.9.2	Enfermedades.....	12
2.2.	Brotes de tubérculos	13
2.2.1.	Desbrote y Enraizamiento de los Brotes.....	13
2.2.2.	Etapas de enraizamiento	14
2.2.3.	Desarrollo y Crecimiento de Brotes.....	15
2.2.4.	Siembra de Brotes	16
2.2.5.	Brotes aptos para el trasplante	16
2.2.6.	Regulación hormonal	16
2.3.	Sustratos.....	17
2.3.1.	Compost.....	17
2.3.2.	Humus	18
2.3.3.	Piedra pómez.....	18
2.3.4.	Promix.....	18
2.3.5.	Arena de río.....	19
2.4.	Antecedentes de Investigación	19
2.4.1.	Análisis de tesis.....	19
CAPÍTULO III.....		24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1.	Materiales	24
3.1.1.	Localización del trabajo	24
3.1.2.	Materiales biológicos	25
3.1.3.	Material de laboratorio.....	25
3.1.4.	Material de campo.....	25
3.1.5.	Material de escritorio	26
3.1.6.	Maquinaria	26
3.1.7.	Otros materiales	26
3.2.	Muestreo	27
3.2.1.	Métodos de evaluación	27
3.2.2.	Universo.....	27
3.2.3.	Tamaño de muestra	27
3.2.4.	Unidades experimentales	27

3.3. Recopilación de la información	28
3.3.1. En el campo.....	28
3.3.2. En la biblioteca	28
3.3.3. En el laboratorio.....	28
3.4. Variables de respuesta.....	28
3.4.1. Variables independientes.....	28
3.4.2. Variables dependientes.....	28
3.5. Evaluación estadística.....	29
3.5.1. Diseño experimental	29
3.5.2. Descripción del campo experimental.....	29
3.5.3. Distribución de tratamientos	35
3.5.4. Croquis experimental	35
3.5.5. Evaluaciones	36
CAPÍTULO IV.....	37
4. RESULTADOS	37
4.1. Masa Radicular	37
4.2. Evaluar el comportamiento de los brotes en cada tratamiento.	38
4.2.1. Altura de planta a los 15 DDT	38
4.2.2. Altura de planta a los 30 DDT	40
4.2.3. Altura de planta a los 45 DDT	41
4.2.4. Altura de planta a los 60 DDT	43
4.2.5. Altura de planta a los 75 DDT	44
4.2.6. Altura de Planta a los 90 DDT	46
4.3. Obtención de tuberculillos en cada tratamiento.....	47
4.3.1. Peso promedio de tuberculillos.....	47
4.3.2. Cantidad de tuberculillos	49
CAPÍTULO V	51
5. DISCUSIÓN.....	51
5.1. Masa radicular (gr)	51
5.2. Altura de planta.....	53
5.3. Peso promedio de tuberculillos (g).....	54
5.4. Cantidad de tuberculillos	57
CAPÍTULO VI.....	60
6. CONCLUSIONES	60

CAPÍTULO VII	61
7. RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62



ÍNDICE DE TABLAS

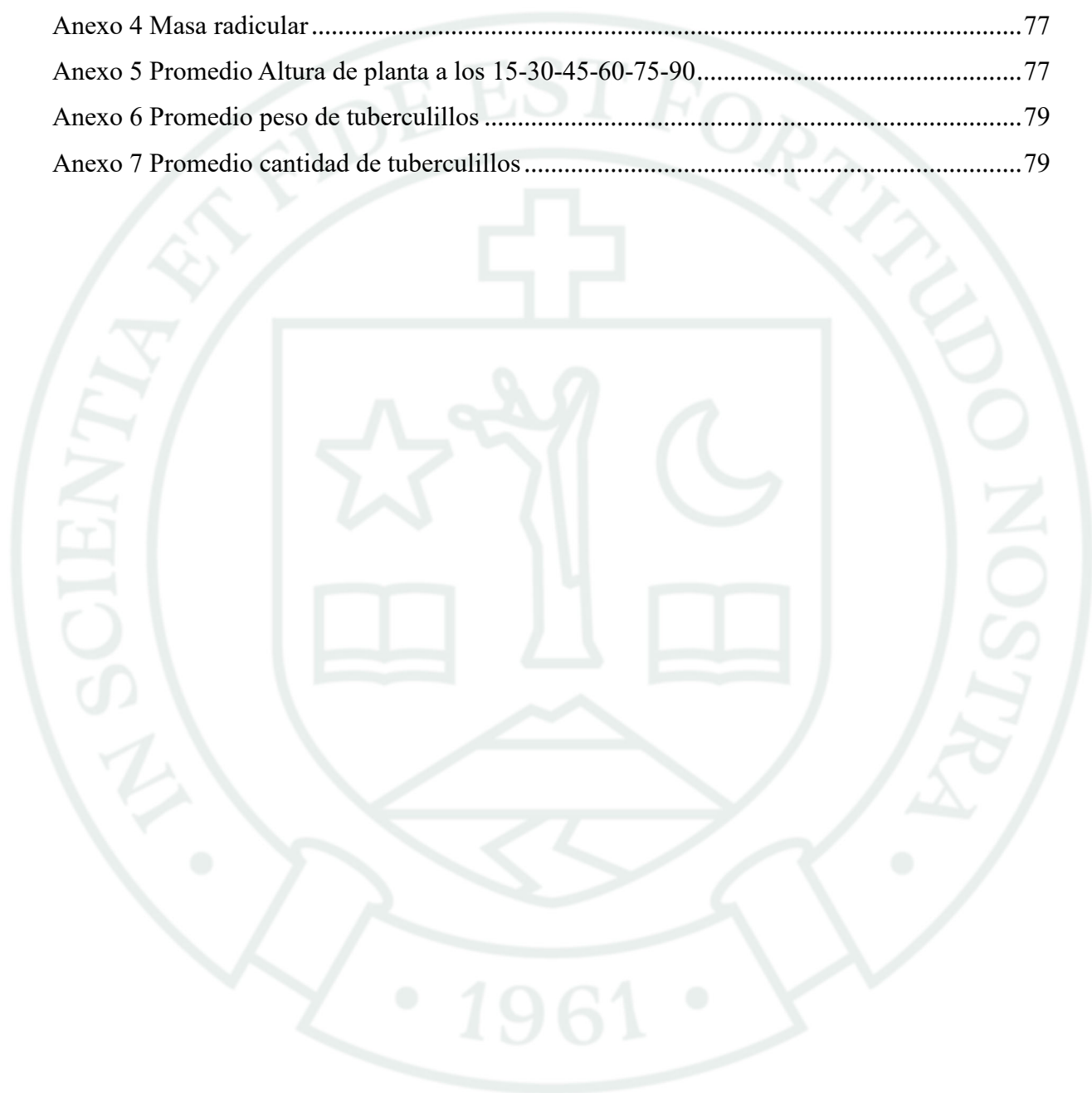
Tabla 1 Análisis de Varianza para masa radicular.	37
Tabla 2 Prueba de Significación de Tukey para masa radicular	37
Tabla 3 Análisis de Varianza para la altura de planta a los 15 días.	38
Tabla 4 Prueba de Significación de Tukey para la altura de planta a los 15 días.	39
Tabla 5 Análisis de varianza para la altura de planta a los 30 días.	40
Tabla 6 Prueba de significación de Tukey para la altura de planta a los 30 días.	40
Tabla 7 Análisis de varianza para la altura de planta a los 45 días.	41
Tabla 8 Prueba de significación de Tukey para la altura a los 45 días.	42
Tabla 9 Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 60 días.	43
Tabla 10 Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 60 días.	43
Tabla 11 Análisis de varianza para la Altura de Planta a los 75 días.	44
Tabla 12 Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 75 días.	45
Tabla 13 Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 90 días.	46
Tabla 14 Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 90 días.	46
Tabla 15 Análisis de Varianza para el Peso Promedio de Tuberculillos.	47
Tabla 16 Prueba de significación de Tukey para el Peso Promedio de Tuberculillos.	48
Tabla 17 Análisis de varianza para la cantidad de tuberculillos.	49
Tabla 18 Prueba de significación de Tukey para la Cantidad de Tuberculillos.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología de la planta de papa.	9
Figura 2 Fases fenológicas del cultivo de papa.	11
Figura 3 Ciclo de enraizamiento de brotes.	15
Figura 4 Brote con raíces abundante.....	15
Figura 5 Ubicación del área experimental en el Fundo “La Banda” Huasacache.	24
Figura 6 Preparación de los sustratos.....	30
Figura 7 Selección de los brotes de papa	31
Figura 8 Preparación de los micro túneles con los sustratos	32
Figura 9 Siembra de los brotes en los microtuneles	33
Figura 10 Riego de los microtuneles	33
Figura 11 Cosecha.....	34
Figura 12 Distribución de tratamientos y sus repeticiones.	35
Figura 13 Croquis experimental.....	35
Figura 14 Masa Radicular	38
Figura 15 Altura de planta a los 15 días.....	39
Figura 16 Altura de plantas (cm) a los 30 días.....	41
Figura 17 Altura de plantas (cm) a los 45 días.....	42
Figura 18 Altura de plantas (cm) a los 60 días.....	44
Figura 19 Altura de plantas (cm) a los 75 días.....	45
Figura 20 Altura de plantas (cm) a los 90 días.....	47
Figura 21 Promedio de Peso de Tuberculillos (g).....	48
Figura 22 Promedio de Cantidad de Tuberculillos.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Análisis de agua Informe de análisis de agua -nutricional. Muestra.....	69
Anexo 2 Análisis de sustratos	70
Anexo 3 Fotografías del trabajo de investigación.....	72
Anexo 4 Masa radicular	77
Anexo 5 Promedio Altura de planta a los 15-30-45-60-75-90.....	77
Anexo 6 Promedio peso de tuberculillos	79
Anexo 7 Promedio cantidad de tuberculillos	79



INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa es fundamental debido a su importancia alimentaria, siendo un alimento básico para millones de personas en el mundo. En Perú la papa es el principal cultivo del país en superficie sembrada y representa el 25% del PBI agropecuario, es el centro de la mayor diversidad de papas del mundo.

La papa es un cultivo competitivo del trigo y arroz en la dieta alimentaria. Es un cultivo clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las zonas de producción. También es importante por su diversidad genética, su versatilidad en la gastronomía y la industria (productos procesados, medicinales, etc.). Es un producto que contiene en 100 gramos; 78 gr. de humedad; 18,5 gr. de almidón y es rico en Potasio (560mg) y vitamina C (20 mg).

La región de Arequipa es un importante productor dentro de la Sierra Sur del país, junto a regiones como Puno y Cuzco, destinando el 80% de su producción al consumo interno y exportando el 20% de su producción a Bolivia. Arequipa se destaca por la diversidad de sus variedades nativas que tiene un valor especial.

Los brotes son cruciales para la producción de tubérculos porque son la clave para iniciar nuevos cultivos, ya que contienen energía y características genéticas de la planta madre. Su importancia radica en que permite iniciar la siembra, asegurar una buena producción, reducción de costos y tiempos. La producción de tuberculillos es fundamental para el uso de tecnología y con los conocimientos adecuados los tubérculos cumplan con los atributos de calidad genética, física, fisiológica y sanitaria para el agricultor.

Los sustratos son esenciales para el enraizamiento de brotes y la producción de tubérculos porque brindan soporte físico, retienen humedad de manera uniforme, asegurando la aireación para las raíces, proveen nutrientes esenciales y contribuyen a la estabilidad de la planta, resultando en un crecimiento más vigoroso y uniforme. La elección adecuada de los sustratos ya sea pura o en mezcla, optimiza el desarrollo radicular y afecta directamente la salud y rendimiento de la planta.

La investigación se realiza debido a que los brotes son importantes para la producción de tubérculos. Esta investigación tiene el propósito de evaluar el comportamiento de los cinco sustratos a utilizarse para el enraizamiento de los brotes y la producción de los tuberculillos.



CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1 Enunciado del problema

¿Cuál de los cinco sustratos seleccionados (compost, humus, piedra pómez, promix y arena de río) proporciona las condiciones óptimas para maximizar la masa radicular, vigor y potencial productivo de los brotes de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. en las condiciones específicas del Fundo La Banda Huasacache?.

1.2 Descripción del problema

El problema principal de la investigación radica en la falta de información y conocimiento sobre la efectividad de diferentes sustratos en el enraizamiento de brotes de papa y su producción de tuberculillos en el Fundo La Banda Huasacache, en Arequipa, Perú.

Los agricultores enfrentan desafíos significativos debido a la variabilidad en la calidad del sustrato y la falta de prácticas agronómicas óptimas. Esto puede llevar a un rendimiento inconsistente, afectando tanto la rentabilidad de los cultivos.

1.3 Justificación

La investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar los procesos de propagación de tubérculos de *Solanum tuberosum* L., revitalizando técnicas de producción de semillas que contribuyan al desarrollo agrícola sostenible. La evaluación comparativa de sustratos representa una estrategia fundamental para mejorar la calidad genética y el rendimiento de los cultivos de papa en la región.

Aspecto Económico: En el Perú existe una limitada disponibilidad de datos estadísticos que comparen la rentabilidad de sustratos alternativos para la producción de semilla pre-básica. Esta falta de información impide que los agricultores locales identifiquen medios de cultivo que maximicen el potencial productivo de los brotes y reduzcan los costos operativos asociados a la adquisición de semillas certificadas.

Aspecto Social: En la Sierra Sur, la papa trasciende su valor comercial para convertirse en la base de la seguridad alimentaria familiar. Sin embargo, la ausencia de protocolos técnicos

validados para el uso de brotes enraizados limita la capacidad del agricultor arequipeño para enfrentar las incertidumbres climáticas. Al estandarizar esta técnica de siembra, se dota a las comunidades rurales de una herramienta de autonomía tecnológica, garantizando cosechas más uniformes y reduciendo la vulnerabilidad de la pequeña agricultura de subsistencia ante la escasez de semilla convencional.

Aspecto Ambiental: La investigación promueve la sostenibilidad mediante el uso de sustratos de bajo impacto que reducen la degradación de suelos agrícolas por extracción. Al estandarizar el manejo en microtúneles, se optimiza la eficiencia hídrica y se previene la lixiviación de excedentes químicos hacia el entorno , garantizando un sistema de propagación de semilla pre-básica

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de cinco sustratos en el enraizamiento de brotes de tubérculos de papa y la producción de tuberculillos del Fundo La Banda Huasacache.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el desarrollo de la masa radicular de los brotes de tubérculos por cada tratamiento comparando el efecto de los sustratos compost, humus, piedra pómez, promix, arena de río
- Determinar la respuesta morfológica mediante la evaluación de la altura de planta en los brotes de cada tratamiento
- Cuantificar la obtención de tuberculillos en términos de número y peso.

1.5 Hipótesis

Dado que los sustratos proporcionan humedad y nutrientes esenciales para el desarrollo de los brotes es probable que la utilización de cinco sustratos genere diferentes respuestas en el enraizamiento de brotes de tubérculos y producción de tuberculillos bajo las condiciones del Fundo La Banda Huasacache.

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1. Análisis bibliográfico

2.1.1 Cultivo de Papa

Según Searles (2025), menciona que la papa es un tubérculo que se domesticó en Sudamérica, específicamente en Bolivia, entre los lagos Titicaca y Poopó hace unos 10,000 a 7,000 años, aunque los primeros vestigios se encontraron en el cañón de Chilca, al sur de Lima en Perú que datan de una antigüedad de hace 10,500 años. Existe controversia y opiniones muy diversas en cuanto al origen de la papa, sin duda se estima que el altiplano peruano-boliviano es el centro de origen de este importante cultivo.

Que su introducción en Europa fue fundamental para forjar el carácter de muchas cocinas por todo el mundo, especialmente la irlandesa, alemana, rusa, italiana, eslovaca y polaca. Su alto consumo estimado en 300 millones de toneladas al año ha generado que este tubérculo sea el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial, luego del trigo, el arroz y el maíz (Nuñez, 2022).

2.1.2 Clasificación Taxonómica

Según Estremadoyro, R.G. (2016), citado por Egúsqiza, R. (2000), la clasificación taxonómica se basa en las características florales de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: *Solanum tuberosum* L.

2.1.3 Distribución y Hábitat

CIP (2025), refiere que la papa es originaria de los Andes del sur de Perú y el noroeste de Bolivia, donde fue domesticada hace miles de años. Hoy en día, su distribución es global, con grandes regiones productoras en América del Norte, Asia, Europa y África.

MIDAGRI (2023), refiere que en nuestro país, el cultivo de papa es producido por 711,313 familias distribuidas en 19 regiones, siendo los departamentos de mayor producción, Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica, Junín, entre otras. La producción del tubérculo se concentra en un 90% en sierra, destacando el grupo de papas nativas.

La papa se siembra desde los 200 metros sobre el nivel del mar, pero las papas nativas (tubérculos de colores) se cultivan por encima de los 3,000 hasta los 4,200 metros sobre el nivel del mar.

2.1.4 Morfología de la Papa

2.1.4.1 Hábito de crecimiento

Cherlinka (2025) manifiesta que la papa es una planta herbácea. Su hábito de crecimiento varía entre las especies y dentro de cada especie. Cuando todas las hojas (o casi todas) se encuentran cerca de la base o en la base de tallos cortos, y están cerca del suelo, se dice que la planta tiene hábito de crecimiento arrosetado o semiarrosetado.

Entre las demás especies se pueden encontrar los siguientes hábitos de crecimiento:

- Rastrero (Tallos que crecen horizontalmente sobre el suelo).
- Decumbente (Tallos que se arrastran pero que levantan el ápice).
- Semierecto y erecto.

2.1.4.2 Raíces

Las plantas que se originan de la reproducción sexual de la planta (Semilla Botánica) presentan una raíz principal delgada, la cual se va modificando en un tipo fibroso. Las plantas que se desarrollan a partir de tubérculos poseen un sistema radicular del tipo fibroso con raíces

laterales que nacen en grupos de tres a partir de los nudos de los tallos que se encuentran por debajo de la superficie (subterráneos) y en los estolones (Martinez & Nicolas, 2023).

2.1.4.3 Tallos

El sistema de tallos de la papa consta de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen sólo un tallo, principal mientras que las provenientes de tubérculos-semilla pueden producir varios tallos. Los tallos laterales son ramas de los tallos principales (Alcon Callejas, Bonifacio Flores, & Taboada Belmonte, 2019).

El tallo es de color verde y algunas veces puede ser de color marrón rojizo o morado. Los tallos pueden ser sólidos o parcialmente tubulares debido a la desintegración de las células de la médula. Las yemas que se forman en el tallo a la altura de las axilas de las hojas pueden desarrollarse para llegar a formar tallos laterales, estolones, inflorescencias y, a veces, tubérculos aéreos.

2.1.4.4 Estolones

Los estolones de la papa son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Los estolones largos son comunes en las papas silvestres y el mejoramiento de la papa tiene como una de las metas obtener estolones cortos. Los estolones pueden formar tubérculos mediante un agrandamiento de su extremo terminal. No todos los estolones llegan a formar tubérculos. Un estolón no cubierto con suelo puede desarrollarse en un tallo vertical con follaje normal (Cultivariable, 2022).

2.1.4.5 Tubérculos

Son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: el basal, o extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo expuesto, que se llama extremo apical o distal. Los ojos se distribuyen sobre la superficie del tubérculo siguiendo una espiral, se concentran hacia el extremo apical y están ubicados en las axilas de hojas escamosas llamadas cejas (Cardenas, Gonzales, & Santos, 2022).

2.1.4.6 Brotes

Según Reategui, Aguirre, Oliva, & Aguirre (2019) refieren que el brote es un tallo que se origina en el “ojo” del tubérculo. El tamaño y apariencia del brote varía según las condiciones en los que se ha almacenado el tubérculo y está constituido por: lenticelas, pelos, yema terminal, yema lateral, nudo y primordios radiculares.

2.1.4.7 Hojas

Las hojas son compuestas, es decir, tienen un raquis central y varios folíolos. Cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal. La parte del raquis debajo del par inferior de folíolos primarios se llama pecíolo. La secuencia regular de estos folíolos primarios puede estar interceptada por la presencia de folíolos secundarios pequeños (Capezio, 2023).

2.1.4.8 Inflorescencia

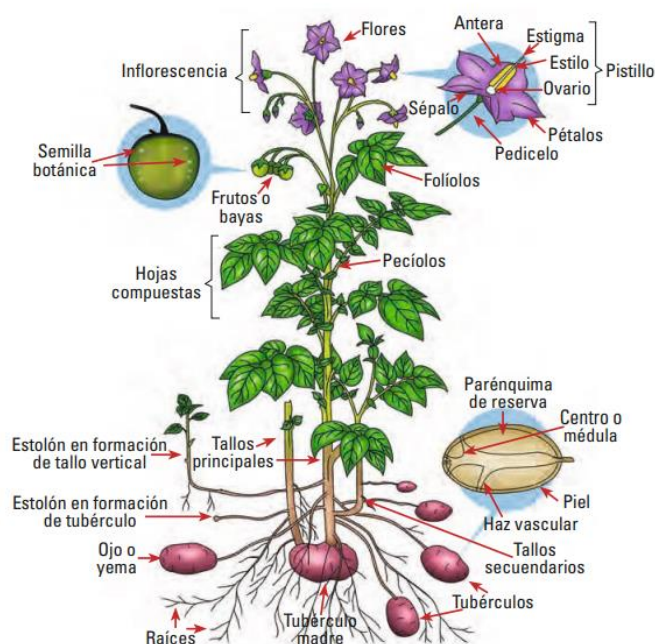
Las flores tienen cinco pétalos y, dependiendo de la variedad, puede presentar diversos colores que van desde el blanco hasta el morado. Son bisexuales (tienen ambos sexos) y poseen las cuatro partes esenciales de una flor: cáliz, corola (formada por los pétalos), estambres y pistilo (AgroEs, 2025).

2.1.4.9 Fruto, Semilla

Es una baya carnosa, redonda u ovoide, de color verde en estado inmadura y amarilla o purpura en estado de madurez, con un tamaño de diámetro que suele variar entre 1.25 a 2.5cm; consta de dos cavidades o lóculos en los que se encuentran las semillas, estas son muy pequeñas y aplanadas; el número de semillas de cada fruto es muy variable y puede ir desde ninguna hasta más de trecientas (abcAgro, 2025).

Figura 1

Morfología de la planta de papa.



Nota. CIP (2023).

2.1.5 Desarrollo del Cultivo

El manejo del cultivo de papa implica preparar el suelo (arar, rastrillar, asegurar buen drenaje), usar semilla certificada y sana, y establecer un sistema de riego adecuado que mantenga la humedad sin encharcar la tierra. También es crucial controlar las plagas y enfermedades, asegurar una nutrición balanceada del cultivo y elegir las condiciones ambientales correctas para la siembra, ya que la papa requiere temperaturas específicas y entre 6 y 8 horas de sol al día (Aecos Pineda & Mamani Huayta, 2020).

2.1.6 Requerimientos Edafoclimáticos

Según Intagri (2020) manifiesta que los requerimientos de clima y suelo para la papa incluyen:

- a. **Textura:** Suelos francos, franco-arenosos, franco-limosos o franco-arcillosos. La textura debe ser liviana para permitir un buen desarrollo de los tubérculos.

- b. **Drenaje y aireación:** Es fundamental que el suelo tenga buen drenaje y esté bien aireado.
- c. **pH:** El rango ideal de pH es de 5.5 a 7.0
- d. **Profundidad:** Se recomienda una profundidad efectiva de más de 50 cm.
- e. **Fertilidad:** Suelos ricos en materia orgánica son beneficiosos.
- f. **Temperatura:** Óptima 17 – 25 °C para la producción de tubérculos. Tiene baja tolerancia a temperaturas inferiores de 10 °C y temperaturas superiores a 30 °C pueden afectar al cultivo.
- g. **Luz solar:** Necesita de 6 horas diarias de luz directa.
- h. **Humedad:** Se requiere entre 600 y 1000 mm de precipitación anual, distribuidos en el ciclo del cultivo.
- i. **Viento:** Es preferible que sean moderados, ya que vientos fuertes dañan a la planta.

2.1.7 Etapas Fenológicas

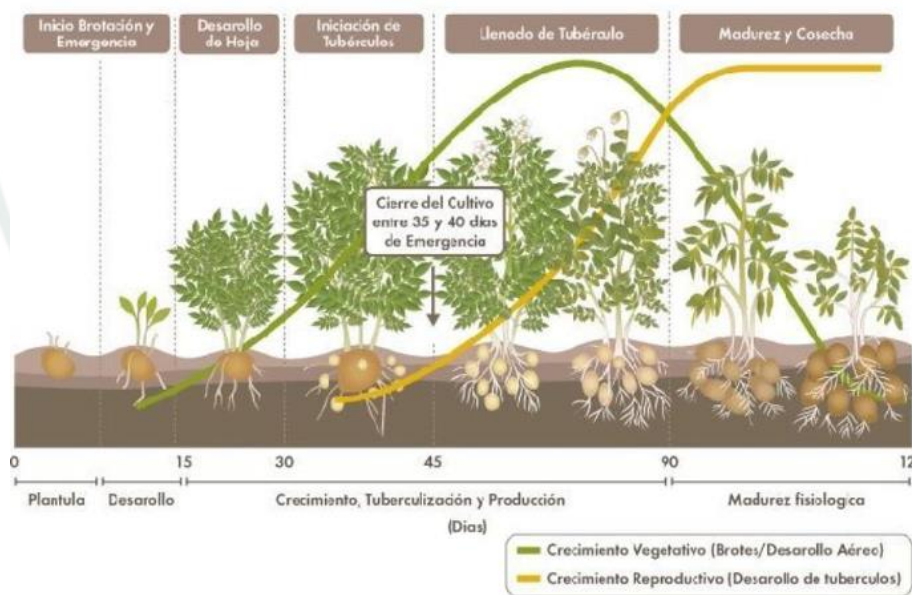
Según InfoAgronomo (2025) manifiesta que el ciclo fenológico del cultivo de papa se puede dividir en 5 fases:

- a. **Fase de brotación y emergencia:** Comienza después de la preparación de suelo y la colocación de la semilla de papa en los surcos; la duración de esta etapa depende de las condiciones de almacenamiento, la variedad utilizada y el estado de brotación de la semilla.
- b. **Fase de desarrollo de hojas:** Comienza después de la emergencia de la plántula, donde comienzan el proceso de fotosíntesis para el desarrollo aéreo de la planta; es decir la formación de tallos, ramas y hojas. Mientras en la parte subterránea se da la expansión de estolones.

- c. **Fase de inicio de tuberización:** La planta sigue su crecimiento vegetativo en su parte aérea, consecuentemente en la parte radicular subterránea se están formando los tubérculos que comienzan su desarrollo en la punta de los estolones.
- d. **Fase de llenado de tubérculos:** Coincide con el inicio de la floración donde las células de los tubérculos comienzan a expandirse por la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos; ya en esta etapa los tubérculos absorben la mayor cantidad de nutrientes y carbohidratos disponibles para la planta.
- e. **Fase de maduración y cosecha:** El crecimiento y la tasa fotosintética de la planta disminuyen considerablemente; esta empieza a tornarse de un color amarillento hasta que senescen por completo. El tubérculo madura, forma la piel externa y alcanza el máximo contenido de materia seca para la cosecha.

Figura 2

Fases fenológicas del cultivo de papa.



Nota. Krebs (2020).

2.1.8 Variedad Única

Es una variedad de papa desarrollada por el Centro Internacional de la Papa (CIP); conocida por su piel roja, de pulpa amarilla y textura firme. Es una buena fuente de vitamina C y potasio, y también proporciona cantidades significativas de vitamina B6 y fibra dietética (Mercafresh, 2025).

La variedad única puede cultivarse tanto en tierras bajas como altas, alcanza la madurez rápidamente (tres meses) y tiene capacidad innata para resistir el estrés hídrico y térmico. Su singularidad también la vuelve resistente a varias enfermedades víricas y al hongo del tizón tardío (FAO, 2024).

2.1.9 Plagas y Enfermedades

Según Corteva (2021) manifiesta que los principales plagas y enfermedades.

2.1.9.1 Plagas

- **Gusano trozador (*Agrotis spp.*):** Ataca tallos jóvenes al nivel del suelo, cortándolos y provocando la muerte de las plantas recién emergidas.
- **Polilla de la papa (*Phthorimaea operculella*):** Afecta hojas y tubérculos, dejando galerías y excrementos. Es una plaga tanto de campo como de almacén.
- **Pulgones (*Myzus persicae*):** Succionan la savia de las hojas, causando enrollamiento y amarillamiento. Además, transmiten virus dañinos.
- **Nematodo dorado (*Globodera rostochiensis*):** Parásito del suelo que deforma las raíces y reduce el tamaño de los tubérculos, causando pérdidas significativas en el rendimiento.

2.1.9.2 Enfermedades

- **Tizón tardío (*Phytophthora infestans*):** Es la enfermedad más destructiva. Provoca manchas oscuras en hojas, tallos y tubérculos, especialmente con humedad alta.
- **Tizón temprano (*Alternaria solani*):** Se manifiesta con manchas circulares con anillos concéntricos en las hojas, afectando el follaje y reduciendo la producción.

- **Rizoctoniosis o costra negra (*Rhizoctonia solani*):** Produce costras oscuras en los tubérculos y lesiones en los tallos, dificultando la emergencia de las plantas.
- **Virus del enrollamiento de la hoja (PLRV):** Causa el enrollamiento hacia arriba de las hojas, amarillamiento y baja producción. Es transmitido por pulgones.
- **Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*):** Provoca marchitez repentina de las plantas y exudación blanquecina en tallos cortados.
- **Podredumbre blanda (*Erwinia carotovora*):** Afecta tubérculos en almacenamiento o campo, generando pudrición acuosa con mal olor.

2.2. Brotes de tubérculos

Son el resultado del crecimiento natural de la planta, impulsado por factores como la luz, el calor y la humedad. Estos brotes emergen de los "ojos" o yemas del tubérculo y pueden usarse para la propagación, especialmente en el caso de las papas, donde se siembran tubérculos con brotes para obtener nuevas plantas (INIA, 2010).

Los brotes de tubérculos presentan características distintivas relevantes para su propagación:

- Origen meristemático verificado experimentalmente
- Significativo potencial de diferenciación celular
- Elevada capacidad para generar nuevos individuos mediante propagación vegetativa

2.2.1. Desbrote y Enraizamiento de los Brotes

El desbrotado es manual. La manera de obtener el brote es sencillo, sólo se realiza un giro suave con la yema de los dedos y el brote se desprenderá fácilmente del tubérculo (Ramos Santiago, 2004).

Los brotes se depositan en un recipiente limpio (bandejas o lavatorios plásticos) y se cubren con papel secante, papel servilleta o papel periódico húmedo. Humedecer constantemente para evitar la deshidratación de los brotes.

El enraizado debe realizarse de inmediato. La densidad de enraizado por m² es de 1000 brotes (2,5 x 2,5 x 4 cm). El mejor método para obtener un 99% de prendimiento de los brotes en campo es el enraizamiento en camas.

2.2.2. Etapas de enraizamiento

Según Momediano Cuellar (2023) refiere que consta de 4 etapas secuenciales:

a. Inducción (3-7 días)

- Activación de meristemos radiculares latentes
- Cambios bioquímicos internos preparatorios
- Reorganización celular para la subsecuente diferenciación

b. Iniciación

- Formación definida de primordios radiculares
- Diferenciación específica de células meristemáticas
- Activación coordinada de genes involucrados en el enraizamiento

c. Desarrollo

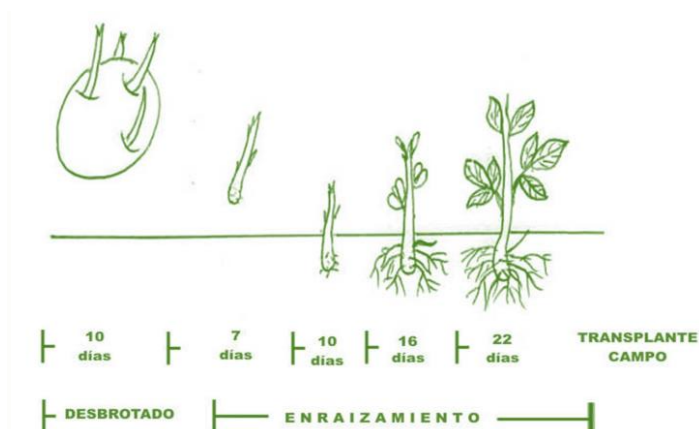
- Elongación progresiva de raíces primarias
- Formación secuencial de raíces secundarias
- Establecimiento estructural del sistema radical

d. Adaptación

- Desarrollo de pelos radiculares funcionales
- Inicio de procesos activos de absorción de nutrientes
- Establecimiento funcional completo del sistema radical

Figura 3

Ciclo de enraizamiento de brotes.



Nota. Ramos, Z. (2004).

2.2.3. Desarrollo y Crecimiento de Brotes

Los brotes para enraizar sólo requieren de tierra y humedad. En un promedio de 20 días, los brotes crecerán formando hojas, ramas y raíces quedando en condiciones para el trasplante. Para que los brotes aceleren su desarrollo y Produzcan plantas vigorosas es necesario aplicar fertilizantes nitrogenados al voleo a razón de 1 kg/80 m² de camas de enraizamiento, cuando las plantas estén desarrollando raíces y estén formando hojas (Colnago, et al., 2023).

Figura 4

Brote con raíces abundante.



Nota. Ramos, Z. (2004).

2.2.4. Siembra de Brotes

Los brotes están aptos para el trasplante a campo definitivo aproximadamente entre los 16 a 26 días como máximo, a partir de esta edad las plantas comienzan a envejecer rápidamente (especialmente las variedades precoces) (Ccanto Quiñonez, 2019).

2.2.5. Brotes aptos para el trasplante

Las variedades precoces y semi precoces generalmente presentan estolones y en muchos casos tuberculillos. Un día antes del trasplante, humedecer el suelo de las camas. Para el transporte de los brotes a lugares distantes es necesario contar con jabas de madera.

2.2.6. Regulación hormonal

Es un proceso complejo controlado por el equilibrio dinámico entre hormonas que promueven y las que inhiben el crecimiento (Gomez, Garay, Oviedo, & Zarza, 2023).

Los principales reguladores identificados son:

Auxinas

- Función principal: Inducción específica de formación radical
- Mecanismo de acción: Activación selectiva de genes involucrados en la diferenciación celular
- Concentración óptima documentada: 500-1000 ppm de ácido indolbutírico (AIB) concentraciones específicas de AIB incrementan significativamente la masa radicular en *Solanum tuberosum* L., estableciendo una relación dosis-respuesta cuantificable.

Giberelinas

- Función: Regulación del crecimiento longitudinal y elongación radical.
- Mecanismo bioquímico: Estimulación controlada de la división celular. Las giberelinas modulan la expresión de genes específicos relacionados con el desarrollo radical, afectando directamente la arquitectura del sistema radicular.

2.3. Sustratos

Son materiales sólidos distintos del suelo que tienen la función de sustituirlo y permitir el anclaje y crecimiento adecuado del sistema radicular de las plantas.

Teniendo en cuenta que el suelo es un factor de producción esencial en la agricultura, al actuar como soporte físico y proporcionar los nutrientes, el aire y el agua que precisan las plantas, las características físico, químicas y biológicas de los sustratos resultan importantes.

Los tipos de sustratos se pueden clasificar según el origen de los materiales que los constituyen. Tenemos sustratos inorgánicos o minerales, y sustratos orgánicos a partir de materia orgánica. Estos últimos mejoran las propiedades físico y químicas del suelo, tales como la capacidad de retención del agua, la porosidad, disminución del peso húmedo y la capacidad del intercambio catiónico (Sembralia, 2021).

Sus componentes orgánicos deben ser estables, respecto a su descomposición, para eliminar, por ejemplo, fijaciones de nitrógeno que reduzcan la disponibilidad de este nutriente para las plantas (Bioberg, 2025).

2.3.1. Compost

Según CSR Laboratorio (2025) refiere que es un abono orgánico natural que se obtiene a través de la descomposición controlada de materia orgánica, como restos de alimentos y de jardín, mediante la acción de microorganismos y animales como bacterias, hongos y lombrices.

Características Físico-químicas:

- Contenido orgánico: 65-75%
- Relación C/N: 15-20
- pH: 6.5-7.2
- Capacidad de retención de nutrientes: >80%
- Composición: Rica en materia orgánica estabilizada
- Alta capacidad de intercambio catiónico documentada.

2.3.2. Humus

Es una sustancia orgánica compleja y oscura que se forma en la capa superior del suelo a partir de la descomposición de restos vegetales y animales por microorganismos. Es un componente vital de los suelos fértiles y se caracteriza por su color negruzco y su alta estabilidad, debido al alto grado de descomposición de sus componentes orgánicos (German Technology, 2025).

Características Físico-químicas:

- Origen: Descomposición avanzada de materia orgánica
- pH: 6.8-7.3 (rango óptimo para absorción de nutrientes)
- Capacidad de retención hídrica: Aproximadamente 90%
- Textura: Fina y estructuralmente estable

2.3.3. Piedra pómez

Según Compo (2025) Es una excelente enmienda del suelo para usar en su jardín para la regulación de la humedad y la aireación. La piedra pómez es un producto de roca volcánica extraída. Se crea cuando un volcán entra en erupción violentamente, haciendo que el magma sea espumoso.

Características Físico-químicas:

- Origen geológico: Material volcánico poroso
- Porosidad cuantificada: 70-80%
- Densidad aparente: Significativamente baja
- Coloración: Clara a blanquecina
- Propiedades hídricas: Excelente balance entre retención y drenaje

2.3.4. Promix

Esta tierra para macetas de alta calidad a base de turba ofrece los mejores resultados gracias a las micorrizas, que fortalecen las raíces y dan lugar a plantas más sanas, grandes y productivas (Bloodnick, 2020).

Características Físico-químicas:

- Composición: Mezcla profesional de turba de musgo Sphagnum (80-85%), perlita, vermiculita, agentes humectantes y cal dolomítica
- Porosidad: Alta (85-90%)
- Capacidad de retención hídrica: 150-200% de su peso seco
- Textura: Media a fina, con estructura estable
- pH: 5.5-6.2 (ligeramente ácido a neutro)
- CIC: 100-120 meq/100g • CE: 0.75-1.5 mmhos/cm (conductividad optimizada para desarrollo inicial)

2.3.5. Arena de río

Mejora el drenaje, la aireación y la estructura del suelo, y se usa para semilleros, esquejes o mezclada con otros sustratos como tierra, turba o coco. Es ideal para cultivos que necesitan buena oxigenación, como hortalizas, flores y cactus, ya que su textura evita la compactación y no contiene sales que puedan dañar las plantas (Sacosa, 2023).

Características Físico-químicas:

- Granulometría: Partículas finas a medianas uniformemente distribuidas
- Coloración: Marrón claro a grisáceo
- Propiedades hídricas: Excelente drenaje y moderada retención
- Distribución granulométrica: Uniforme y homogénea

2.4. Antecedentes de Investigación

2.4.1. Análisis de tesis

- Valdez Aguilar et al. (2021), tuvieron como objetivo de su investigación determinar el efecto del sistema de aeroponía en la producción de mini tubérculos de papa, comparando con la producción del contenedor en suelo o en un sustrato a base de polvo de coco. En el sistema aeropónico se presentó una producción de mini tubérculos $4.4 \times$ superior al obtenido por plantas en suelo, mientras que las plantas en polvo de coco superaron también a las crecidas en suelo en 40%. La mayor producción de mini tubérculos en aeroponía estuvo asociado con una mayor producción de estolones, ya que estos fueron $2.4 \times$ mayor al producido por plantas en suelo. En aeroponía, el 96.6% de los mini tubérculos pesaron menos de 50 g y

solo el 3.4% fue mayor de 50 g; en contraste, el 19.8 y 24.3% de los mini tubérculos fueron mayores de 51 g en plantas crecidas en polvo de coco o en suelo, respectivamente. En general, el crecimiento vegetativo de las plantas en aeroponía fue mayor que el obtenido en polvo de coco y suelo.

- Hennouni, y otros (2016), tuvieron que determinar el mejor sustrato para los cultivos y obtener minitubérculos de alta calidad, se inocularon vitroplantas de papa de la variedad Spunta en medio MS (Murashige y Scoog) y posteriormente se trasplantaron a cuatro medios de cultivo: T1 (sustrato de referencia) compuesto de tierra vegetal, turba y orujo de uva; el segundo sustrato, T2 (compuesto 100% de turba); el tercero, T3 (compuesto de turba y suelo franco arenoso) y el cuarto, T4 (compuesto de turba puzolánica). Se midieron los parámetros de crecimiento (longitud del tallo, diámetro del collar y número de nudos) y los resultados (número, diámetro y peso de los minitubérculos). Los resultados demostraron en la etapa de madurez, las plantas T2 (100% turba) presentan el mejor rendimiento de crecimiento (mayor longitud del tallo, más nudos y mayor diámetro del collar). En cuanto a los parámetros de rendimiento, las plántulas trasplantadas al sustrato T4 presentaron un mayor número de minitubérculos en comparación con los otros sustratos. Los minitubérculos de las plantas del sustrato T3 presentaron el mejor calibre.
- Gomes Corso & Ferraz Almeida (2024), en la investigación evaluaron las combinaciones de sustratos para la producción de minitubérculos de papa. Se realizó un experimento con combinaciones de sustratos a base de turba de esfagno, fibra de coco, cascarilla de arroz y vermiculita expandida [TFCV]; y turba de esfagno y vermiculita expandida [TV], en diferentes proporciones (100%; 75%; 50%; 25%), con cinco réplicas. Los resultados mostraron que la aplicación aislada de TV presentó la mayor producción de masa fresca de tubérculos (93.0 g) y masa fresca (0.28 g) y seca de raíces (0.17 g). A los 40 DDS, la producción de tubérculos se correlacionó altamente con la parte radicular ($r: 0.77$). Sin embargo, después de los 70 DDS, la producción de tubérculos se asoció con el desarrollo de brotes ($r: 0.66$). Si es necesario mezclar sustratos, se recomienda mezclar TFCV 50% + TV 50%. La adición de fibra de coco y cascarilla de arroz aumenta la disponibilidad de

nutrientes en el sustrato, lo que tiene un efecto positivo en el desarrollo aéreo de las plantas.

- Buckseth, y otros (2023), en su investigación tuvieron que analizar el rendimiento de dos variedades de papa (K. Jyoti, K. Himalini) derivadas de cuatro fuentes vegetales (esquejes de tallo, plantas in vitro, esquejes con raíces apicales y brotes de minitubérculos) cultivadas mediante aeroponía para demostrar su potencial como fuente de semilla de papa. El genotipo (cultivar) y el tipo de material para la siembra (origen de la planta) tuvieron un impacto significativo en el número total de minitubérculos generados por la planta, la masa de minitubérculos y la producción general del crecimiento de la papa que tiene lugar en el sistema aeropónico. Dependiendo de las fuentes vegetales, el patrón de distribución de la formación de minitubérculos fue diferente entre las variedades. Sin embargo, se registró una tuberización temprana en todas las fuentes vegetales excepto en las plantas in vitro. La mayoría de las características productivas, como el número de cosechas y el número de tubérculos por planta, fueron mucho mayores en las plantas generadas in vitro, lo que permitió su uso completo para la producción de minitubérculos en sistemas aeropónicos. Esto indica que las plántulas in vitro tienen el potencial de proporcionar un material de siembra viable para la producción de tubérculos de semilla de papa en aeroponía.
- Getu Yayeh, y otros (2024), en su investigación determinó los efectos del espaciamiento en el rendimiento de tubérculos-semilla y rasgos relacionados de cultivares de papa. Los resultados mostraron que los efectos principales de la variedad, el espaciamiento entre hileras, el espaciamiento dentro de la hilera, el método de propagación y las interacciones de la variedad, el espaciamiento entre hileras y el espaciamiento dentro de la hilera influyeron significativamente en los parámetros considerados. La iniciación temprana de los tubérculos (43 días) y la floración del 50 % (51 días) se registraron en la variedad Gera propagada mediante esquejes de la punta del brote. La fecha de maduración más temprana (85 días) se registró en la variedad Belete propagada mediante esquejes de la punta del brote. La variedad Gera propagada mediante esquejes de la punta del brote con una separación entre hileras de 40 cm y una separación intrahilera de 25 cm registró la

mayor altura de planta (85 cm). La variedad Belete propagada mediante esquejes de la punta del brote con una separación entre hileras e intrahileras de 30 cm × 15 cm produjo el índice de área foliar más alto (5,51). El mayor número de tubérculos-semilla por montículo (3,96), el mayor peso promedio de tubérculos-semilla (63 g) y el mayor peso de tubérculos-semilla por montículo (248 g) se registraron en la propagación por tubérculo-semilla (control). La variedad Gera, propagada mediante esquejes de ápice a 50 cm × 15 cm, registró el mayor rendimiento de tubérculos-semilla (21,11 toneladas por hectárea), lo que representa un incremento del 57,3 % en el rendimiento de tubérculos-semilla con respecto a la propagación de tubérculos-semilla (control).

- Castaneda, Perez, & Ascencio (2021), su investigación fue evaluar el efecto del número de tallos (dos, tres y cuatro tallos) y un testigo en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) “Atlanta”, “Granola” y “Soloma”, en el rendimiento de minitubérculos de la generación 2, a través de la técnica de hidroponía, con el propósito de producir semilla básica. En la fase reproductiva se evaluó la producción de minitubérculos por variedades, número de minitubérculos por tallo, peso promedio de los minitubérculos, número de minitubérculos por m² y rendimiento kg/m². Los minitubérculos se clasificaron de acuerdo con el peso en las siguientes categorías: primera, segunda, tercera y cuarta. Los resultados mostraron que la variedad de papa “Atlanta”, presentó el mejor rendimiento con un peso promedio de los minitubérculos de 317.81 g, y el mayor número de minitubérculos se obtuvo con la variedad “Soloma”, con una media de 36.38 minitubérculos por planta.
- Shelabina, y otros (2021), investigaron la producción de material meristemático certificado de la clase microplantas. Las microplantas de minitubérculos se cultivaron en recipientes de 5,5 litros sobre un sustrato “Agrobalt S” (control) mezclado con turba y suplementado con un 10% y un 20% (del volumen) del sustrato “ORVI”. El uso del sustrato “ORVI” mezclado con turba y sustrato “Agrobalt S” influyó positivamente en el crecimiento, desarrollo y formación de tubérculos. La aplicación de un 10% del sustrato “ORVI” aumentó significativamente el rendimiento cuantitativo de los minitubérculos en un 17% y

su peso en un 12,3%. El aumento en el número total de minitubérculos se debió al aumento de la fracción de tubérculos de 10 a 30 mm. La aplicación de un sustrato “ORVI” al 20% también condujo a un aumento en el número total y la masa de minitubérculos. Los resultados del EIA, los minitubérculos cultivados a partir de microplantas no presentaron ninguna infección viral latente. Las pruebas realizadas a las semillas no revelaron síntomas de enfermedades fúngicas.

- Tican y otros (2022), investigaron la capacidad de minituberización de tres variedades rumanas de papa. El experimento de tres factores incluyó los siguientes: A - sustrato de cultivo con dos graduaciones: a1 - 80,00% turba roja, 9,90 % turba negra y 10,10 % perlita, a2 - 84,03 % turba roja, 7,9 % turba negra y 8,06 % perlita; B: espacio de nutrición, con dos graduaciones: b1 - 1,5 l, b2 - 2 l; C: variedad, con tres graduaciones: c1 - Marvis; c2 - Castrum; c3 - Ervant. El análisis de los resultados sobre el número y el peso de minitubérculos/planta sugiere la alta capacidad de la variedad Castrum para la producción de minitubérculos, al utilizar una mayor nutrición espacial y un sustrato con una menor concentración de turba roja (80,00 %). En cuanto al número de minitubérculos, cuando se utilizó el sustrato con mayor concentración de turba roja (84,03%) la variedad Castrum se distinguió en un mayor espacio de nutrición.
- Jiménez-Terry (2013), Evaluaron la respuesta del crecimiento y desarrollo de plantas de papa var. ‘Desirée’ que fueron obtenidas por cultivo in vitro. Los tratamientos fueron: 1) Humus de lombriz 100%, 2) Humus de lombriz 85% + Zeolita 15%, 3) Humus de lombriz 70% + Zeolita 30%, 4) Humus de lombriz 55% + Zeolita 45%, 5) Zeolita 100%. Se determinaron variables asociadas a índices del crecimiento en plantación (0 días), a los 15, 30 y 45 días del ciclo vegetativo. Se determinó el número de minitubérculos y masa fresca de los tubérculos por planta en la cosecha a los 90 días de cultivo. Los sustratos compuestos por zeolita 100%, humus de lombriz 55% + 45% de zeolita y humus de lombriz 70% + zeolita 30% permitieron la formación de minitubérculos de papa en la casa de cultivo a partir de plantas cultivadas in vitro. La combinación de humus de lombriz 85% + zeolita 15% presentó la respuesta más favorable al crecimiento caracterizada por los índices fisiológicos TCA, TCR y TAN lo cual favoreció la producción de materia seca en las plantas de papa.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

El experimento se llevó a cabo en los campos experimentales del fundo “La Banda Huasacache”, perteneciente a la Universidad Católica de Santa María, en el distrito de Hunter, provincia y departamento de Arequipa. Se encuentra ubicado a una Altitud de 2.336 msnm con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 16°27'29.55" y Longitud: 71° 33' 57.69".

Figura 5

Ubicación del área experimental en el Fundo “La Banda” Huasacache.



Nota. Google Maps (2025).

Fechas de Inicio y Término

- Fecha de Inicio: 24/03/2025
- Fecha de Término: 23/08/2025

Se inició con la siembra de brotes de tubérculos en el mes de Marzo 2025, luego se realizó el transplante a los microtuneles el 8 de Mayo 2025 y se realizó la cosecha de tuberculillos en el mes de Agosto 2025.

3.1.2. Materiales biológicos

- Brotes de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. unica obtenidos de la Estación Experimental Agraria Andenes de Cuzco
- Brotes con alto potencial de germinación

3.1.3. Material de laboratorio

- Balanza digital de precisión
- Probetas graduadas
- Vasos de precipitación
- Placas Petri
- Tubos de ensayo
- Pipetas
- Medidor de pH
- Medidor de conductividad eléctrica
- Microscopio para observación del desarrollo radicular
- Equipo de esterilización
- Cámara de control de humedad y temperatura
- Hidrotermometro
- Calibre digital
- Balanza gramera

3.1.4. Material de campo

- Bandejas de siembra
- Contenedores plásticos
- Sistema de riego por goteo
- Etiquetas de identificación
- Cinta métrica
- Tamices para suelo
- Tijeras de podar
- Soluciones de desinfección

- Equipos de protección personal
- Lampas

3.1.5. Material de escritorio

- Cuaderno de registros de campo
- Formatos de recolección de datos
- Marcadores
- Tablero
- Lápices y bolígrafos
- Computadora
- Software de análisis estadístico
- Equipo fotográfico

3.1.6. Maquinaria

- Mezcladora de sustratos
- Mesa de preparación de sustratos
- Invernadero o estructura de ambiente controlado
- Máquina de cribado de sustratos
- Bomba de riego

3.1.7. Otros materiales

- Soluciones hormonales (ácido indolbutírico)
- Productos de desinfección y esterilización
- Soluciones nutritivas
- Bibliografía y literatura científica
- Protocolos de investigación
- Equipos de seguridad
- Dispositivos de almacenamiento de datos

3.2. Muestreo

3.2.1. Métodos de evaluación

El muestreo se realizó iniciando en la obtención de brotes que se colocaron en bandejas bajo vivero. Luego se realizó el transplante en los microtuneles se evaluó cada quince días el desarrollo del brote en sus estados fenológicos por cada tratamiento.

3.2.2. Universo

El universo fue de 900 brotes en cada bloque con cada sustrato en las parcelas con sus respectivas repeticiones.

3.2.3. Tamaño de muestra

La muestra estuvo constituida por una variedad con cinco tratamientos y tres repeticiones. La dimensión de cada bloque fue de 7 metros x 1 metro. De los cuales se utilizó compost, humus, piedra pómez, promix y arena de río. La dosificación se basó en el uso técnico de enmiendas por hectárea adaptada al volumen de las camas del microtúnel. Se transformaron estas dosis de campo a porcentajes volumétricos (20% al 50%).

3.2.4. Unidades experimentales

Variedad: Única

Numero de brotes por tratamiento: 60 brotes

Repeticiones: 3

Tratamientos: 5

- T1: Compost (30%)-suelo agrícola (70%)
- T2: Humus (20%)- suelo agrícola (80%)
- T3: Piedra pomez (40%) -suelo agrícola (60%)
- T4: Promix (50%)- suelo agrícola (50%)
- T5: Arena de río (40%) -suelo agrícola (60%)

3.3. Recopilación de la información

3.3.1. En el campo

La toma de datos de campo se llevó a cabo mediante la observación minuciosa, utilizando un cuaderno de campo y fichas de observación para el registro de los cambios efectuados durante el desarrollo de los brotes de papa var. única. Se recolecto muestra para ser evaluadas y se tomó fotografías de las evaluaciones realizadas.

3.3.2. En la biblioteca

La recolección de datos en biblioteca se llevó a cabo mediante una estricta revisión de investigaciones anteriores, realizando análisis e interpretación de la información encontrada.

3.3.3. En el laboratorio

La toma de datos en el laboratorio del fundo la banda de Huasacache, se realizó mediante la observación. Se utilizó materiales para el pesado, secado, medición y conteo de la muestra.

3.4. Variables de respuesta

3.4.1. Variables independientes

- Sustratos

3.4.2. Variables dependientes

- Masa radicular
- Altura de brotes
- Cantidad y peso de tuberculillos

3.5. Evaluación estadística

3.5.1. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones en el experimento. Los datos recolectados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y para determinar la diferencia significativa entre los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

3.5.2. Descripción del campo experimental

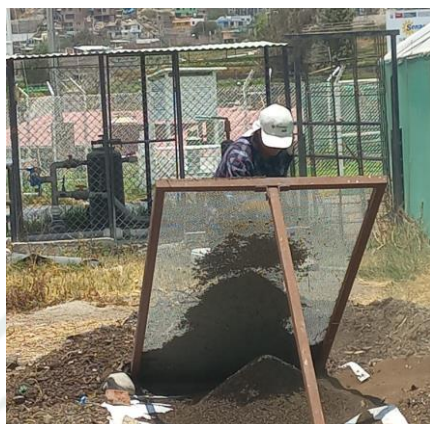
El siguiente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Fundo La Banda de Huasacache - Arequipa. Las instalaciones se dividen en dos partes: Área de Estudio y Área de Practica.

a. Preparación de Sustratos

Primeramente, se inició con el compost que fue tamizado para homogeneizar su granulometría y luego almacenarlo en sacos de polipropileno. El humus de lombriz se almacenó directamente en sacos tras verificar su estado sanitario. La piedra pómez requirió un tratamiento especial fue depositada en cilindros y sometida a lavados diarios con agua potable durante una semana; con el objetivo de eliminar impurezas, sales solubles y residuos minerales. El Promix se colocó en sacos. La arena de río se adquirió la cantidad de dos metros cúbicos. Finalmente, los sustratos compost, humus y Promix fueron enviados a un laboratorio especializado para su análisis físico-químico y nutricional previo a la instalación del experimento.

Figura 6

Preparación de los sustratos



b. Acondicionamiento del Invernadero para la obtención de brotes

Se procedió a la limpieza y acondicionamiento integral del invernadero. Se movieron plantas con el fin de optimizar el espacio y permitir la disposición adecuada de las bandejas de germinación. Se implementó un sistema de riego por aspersión automatizado con temporizador, garantizando una distribución uniforme y precisa del agua sobre las bandejas, lo cual resultó fundamental para mantener condiciones homogéneas de humedad durante la fase de enraizamiento.

c. Preparación y selección de brotes

Se adquirieron 15 bandejas de germinación con dimensiones estandarizadas de 54,9 cm de largo, 38,1 cm de ancho y 14 cm de altura. Cada bandeja fue asignada a un sustrato específico, aplicando un volumen uniforme de 20 litros por unidad experimental, medido por un recipiente calibrado. Para el llenado de las bandejas, se realizó un riego homogéneo usando una regadera, se estableció un periodo de preincubación de siete días para estabilizar la humedad del sustrato y alcanzar las condiciones óptimas previas a la siembra de los brotes.

Los brotes fueron extraídos de la cámara frigorífica, donde se mantenían bajo condiciones controladas en temperatura y luminosidad. El desbrotado se realizó totalmente de forma manual, trabajando con un total de 900 brotes. El procedimiento consistió en sujetar cuidadosamente cada brote entre los dedos y aplicar un ligero giro en la base de la yema, lo que permitió su desprendimiento sin causar daño mecánico al tubérculo madre. Los brotes

obtenidos fueron depositados en recipientes previamente desinfectados. Posteriormente, se preparó una solución de ROOT-HOR (enraizador hormonal) a razón de 5 ml por litro de agua, en la cual se sumergió la base de cada brote (aproximadamente 3 cm) durante 5 minutos, con el objetivo de estimular la emisión de raíces adventicias y favorecer un desarrollo radicular vigoroso. Finalmente, los brotes fueron cubiertos con papel absorbente humedecido para mantener la humedad relativa necesaria y evitar la deshidratación o pérdida de viabilidad hasta el momento del trasplante.

Figura 7

Selección de los brotes de papa



d. Preparación del Campo Experimental

Previo al trasplante, se acondicionaron tres microtúneles experimentales mediante la instalación del sistema de fertirriego, que incluyó cintas de goteo, temporizador y sistema Venturi para la inyección de fertilizantes. La preparación del terreno consistió en labranza primaria, incorporación los cinco sustratos. Se inició un programa de riego de tres aplicaciones semanales durante un mes antes del trasplante, con el doble propósito de inducir la germinación de semillas de malezas para su control mediante deshierbo manual, y de mejorar la estructura edáfica permitiendo una adecuada penetración de la humedad y aireación del perfil.

Figura 8

Preparación de los micro túneles con los sustratos



e. Trasplante y Establecimiento en Microtúneles

Se realizó el trasplante de los esquejes enraizados en los tres microtúneles, siguiendo el DCA. Cada microtúnel albergó cinco tratamientos con 16 plantas por tratamiento, estableciendo un distanciamiento de 20 cm entre esquejes.

Previo al trasplante, se implementó un control fitosanitario preventivo mediante aplicación de insecticida de contacto para proteger las plantas contra el ataque de plagas. Durante los primeros 10 a 15 DDT, las plantas manifestaron un aspecto débil característico del período de aclimatación; sin embargo, superada esta fase, se observará el crecimiento activo de nuevos tallos y hojas, evidenciando un desarrollo vegetativo vigoroso.

Se aplicó biol como bioestimulante orgánico cada 15 días, desde la etapa de prefloración hasta la maduración fisiológica del cultivo. La dosis consistió en 5 litros de biol diluido en 20 litros de agua (concentración del 25%), completando el volumen con 15 litros de agua pura, aplicaciones mediante fertirriego.

Figura 9

Siembra de los brotes en los microtuneles



f. Riego y fertilización

Se realizó un riego de establecimiento para reducir el estrés hídrico post-trasplante. La fertilización nitrogenada se fraccionó en dos aplicaciones: la primera a los 15 DDT, incorporando el fertilizante mediante remoción superficial del suelo, y la segunda durante la labor de aporque, aplicando la dosis remanente para asegurar un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo.

Figura 10

Riego de los microtuneles



g. Control fitosanitario

Dentro de los problemas Fitosanitarios se encontró:

- **Gusano trozador (*Agrotis spp.*):** Ataca tallos jóvenes al nivel del suelo, cortándolos y provocando la muerte de las plantas recién emergidas.
- **Pulgonos (*Myzus persicae*):** Succionan la savia de las hojas, causando enrollamiento y amarillamiento. Además, transmiten virus dañinos.
- **Tizón tardío (*Phytophthora infestans*):** Es la enfermedad más destructiva. Provoca manchas oscuras en hojas, tallos y tubérculos, especialmente con humedad alta.
- **Virus del enrollamiento de la hoja (PLRV):** Causa el enrollamiento hacia arriba de las hojas, amarillamiento y baja producción. Es transmitido por pulgonos.
- **Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*):** Provoca marchitez repentina de las plantas y exudación blanquecina en tallos cortados.

h. Cosecha

La cosecha se realizó cuando el cultivo concluyó su ciclo fisiológico, evidenciado por la senescencia foliar y amarillamiento del follaje.

Figura 11

Cosecha



3.5.3. Distribución de tratamientos

Figura 12

Distribución de tratamientos y sus repeticiones.



BI	BII	BIII
T4	T3	T2
T2	T5	T1
T3	T1	T4
T5	T4	T5
T1	T2	T3

1.40cm

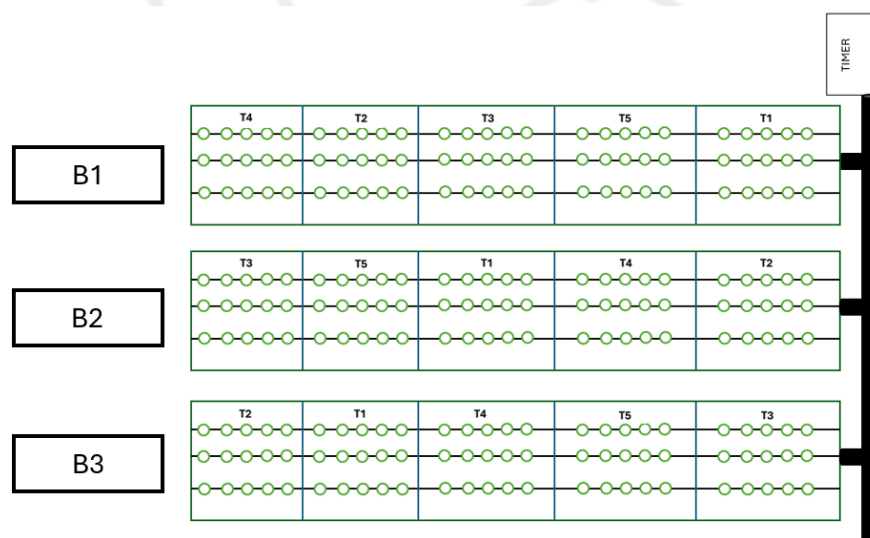
7m

1m

3.5.4. Croquis experimental

Figura 13

Croquis experimental.



3.5.5. Evaluaciones

a. Evaluaciones en los Microtúneles

Desde el trasplante de los esquejes de papa var. unica se realizaron evaluaciones de:

- **Masa Radicular (Cantidad total y desarrollo de sistema de raíces en una planta):** La evaluación se realizó a los 30 días después del trasplante seleccionando aleatoriamente 5 plántulas de cada tratamiento y repetición.
- **Altura de planta:** Las evaluaciones de altura se programaron a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después del trasplante (DDT), midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice vegetativo, expresando los resultados en centímetros.
- **Cosecha:** Se evaluaron cinco plantas por tratamiento de forma aleatoria, cuantificando el número de tubérculos obtenidos por planta. Los resultados se expresaron en unidades por tratamiento para su posterior análisis estadístico.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Masa Radicular

Tabla 1

Análisis de Varianza para masa radicular.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	168.00	4	42.00	403.85	<0.0001	*
Sustrato	168.00	4	42.00	403.85	<0.0001	*
Error	1.04	10	0.10			
Total	169.04	14				

C.V.=2.48%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 1. Se muestra en el Análisis de Varianza diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.0001$) para la variable masa radicular (gr), indicando que el tipo de sustrato influyó directamente en el desarrollo de raíces. El modelo tiene un excelente ajuste ($R^2 = 0.99$) y un CV muy bajo (2.48%), lo que refleja gran precisión experimental.

Tabla 2

Prueba de Significación de Tukey para masa radicular

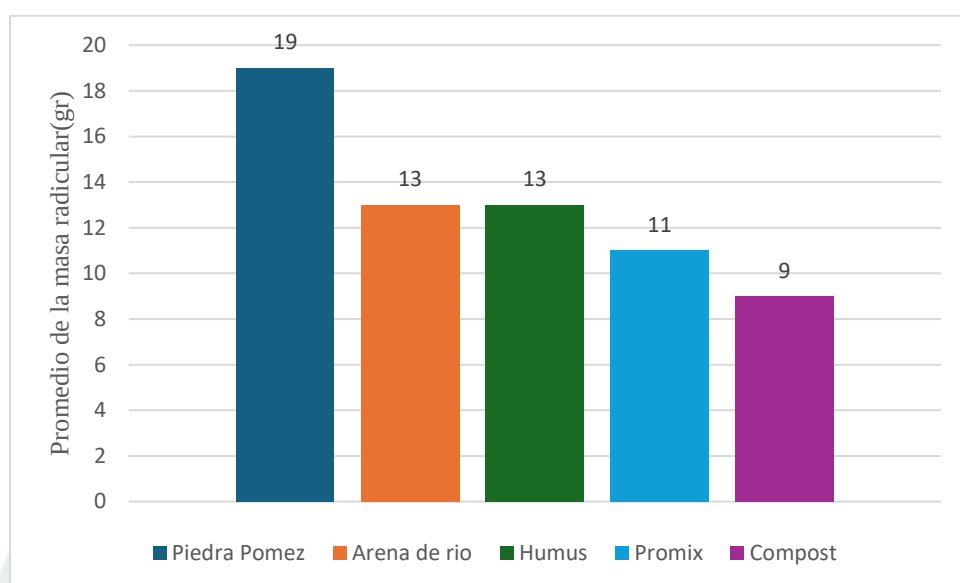
Error: 0.1040 gl:10		
Tratamiento	Unidad(gr)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T3	19.00	a
T5	13.00	b
T2	13.00	b
T4	11.00	c
T1	9.00	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 2. Se presenta la prueba de Tukey para la Masa Radicular, el tratamiento T3 (piedra pómez) obtuvo el valor más alto de masa radicular (19 g), siendo estadísticamente superior al resto. Le siguieron T5 (arena de río) y T2 (humus) en el grupo “B”, mientras que T4 (Promix) y T1 (compost) mostraron valores significativamente menores.

Figura 14

Masa Radicular



En la Figura 14. Muestra el promedio de la Masa Radicular en los sustratos (piedra pómez, arena de rio, humus, promix y compost). En la piedra pómez presento el valor más alto de la masa radicular (19 gr); seguido de la arena de rio (13 gr), humus (13gr) y promix (11 gr). Finalizando con el compost (9gr) que obtuvo el más bajo valor.

4.2. Evaluar el comportamiento de los brotes en cada tratamiento.

4.2.1. Altura de planta a los 15 DDT

Tabla 3

Análisis de Varianza para la altura de planta a los 15 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	5.24	4	1.31	3.28	0.0581	Ns
Sustrato	5.24	4	1.31	3.28	0.0581	Ns
Error	4.00	10	0.40			
Total	9.24	14				

C.V. =6.68%

*NS=No significativo, *=significativo $\alpha = 0.05$*

En la Tabla 3. Se muestra en el análisis de varianza que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el valor de $p = 0.0581$ es ligeramente mayor que 0.05. Esto quiere decir que, estadísticamente, las alturas son parecidas entre todos los tratamientos. El coeficiente

de determinación ($R^2 = 0.57$) indica que el modelo explica alrededor del 57% de la variabilidad total, lo cual es moderado. Además, el coeficiente de variación ($CV = 6.68\%$) es bajo, lo que refleja buena precisión experimental.

Tabla 4

Prueba de Significación de Tukey para la altura de planta a los 15 días.

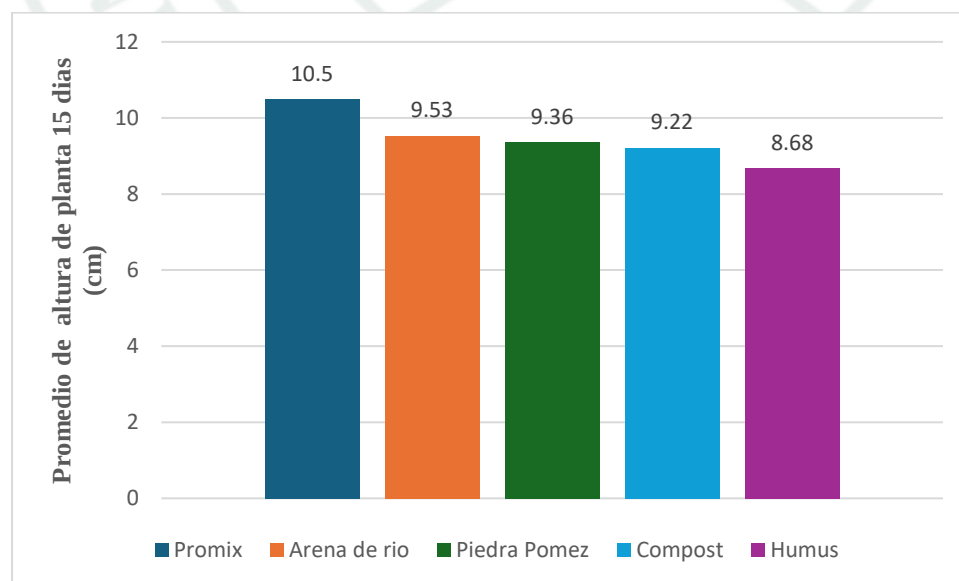
Error: 0.3997 gl:10		
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T4	10.50	a
T5	9.53	a
T3	9.36	a
T1	9.22	a
T2	8.68	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 4. Se presenta la prueba de Tukey para el factor sustratos de la altura de plantas a los 15 días, donde se observa que todos los tratamientos comparten la misma letra (“a”), confirmando que no existen diferencias significativas entre ellos en cuanto a la altura, excepto el T2.

Figura 15

Altura de planta a los 15 días



La Figura 15. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 15 días. En el promix presento la mayor altura (10.5 cm); seguidamente de la arena de rio (9.53), piedra pómez (9.36), compost (9.22) y humus (8.68) esto indica que no hay diferencia significativa en los sustratos.

4.2.2. Altura de planta a los 30 DDT

Tabla 5

Análisis de varianza para la altura de planta a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	9.21	4	2.30	8.55	0.0029	*
Sustrato	9.21	4	2.30	8.55	0.0029	*
Error	2.69	10	0.27			
Total	11.90	14				

C.V. =5.41%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 5. Se muestra el Análisis de Varianza diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el p-valor = 0.0029 es menor que 0.05. Esto significa que los tratamientos influyeron de manera distinta en la altura. El modelo tiene un R^2 de 0.77, lo que indica que explica el 77% de la variación total, y el CV de 5.41% refleja buena precisión experimental.

Tabla 6

Prueba de significación de Tukey para la altura de planta a los 30 días.

Error: 0.2693 gl:10		
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T4	10.97	a
T3	9.70	a
T5	9.48	b
T1	9.14	b
T2	8.63	b

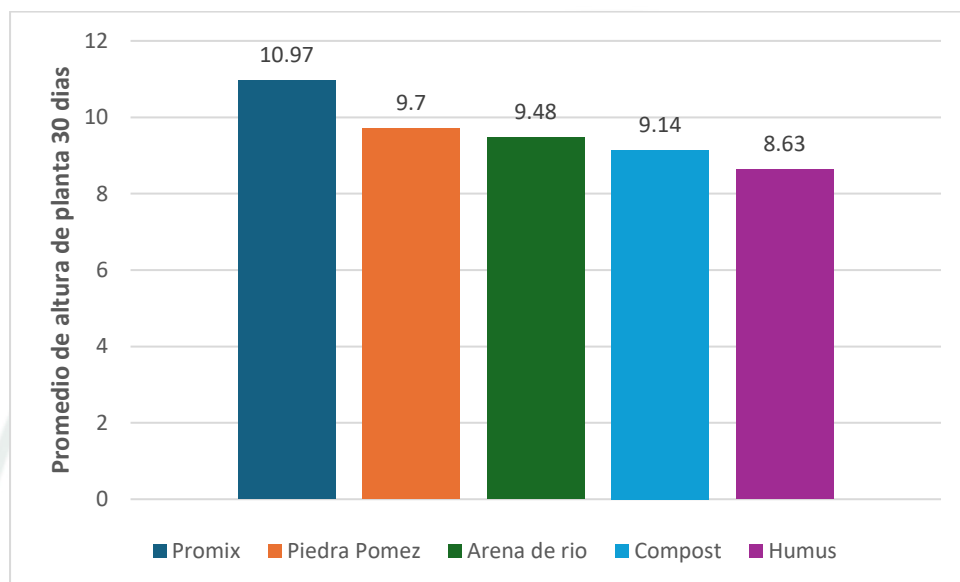
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 6. Se presenta la prueba de Tukey para la Altura de Planta a los 30 días, el tratamiento T4 (10.97 cm) fue el de mayor promedio y forma un grupo distinto (letra “a”), mientras que los tratamientos T3, T5, T1 y T2 conforman otro grupo (letra “b”), sin diferencias

significativas entre ellos. El T4 destacó significativamente sobre los demás tratamientos en la variable altura.

Figura 16

Altura de plantas (cm) a los 30 días.



La Figura 10. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 30 días. En el promix presento la mayor altura (10.97 cm); seguidamente de la arena de rio (9.7), piedra pómez (9.48), compost (9.14) y humus (8.63) esto indica que no hay diferencia significativa en los sustratos.

4.2.3. Altura de planta a los 45 DDT

Tabla 7

Análisis de varianza para la altura de planta a los 45 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	3.56	4	0.89	2.86	0.0806	NS
Sustrato	3.56	4	0.89	2.86	0.0806	NS
Error	3.11	10	0.31			
Total	6.67	14				

C.V. =5.74%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 7. Se muestra en el Análisis de Varianza indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el p-valor = 0.0806 es mayor que 0.05. Esto significa que los tratamientos evaluados produjeron alturas similares. El modelo explica el 53%

de la variabilidad ($R^2 = 0.53$) y presenta un coeficiente de variación bajo ($CV = 5.74\%$), lo que refleja buena precisión experimental.

Tabla 8

Prueba de significación de Tukey para la altura a los 45 días.

Error: 0.3108 gl:10

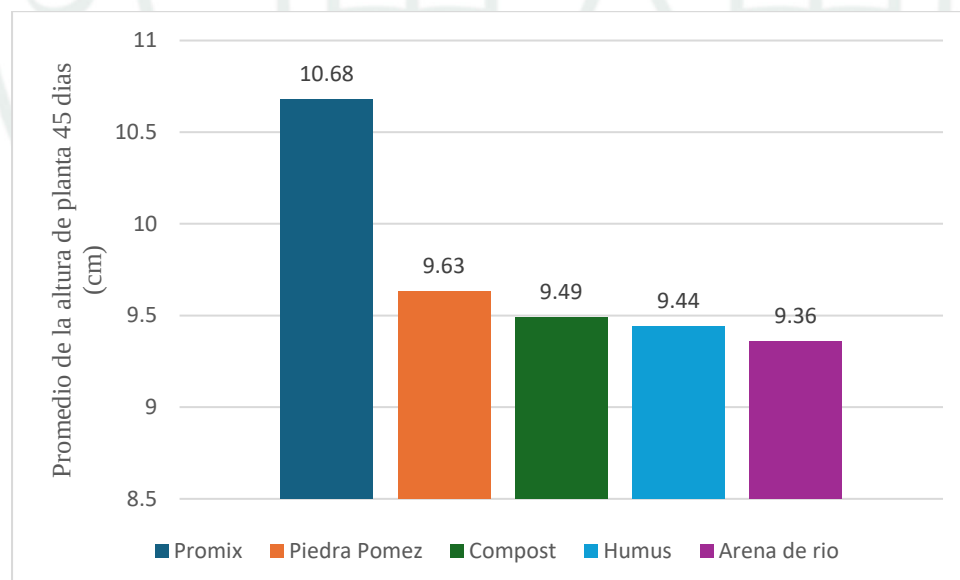
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T4	10.68	a
T3	9.63	a
T1	9.49	a
T2	9.44	a
T5	9.36	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 8. Se muestra la prueba de Tukey para la Altura de planta a los 45 días. Todos los tratamientos comparten la misma letra (“a”), confirmando que no hay diferencias estadísticas significativas entre ellos respecto a la altura.

Figura 17

Altura de plantas (cm) a los 45 días.



La Figura 11. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 45 días. En el promix presento la mayor altura (10.68 cm); seguidamente de la piedra pómez (9.63), compost (9.49),

humus (9.44) y arena de río (9.36) esto indica que no hay diferencia significativa en los sustratos.

4.2.4. Altura de planta a los 60 DDT

Tabla 9

Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 60 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	14.10	4	3.52	3.99	0.0345	*
Sustrato	14.10	4	3.52	3.99	0.0345	*
Error	8.83	10	0.88			
Total	22.92	14				

C.V. =5.72%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 9. Se muestra el Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 60 días, se observa un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.61$) y un R^2 ajustado de 0.46, lo que indica que el modelo explica aproximadamente el 61% de la variabilidad total de los datos, mientras que el resto puede atribuirse a factores no controlados o al azar. El coeficiente de variación (CV = 5.72%) revela una baja dispersión relativa, reflejando buena precisión experimental.

Tabla 10

Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 60 días.

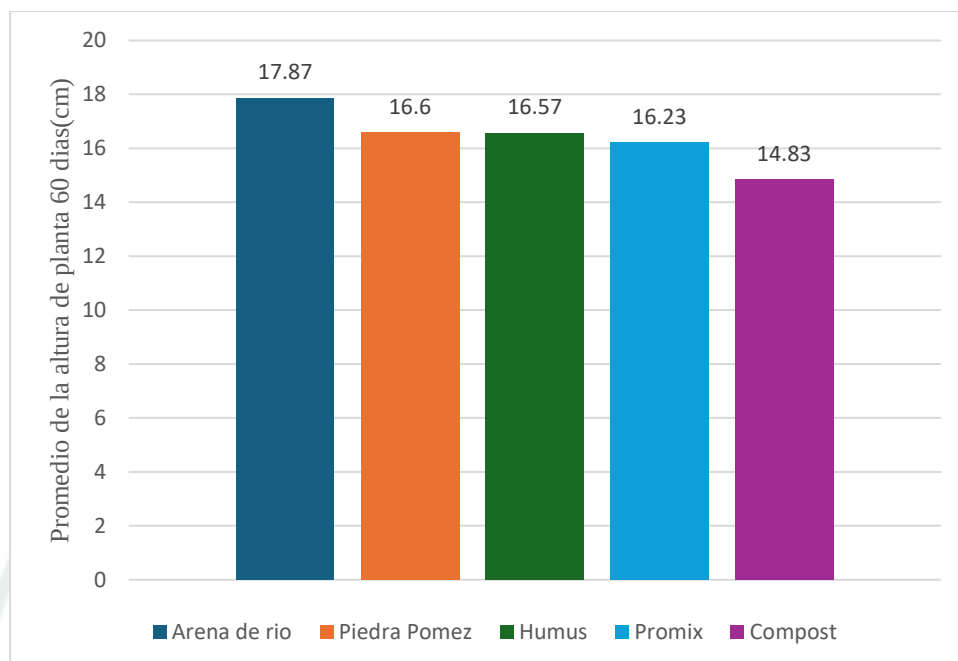
<i>Error: 0.8827 gl:10</i>			
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)	
T5	17.87	a	
T3	16.60	a	b
T2	16.57	a	b
T4	16.23	a	b
T1	14.83		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 10. Se muestra la prueba de Tukey para la Altura de Planta a los 60 días ($\alpha = 0.05$, DMS = 2.52459), los tratamientos T5 (17.87 cm), T3 (16.60 cm), T2 (16.57 cm) y T4 (16.23 cm) conforman un mismo grupo estadístico (a-b), sin diferencias marcadas entre ellos. En cambio, T1 (14.83 cm) se ubica en el grupo b, con una menor altura promedio.

Figura 18

Altura de plantas (cm) a los 60 días.



La Figura 12. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 60 días. En la arena de rio presento la mayor altura (17.87 cm); seguidamente de la piedra pómez (16.6), humus (16.57), promix (16.23) y compost (14.83) esto indica que no hay diferencia significativa en los sustratos.

4.2.5. Altura de planta a los 75 DDT

Tabla 11

Análisis de varianza para la Altura de Planta a los 75 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	269.94	4	67.48	105.55	<0.0001	*
Sustrato	269.94	4	67.48	105.55	<0.0001	*
Error	6.39	10	0.64			
Total	276.33	14				

C.V. =3.70%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 11. Se muestra el Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 75 días mostró un R^2 de 0.98 y un R^2 ajustado de 0.97, lo que indica un excelente ajuste del modelo y

una explicación del 98% de la variabilidad total de los datos. El coeficiente de variación (CV = 3.70%) evidencia alta precisión experimental. El efecto del tratamiento fue altamente significativo ($F = 105.55$; $p < 0.0001$), demostrando que los diferentes sustratos influyeron directamente en el crecimiento de los brotes.

Tabla 12

Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 75 días.

Error: 0.6393 gl:10

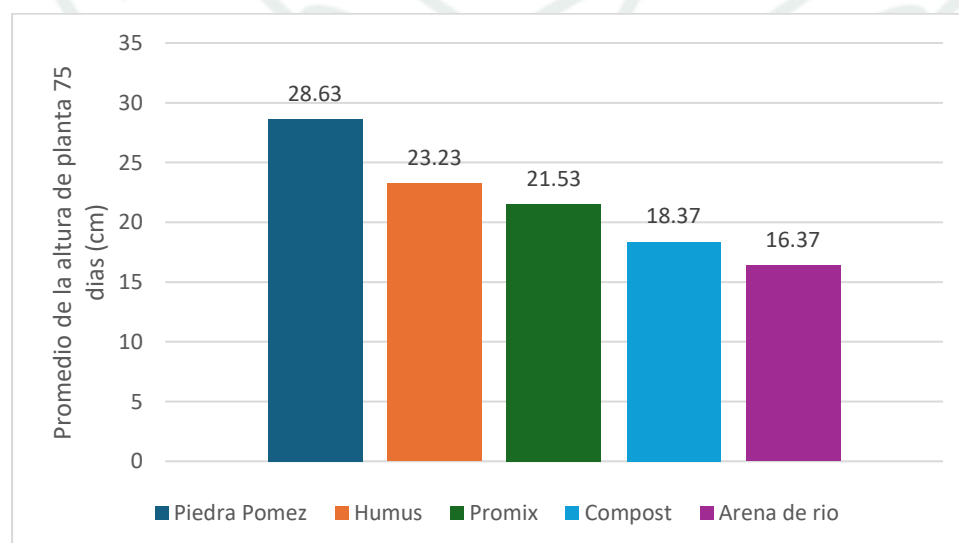
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T3	28.63	a
T2	23.23	b
T4	21.53	b
T1	18.37	c
T5	16.37	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 12. Se muestra la prueba de Tukey para la Altura de Planta a los 75 días ($\alpha = 0.05$), el tratamiento T3 (28.63 cm) obtuvo la mayor altura promedio, ubicándose en el grupo a y diferenciándose significativamente de los demás, seguido por T2 (23.23 cm) y T4 (21.53 cm) en el grupo b, mientras que T1 (18.37 cm) y T5 (16.37 cm) mostraron los menores valores (grupo c).

Figura 19

Altura de plantas (cm) a los 75 días.



La Figura 13. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 75 días. En la piedra pómez presento la mayor altura (28.63 cm); seguidamente del humus (23.23), promix (21.53), compost (18.37) y arena de rio (16.37) esto indica que si hay diferencia significativa en los sustratos.

4.2.6. Altura de Planta a los 90 DDT

Tabla 13

Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 90 días.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	250.70	4	62.68	102.63	<0.0001	*
Sustrato	250.70	4	62.68	102.63	<0.0001	*
Error	6.11	10	0.61			
Total	256.81	14				

C.V. =3.60%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 13. Se muestra el Análisis de Varianza para la Altura de Planta a los 90 días mostró un R^2 de 0.98 y un R^2 ajustado de 0.97, lo que indica que el modelo explica el 98% de la variabilidad total de los datos, con un coeficiente de variación (CV = 3.60%) que refleja alta precisión experimental. El efecto del tratamiento fue altamente significativo ($F = 102.63$; $p < 0.0001$), demostrando que los diferentes sustratos influyeron de manera marcada en la altura final de las plantas.

Tabla 14

Prueba de significación de Tukey para la Altura de Planta a los 90 días.

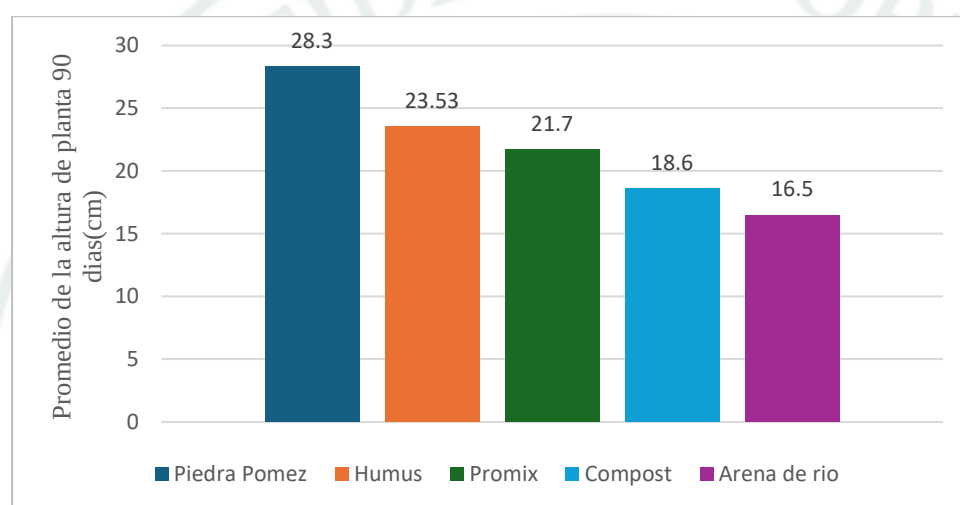
Error: 0.2693 gl:10		
Tratamiento	Unidad(cm)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T3	28.30	a
T2	23.53	b
T4	21.70	b
T1	18.60	c
T5	16.50	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Tabla 14. Se muestra la prueba de Tukey para la Altura de Planta a los 90 días ($\alpha = 0.05$; DMS = 2.09988), el tratamiento T3 (28.30 cm) presentó la mayor altura promedio, ubicándose en el grupo a, seguido de T2 (23.53 cm) y T4 (21.70 cm) en el grupo b, mientras que T1 (18.60 cm) se ubicó en el grupo C y T5 (16.50 cm) en el grupo d, con el menor crecimiento.

Figura 20

Altura de plantas (cm) a los 90 días.



La Figura 14. Muestra el promedio de Altura de Planta a los 90 días. En la piedra pómez presento la mayor altura (28.3 cm); seguidamente del humus (23.53), promix (21.7), compost (18.6) y arena de rio (16.5) esto indica que si hay diferencia significativa en los sustratos.

4.3. Obtención de tuberculillos en cada tratamiento

4.3.1. Peso promedio de tuberculillos

Tabla 15

Análisis de Varianza para el Peso Promedio de Tuberculillos.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	29.58	4	7.40	173.34	<0.0001	*
Sustrato	29.58	4	7.40	173.34	<0.0001	*
Error	0.43	10	0.04			
Total	30.01	14				

C.V. =3.57%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 15. Se muestra el Análisis de Varianza del Peso Promedio unitario de tuberculillos (g) mostró un R^2 de 0.99 y un R^2 ajustado de 0.98, lo que indica que el modelo explica el 99% de la variabilidad total de los datos, con un coeficiente de variación ($CV = 3.57\%$), reflejando una alta precisión experimental y consistencia en las mediciones. El factor Tratamiento presentó un efecto altamente significativo ($F = 173.34$; $p < 0.0001$), evidenciando diferencias claras entre los sustratos evaluados.

Tabla 16

Prueba de significación de Tukey para el Peso Promedio de Tuberculillos.

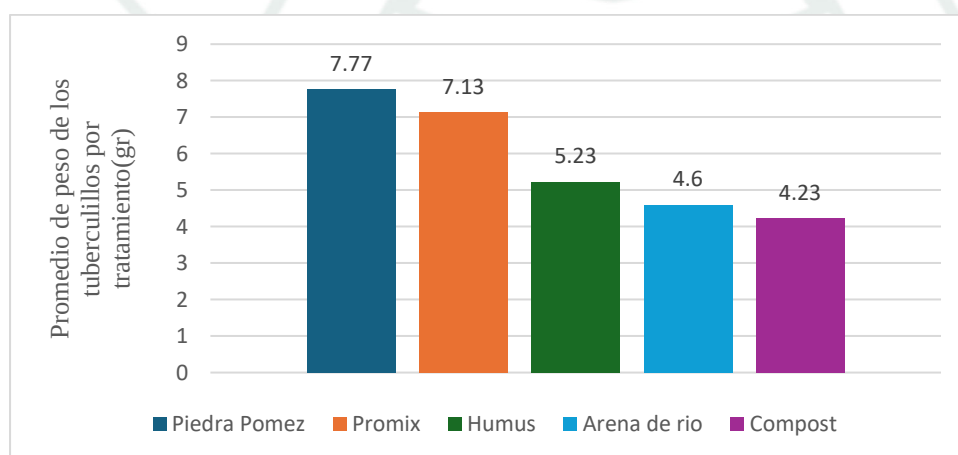
Error: 0.2693 gl:10		
Tratamiento	Unidad(g)	Significancia ($\alpha=0.05$)
T3	7.77	a
T4	7.13	b
T2	5.23	c
T5	4.60	d
T1	4.23	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Tabla 16. Se muestra el Método de Tukey para el Peso Promedio de Tuberculillos ($\alpha = 0.05$; $DMS = 0.55506$), el tratamiento T3 (7.77 g) obtuvo el mayor peso promedio, ubicándose en el grupo a, seguido de T4 (7.13 g) en el grupo b, ambos con rendimientos superiores. Los tratamientos T2 (5.23 g), T5 (4.60 g) y T1 (4.23 g) conformaron los grupos c y d, mostrando los valores más bajos.

Figura 21

Promedio de Peso de Tuberculillos (g).



La Figura 15. Muestra el promedio de Peso de Tuberculillos. En la piedra pómez presento la mayor cantidad (7.77 gr); seguidamente del promix (7.13 gr), humus (5.23 gr), arena de rio (4.6) y compost (4.23) esto indica que si hay diferencia significativa en los sustratos.

4.3.2. Cantidad de tuberculillos

Tabla 17

Análisis de varianza para la cantidad de tuberculillos.

F.V.	SC	gl	CM	F.C.	p-valor	Significancia
Modelo	31.81	4	7.95	115.82	<0.0001	*
Sustrato	31.81	4	7.95	115.82	<0.0001	*
Error	0.69	10	0.07			
Total	32.50	14				

C.V. =4.00%

NS = No significativo; *=significativo $\alpha = 0.05$

En la Tabla 17. Se muestra el Análisis de Varianza para la Cantidad de Tuberculillos, mostró un R^2 de 0.98 y un R^2 ajustado de 0.97, lo que indica que el modelo explica el 98% de la variabilidad total observada, con un coeficiente de variación ($CV = 4.00\%$), reflejando una alta precisión y baja dispersión experimental. El efecto de los tratamientos fue altamente significativo ($F = 115.82$; $p < 0.0001$), demostrando que los distintos sustratos influyeron de manera marcada en la formación de tuberculillos.

Tabla 18

Prueba de significación de Tukey para la Cantidad de Tuberculillos.

Error: 0.0687 gl:10		
Tratamiento	Unidad	Significancia ($\alpha=0.05$)
T3	9.10	a
T2	7.00	b
T4	6.30	b
T1	5.23	c
T5	5.10	c

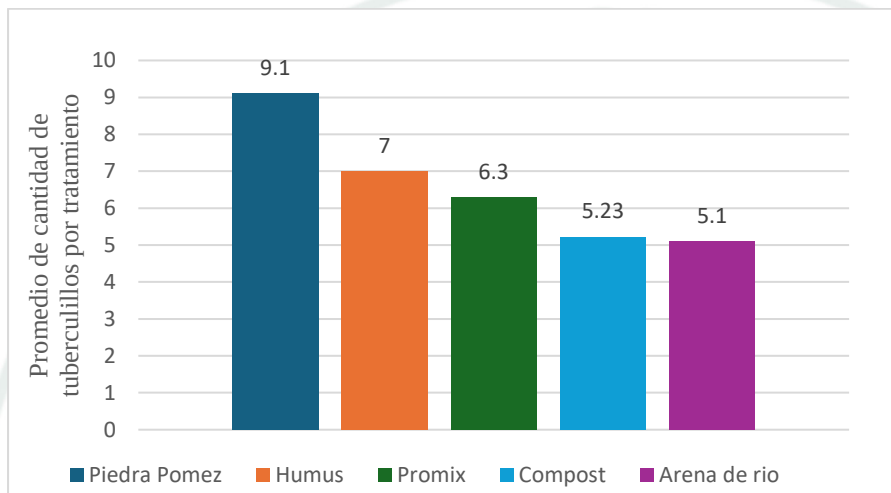
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

En la Tabla 18. Se muestra la prueba de Tukey para la Cantidad de Tuberculillos ($\alpha = 0.05$; DMS = 0.70415), el tratamiento T3 (9.10 unidades) presentó la mayor cantidad promedio

de tuberculillos, ubicándose en el grupo a y diferenciándose significativamente del resto. Los tratamientos T2 (7.00) y T4 (6.30) formaron el grupo b, con valores intermedios, mientras que T1 (5.23) y T5 (5.10) conformaron el grupo c, con los menores promedios.

Figura 22

Promedio de Cantidad de Tuberculillos.



La Figura 22. Muestra el promedio de Cantidad de Tuberculillos. En la piedra pómez presento la mayor cantidad (9.1 gr); seguidamente del humus (7), promix (6.3), compost (5.23) y arena de rio (5.1) esto indica que si hay diferencia significativa en los sustratos.

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Masa radicular (gr)

Los resultados obtenidos para la variable masa radicular muestran un efecto altamente significativo del tipo de sustrato sobre el desarrollo del sistema radical de la papa, lo que confirma que la estructura física del medio de cultivo es un determinante clave para la formación de raíces en condiciones de microtúneles y riego por goteo. En este experimento, el tratamiento T3 (piedra pómez) presentó la mayor masa radicular (19 g), superando ampliamente a los demás tratamientos y evidenciando que la aireación, el drenaje y la estabilidad física del sustrato son factores esenciales para la proliferación, elongación y funcionalidad del sistema radicular. Este comportamiento coincide con numerosos estudios que destacan que los sustratos minerales porosos favorecen la respiración radicular y la absorción de nutrientes, condiciones que se traducen en una mayor acumulación de biomasa subterránea.

La superioridad del tratamiento T3 se atribuye a su alta porosidad y baja densidad aparente, propiedades que garantizan un balance óptimo de gases en la rizósfera. Este equilibrio físico es determinante para evitar procesos de hipoxia que suelen presentarse en medios con excesiva retención hídrica, como se observó en el sustrato a base de compost (T1). Al respecto, los resultados obtenidos guardan coherencia con lo expuesto por Hennouni y otros (2016), quienes determinaron que sustratos con características similares a la puzolana o piedra pómez favorecen un sistema radicular más vigoroso y profundo al reducir la resistencia mecánica.

Además, los hallazgos concuerdan con lo reportado por Gomes Corso & Ferraz Almeida (2024), quienes demostraron que la masa radicular temprana está fuertemente correlacionada con la producción posterior de tubérculos, especialmente después de los 70 días de desarrollo. Esto explica por qué el tratamiento T3, que presentó la mayor masa radicular, también destacó en variables reproductivas como la cantidad y el peso promedio de tuberculillos. La solidez del sistema radicular actúa como soporte fisiológico para la planta, aumentando la conductancia hidráulica, la eficiencia en la absorción de nutrientes y la capacidad de sostener un mayor volumen de área foliar activa. En otras palabras, la masa radicular no solo refleja un crecimiento subterráneo más robusto, sino que condiciona el desempeño global del cultivo en términos de biomasa y rendimiento.

El comportamiento inferior de los tratamientos T1 (compost) y T5 (arena de río) también encuentra respaldo en la literatura. El compost, por su naturaleza orgánica, tiende a compactarse con facilidad, reduciendo la aireación y dificultando la penetración y ramificación de las raíces. Por otro lado, la arena de río, aunque presenta buen drenaje, posee una retención hídrica muy limitada y escasa estabilidad estructural, lo que genera fluctuaciones de humedad que afectan la elongación de raíces finas y comprometen su capacidad de exploración. Estas limitaciones ya han sido descritas por Tican y otros (2022), quienes observaron que sustratos con proporciones inadecuadas de materiales finos o arenosos disminuyen la masa radicular al no proporcionar un ambiente uniforme para el crecimiento. En este estudio, ambas situaciones se reflejaron en una menor acumulación de biomasa radical, lo cual afectó indirectamente el crecimiento aéreo y los parámetros reproductivos asociados.

También es importante resaltar que la excelente respuesta de T3 guarda relación con patrones fisiológicos observados en sistemas tecnificados como la aeroponía. Investigaciones de Valdez Aguilar, y otros (2021) y Buckseth y otros (2023) han demostrado que la producción de raíces es significativamente mayor en sistemas altamente oxigenados, donde la humedad se mantiene controlada y las raíces reciben aireación constante. Aunque el presente estudio se desarrolló bajo un sistema semi-convencional, la piedra pómez simuló parcialmente estas condiciones al permitir un flujo continuo de aire en la rizósfera. De esta manera, la eficiencia radicular observada en T3 evidencia que es posible replicar algunos beneficios de sistemas sofisticados mediante el uso de sustratos físicos adecuados, incluso en condiciones de microtúnel y riego por goteo.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la masa radicular es una de las variables más sensibles al tipo de sustrato y, al mismo tiempo, una de las que mejor explica las diferencias observadas en el vigor de crecimiento y los rendimientos obtenidos. El sustrato T3 proporcionó las condiciones más apropiadas para el desarrollo radicular debido a su combinación ideal de aireación, humedad útil y estabilidad física, lo que coincide ampliamente con la evidencia científica y confirma su idoneidad para la propagación de papa bajo ambientes protegidos. La importancia de este hallazgo radica en que un sistema radicular robusto no solo incrementa la capacidad de absorción de nutrientes, sino que garantiza una mayor supervivencia, mejor crecimiento aéreo y mejores indicadores productivos en etapas posteriores del ciclo del cultivo.

5.2. Altura de planta

Los resultados obtenidos para la variable altura muestran un comportamiento coherente con la fisiología del cultivo de papa y con los patrones reportados en investigaciones previas sobre el efecto de los sustratos en el crecimiento vegetal. En las primeras evaluaciones (15, 30 y 45 DDT) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo cual es comprensible considerando que durante estas etapas tempranas el crecimiento aéreo depende mayormente de las reservas del brote y del establecimiento inicial de la raíz, más que de la estructura física del sustrato. Esta ausencia de diferencias concuerda con lo reportado por Gomes Corso y Almeida (2024), quienes señalaron que la influencia del sustrato en el crecimiento aéreo es limitada durante los primeros días y que su efecto comienza a ser determinante recién después de que la planta desarrolla una masa radicular suficiente. Asimismo, investigaciones como las de Hennouni, y otros (2016) han indicado que las diferencias en altura suelen manifestarse con mayor claridad en fases intermedias y finales del crecimiento, cuando la planta incrementa su demanda de agua y nutrientes y depende más de la eficiencia del sustrato para sostener el desarrollo vegetativo.

A partir de los 60 DDT, los tratamientos comenzaron a diferenciarse de manera significativa, evidenciando el papel fisiológico del sustrato en el crecimiento. En esta etapa, el sistema radicular ya está más desarrollado y la planta requiere un equilibrio adecuado entre aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. Bajo estas condiciones, los sustratos con buena porosidad, como la piedra pómez (T3), brindan ventajas importantes que se traducen en un crecimiento aéreo más vigoroso. El incremento de altura observado en T3 es coherente con los resultados de estudios como los de Gomes Corso & Ferraz Almeida (2024), quienes demostraron que sustratos con alta porosidad y baja densidad aparente favorecen un mayor alargamiento de tallos al permitir una mayor oxigenación radicular y evitar problemas de compactación o hipoxia.

En las evaluaciones de 75 y 90 DDT, las diferencias se hicieron aún más marcadas, destacándose T3 como el tratamiento superior con alturas significativamente mayores respecto a los demás. Este comportamiento puede explicarse porque la piedra pómez permitió una mayor proliferación radicular, lo cual fue corroborado por los propios resultados del experimento, donde T3 obtuvo la mayor masa radicular (19 g). Estudios como el de Gomes Corso y Almeida (2024) han demostrado que, después de los 70 días de crecimiento, existe una relación estrecha entre el desarrollo aéreo y la calidad del sistema radicular, ya que este

determina la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes en momentos de mayor demanda metabólica.

Los tratamientos T1 (compost) y T5 (arena de río) mostraron los valores más bajos de altura en la etapa final, lo cual puede atribuirse a las limitaciones físicas propias de estos materiales. El compost tiende a retener demasiada humedad y puede compactarse, generando falta de oxígeno en la zona radicular, mientras que la arena presenta baja retención hídrica, provocando fluctuaciones de humedad que afectan el crecimiento de los brotes. Estas observaciones coinciden con los resultados de Tican et al. (2022), quienes evidenciaron que sustratos con proporciones inadecuadas de materiales finos o altamente drenantes afectan negativamente la elongación del tallo y la eficiencia fisiológica de la planta.

Al comparar estos resultados con sistemas más tecnificados, como la aeroponía descrita por Valdez Aguilar, y otros (2021) y Buckseth, y otros (2023), se observa que la mayor altura de plantas está estrechamente relacionada con un suministro constante de oxígeno en la rizósfera. Aunque en este experimento se trabajó bajo un sistema convencional de microtúneles, el comportamiento del tratamiento T3 se asemeja parcialmente a lo reportado en aeroponía, debido a que su alta porosidad permite una oxigenación radicular continua. Esto sugiere que la piedra pómez reproduce, en menor escala, algunas de las ventajas fisiológicas observadas en sistemas altamente tecnificados.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la altura de planta en la papa es una variable fuertemente influenciada por la estructura física del sustrato y que este efecto se intensifica conforme avanza el ciclo vegetativo. Mientras que en las etapas iniciales las diferencias son mínimas debido a la baja dependencia del brote respecto al sustrato, en etapas intermedias y especialmente finales el sustrato determina la capacidad radicular y, por ende, el vigor del crecimiento aéreo. El sustrato T3 se consolidó como el más eficiente para promover un crecimiento sostenido y superior, lo cual concuerda ampliamente con la literatura revisada y refuerza la importancia de utilizar sustratos porosos y bien drenados en la propagación de papa bajo microtúneles.

5.3. Peso promedio de tuberculillos (g)

Los resultados obtenidos para el peso promedio de los tuberculillos evidencian nuevamente un efecto marcado del tipo de sustrato sobre la fase reproductiva del cultivo, siendo el tratamiento T3 (piedra pómez) el que presentó los valores más altos, seguido de T4 (Promix),

mientras que T1, T2 y especialmente T5 mostraron los promedios más bajos. Este patrón confirma que la eficiencia del llenado de los tubérculos es un proceso fuertemente dependiente del balance hídrico, la disponibilidad de oxígeno y la estabilidad física del sustrato está directamente condicionada por las propiedades del medio en el que se desarrolla la planta. La piedra pómez, por sus características físicas y su capacidad para mantener una humedad útil sin generar saturación, permitió un flujo constante y eficiente de fotoasimilados hacia los tubérculos en desarrollo, lo que se tradujo en unidades más pesadas y de mayor uniformidad.

El llenado de tubérculos es una fase fisiológica extremadamente sensible al estrés hídrico y a la oxigenación radicular. Cuando las raíces operan en un ambiente con fluctuaciones abruptas de humedad o con limitaciones de oxígeno, la translocación de carbohidratos hacia los órganos de almacenamiento disminuye y gran parte del potencial productivo se pierde. Esto coincide con lo reportado por Jiménez-Terry (2013), quien señala que sustratos con buena aireación y estabilidad física permiten una mayor acumulación de reservas en los tubérculos al evitar restricciones en la absorción de agua y nutrientes. En esa línea, el comportamiento del tratamiento T3 confirma que la piedra pómez proporcionó un entorno fisiológicamente favorable durante las semanas críticas de llenado, permitiendo un aumento significativo en el tamaño y peso de los tuberculillos.

Los resultados también concuerdan con lo descrito por Shelabina y otros (2021), quien indicó que sustratos con equilibrio físico adecuado ni excesivamente drenantes ni excesivamente retenedores de agua mejoran significativamente el llenado de los tubérculos debido a que permiten mantener una presión de turgencia estable y un transporte eficiente de carbohidratos desde el follaje hacia los órganos subterráneos. En este experimento, el mayor peso promedio observado en T3 se relaciona directamente con la combinación de sus propiedades minerales: porosidad elevada, buena disponibilidad de humedad útil, ausencia de compactación y estabilidad durante el ciclo. Todo ello permitió que la planta mantuviera un crecimiento continuo y sin restricciones, lo que se reflejó en tuberculillos más pesados y fisiológicamente más desarrollados.

Por el contrario, los resultados inferiores observados en los tratamientos T1 (compost), T2 (humus) y T5 (arena de río) pueden explicarse por las limitaciones propias de estos sustratos. El compost presenta una tendencia natural a saturarse y compactarse, generando microambientes con baja oxigenación que afectan tanto la respiración radicular como la eficiencia del llenado. El humus, aunque estable, puede retener niveles excesivos de humedad

en microtúneles, lo cual reduce la aireación y limita el transporte de fotoasimilados. La arena de río, en el extremo opuesto, presenta una retención hídrica muy baja, lo que ocasiona fluctuaciones prominentes entre humedad y sequedad, afectando la presión de turgencia y restringiendo la acumulación de reservas en el tubérculo. Estas dinámicas coinciden con los hallazgos de Tican, y otros (2022), quienes demostraron que los sustratos con estructuras físicas inadecuadas tienden a producir minitubérculos más pequeños y de menor peso debido a deficiencias fisiológicas durante la fase de formación y llenado.

Asimismo, los resultados del tratamiento T4 (Promix), que mostró un segundo lugar consistente, se alinean con estudios como el de Shelabina, y otros (2021), quienes encontraron que sustratos enriquecidos y físicamente estables incrementan la masa total y el peso promedio de los minitubérculos debido a que permiten un desarrollo radicular más eficiente y un suministro constante de agua y nutrientes. Esto demuestra que, aunque T4 no alcanzó los niveles de T3, su composición basada en materiales orgánicos livianos y con buena estructura física favoreció el llenado de los tubérculos.

Finalmente, es importante destacar que la superioridad del tratamiento T3 guarda similitudes con lo observado en sistemas más avanzados como la aeroponía. Investigaciones como las de Valdez Aguilar, y otros (2021) y Buckseth et al. (2023) demostraron que los ambientes altamente oxigenados favorecen no solo la formación, sino también el tamaño y peso de los tubérculos al evitar restricciones metabólicas durante el llenado. Aunque el presente estudio se desarrolló bajo un sistema convencional, la piedra pómez logró recrear parcialmente dichas condiciones, proporcionando un ambiente óptimo que permitió maximizar el peso promedio de los tuberculillos. Esto evidencia que, incluso sin recurrir a sistemas tecnificados, un sustrato bien seleccionado puede alcanzar desempeños comparables.

En conjunto, los resultados confirman que el peso promedio de los tuberculillos está estrechamente asociado con la calidad física del sustrato y con su capacidad de mantener condiciones fisiológicas apropiadas durante todo el ciclo. La piedra pómez se consolidó como el sustrato más eficiente, generando tuberculillos más pesados y con mejor potencial fisiológico, lo que concuerda ampliamente con la literatura y refuerza su valor para la producción de semilla prebásica de papa en condiciones de microtúneles.

5.4. Cantidad de tuberculillos

Los resultados obtenidos para la variable cantidad de tuberculillos evidencian que el tipo de sustrato ejerce una influencia directa sobre la capacidad de tuberización de la papa bajo condiciones de microtúneles y riego por goteo. El tratamiento T3 (piedra pómez) alcanzó el número más alto de tuberculillos por planta (9 unidades), seguido por T2 y T4 con valores intermedios, mientras que los tratamientos T1 (compost) y T5 (arena de río) mostraron los promedios más bajos. Este comportamiento demuestra que la fase reproductiva del cultivo está altamente condicionada por la estructura física del sustrato, su disponibilidad de agua útil y su capacidad para mantener una oxigenación adecuada en la zona radicular. La tuberización es un proceso fisiológico sensible a la relación aire-agua del sustrato, y cuando esta relación es desequilibrada por exceso de humedad, compactación o drenaje excesivo la formación y el número de tuberculillos se ve considerablemente afectada.

La superioridad del tratamiento T3 resulta coherente con los fundamentos fisiológicos de la tuberización. La piedra pómez, al presentar una alta porosidad y un drenaje eficiente, garantiza que la rizósfera permanezca en un estado de oxigenación adecuado durante la fase de diferenciación y crecimiento de los tubérculos. Este balance evita condiciones de estrés como la hipoxia radicular, la cual ha sido señalada por Estremadoyro (2016) como uno de los factores que más limita el inicio y desarrollo de tubérculos en ambientes protegidos. Asimismo, la estabilidad física de este sustrato permite que el agua disponible se mantenga en niveles óptimos, evitando fluctuaciones extremas que afecten la translocación de fotoasimilados hacia los órganos subterráneos. Este aspecto es relevante porque la formación de tubérculos depende directamente del flujo continuo de carbohidratos provenientes del follaje, proceso que se ve favorecido cuando las raíces operan en un ambiente sin restricciones.

Los resultados del presente estudio coinciden también con lo reportado por Hennouni, y otros (2016), quienes observaron que los sustratos con mayor porosidad como la turba puzolánica en su tratamiento T4 generaron un mayor número de minitubérculos. Dichos autores concluyeron que el número de tubérculos está estrechamente relacionado con la aireación del medio de cultivo y con la estabilidad estructural del sustrato durante el ciclo. Esta coincidencia no es casual, ya que tanto la piedra pómez como la turba puzolánica comparten características físicas que favorecen el intercambio gaseoso, retienen la humedad necesaria sin saturación y proporcionan un soporte mecánico adecuado para el crecimiento radicular. La similitud entre

ambos estudios confirma que los materiales minerales de alta porosidad son particularmente eficaces para estimular la tuberización.

Por otro lado, investigaciones como las de Gomes Corso & Ferraz Almeida (2024) demostraron que el número de tubérculos está altamente correlacionado con la masa radicular desarrollada durante los primeros 70 días de cultivo. Esto es consistente con los resultados obtenidos en este experimento, donde el tratamiento T3 presentó simultáneamente la mayor masa radicular y el mayor número de tuberculillos. Esta relación biológica tiene fundamento en el hecho de que un sistema radicular bien desarrollado incrementa la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y mejora la eficiencia en el transporte de carbohidratos hacia los estolones en formación. Dicho de otro modo, la producción de tuberculillos no solo depende del ambiente físico del sustrato, sino de la capacidad de las raíces para sostener una demanda metabólica elevada durante la fase de tuberización.

El desempeño inferior de los tratamientos T1 y T5 también guarda relación con lo señalado por Estremadoyro (2016) y Tican, y otros (2022). El compost utilizado en T1 tiene una tendencia natural a compactarse conforme avanza el ciclo, reduciendo la aireación y generando ambientes saturados de humedad que perjudican la diferenciación tuberosa. La arena de río utilizada en T5, si bien evita la compactación, presenta una dinámica hídrica muy fluctuante, con períodos críticos de baja disponibilidad de agua que afectan la formación inicial de tubérculos y reducen la eficiencia en el llenado posterior. Estas limitaciones, descritas por diferentes autores como factores restrictivos, explican la menor producción observada en estos tratamientos.

Finalmente, la superioridad del sustrato T3 guarda cierta correspondencia con lo observado en sistemas tecnificados como la aeroponía. Estudios como los de Valdez Aguilar, y otros (2021) y Buckseth, y otros (2023) demostraron que ambientes con alta oxigenación radicular (típicos de la aeroponía) producen un mayor número de minitubérculos debido a la ausencia de limitaciones físicas y a una disponibilidad hídrica constante. Aunque la presente investigación se realizó en un sistema convencional, la piedra pómez permitió replicar parcialmente estos beneficios al mantener condiciones óptimas de aireación y humedad en la zona radicular. Esto demuestra que, aun sin recurrir a sistemas altamente sofisticados, es posible obtener resultados sobresalientes mediante una selección adecuada del sustrato.

En síntesis, la cantidad de tuberculillos producidos por planta mostró una fuerte dependencia del sustrato, destacando la piedra pómez como el material más eficiente para favorecer este proceso. Sus propiedades físicas favorecieron una mayor masa radicular, mejoraron el flujo de carbohidratos hacia los estolones y aseguraron condiciones estables durante toda la fase reproductiva. Los resultados coinciden ampliamente con investigaciones previas y confirman la relevancia de elegir sustratos con alta porosidad y adecuada retención de humedad para maximizar la producción de tuberculillos en sistemas protegidos.



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

1. **Primera.-** Se concluye que la optimización en la producción de semilla pre-básica de papa en el Fundo La Banda depende de la selección de un sustrato que equilibre la porosidad de aireación (Piedra pómez) con la disponibilidad nutricional (Compost), determinándose que la interacción entre las propiedades físicas del medio y el manejo del espacio vital es el factor determinante para maximizar el rendimiento.
2. **Segunda.-** El tratamiento de piedra pómez (T3) proporcionó las mejores condiciones para la masa radicular alcanzando una masa de 19.00 g, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Le siguió la arena de río (T5) y el humus (T2) con un promedio de 13.00 g cada uno, el promix (T4) con 11.00 g, y finalmente el compost (T1) que obtuvo el valor más bajo con 9.00 g.
3. **Tercera.-** Durante las fases iniciales (15 a 45 DDT) la altura de planta fue homogéneo, pero a los 90 DDT el sustrato de piedra pómez (T3) indujo un comportamiento superior alcanzando la altura máxima final de 28.30 cm, superando estadísticamente al humus (T2) con 23.53 cm, al promix (T4) con 21.70 cm, al compost (T1) con 18.60 cm y la arena de río (T5) que presentó el menor desarrollo con 16.50 cm.
4. **Cuarta.-** En la obtención de tuberculillos el tratamiento T3 (piedra pómez) alcanzo significativamente mayor peso promedio de 7.77 g/tratamiento con una cantidad de 9 unidades por planta. Seguido por el tratamiento T4 (Promix) con 7,13 g con 6 unidades; el tratamiento T2 (Humus) con 5,23 g con 7 unidades; el tratamiento T5 (Arena de río) con 4,60 g con 5 unidades; finalmente el T1 (Compost) con 4.23 g con 5 unidades.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

1. **Primera.-** Se recomienda investigar el efecto de la interacción entre sustratos inorgánicos y orgánicos mediante la combinación de piedra pómez y compost en gradientes volumétricos específicos. Para determinar el punto de equilibrio óptimo entre la porosidad de aireación y la disponibilidad nutricional, se sugiere el estudio comparativo de las proporciones 100% Piedra Pómez: 0% Compost (como testigo inorgánico), 80% Piedra Pómez: 20% Compost, 70% Piedra Pómez: 30% Compost y 60% Piedra Pómez: 40% Compost.
2. **Segunda.-** Realizar futuras investigaciones evaluando el comportamiento de 3 variedades nativas de la zona en la cual se llevara la investigación .
3. **Tercera.-** Se recomienda realizar investigaciones que evalúen la influencia del volumen del contenedor y la densidad de plantación de los brotes sobre el rendimiento final en número y peso de los tuberculillos.
4. **Cuarta.-** Realizar estudios que evalúen la disponibilidad nutricional de los tuberculillos obtenidos en cada tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- abcAgro. (2025). *El cultivo de la papa*. Obtenido de InfoAgro: abcagro.com/hortalizas/papa.asp
- Aecos Pineda, J., & Mamani Huayta, H. H. (2020). *Manual Técnico: Manejo integrado del cultivo de papa*. INIA. Obtenido de <https://repositorio.inia.gob.pe/items/cc6df8ae-815c-474d-a25d-e9b7d67b6740>
- Agro Krebs. (2020). *Fenología del cultivo de papa*. Obtenido de <https://www.facebook.com/agrokrebs/posts/fenolog%C3%ADa-del-cultivo-de-papasi-te-gusta-esta-informaci%C3%B3n-y-quieres-conocer-m%C3%A1s-/901307850353668/>
- AgroEs. (2025). *La Patata, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico o agronómico*. Obtenido de <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/patata/337-patata-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Alcon Callejas, D., Bonifacio Flores, A., & Taboada Belmonte, C. (2019). Caracterización morfológica de tubérculos de la papa amarga según el diálogo de saberes. *SciELO*, 6, 7-20. doi:http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182019000200003
- Bioenergy, G. (2025). *¿Qué son los sustratos?* Obtenido de <https://geniabioenergy.com/que-son-los-sustratos/>
- Bloodnick, E. (2020). *Sustratos PRO-MIX® para cultivos orgánicos: ventajas y características*. Pt Horticulture. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/sustratos-pro-mix-para-cultivos-organicos-ventajas-y-caracteristicas>
- Buckseth, T., Sharma, S., Tiwari, J., Kumar, V., Sharma, A., Challam, C., . . . Singh, R. (2023). Plant Sources Identify Variations In Potato Production Potential Under Aeroponics. *Potato Research*. doi:10.1007/s11540-023-09670-4
- Capezio, S. (2023). *Generalidades: Morfología de la planta de papa (Solanum tuberosum L. ARGENPAPA*. Adaptado de International Potato Center (CIP). Obtenido de

<https://www.argenpapa.com.ar/noticia/13010-generalidades-morfologia-de-la-planta-de-papa-solanum-tuberosum-l>

- Cardenas, S. I., Gonzales, F. J., & Santos, S. J. (2022). Caracterización morfológica de papas nativas (*Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum) de Huanuco. *Investigacion Agraria*, 4, 13-25. doi:10.47840/ReInA.4.2.1394
- Castaneda, G., Perez, A., & Ascencio, L. (2021). Evaluación del efecto del número de tallos en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el rendimiento de minitubérculos a partir de la generación 2 en invernadero. *AgroCiencia*, 4, 50-58. doi:10.5281/zenodo.10668534
- Ccanto Quiñonez, K. B. (2019). Optimización en la obtención de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* L.) a partir de brotes inducidos en el cultivar canchan. Universidad Nacional del Centro del Perú. Jauja, Peru: Repositorio Institucional UNCP. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/528eb0d4-d6a4-42bc-a70f-c58496ae71c7/content>
- Cherlinka, V. (2025). *Cultivo de Papa: Requisitos y Mejores Técnicas*. EOS Data Analytics. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-papa/>
- CIP. (2023). *Morfología de la planta de papa (Solanum tuberosum L.)*. Agronomotips. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/03/02/morfologia-de-la-planta-de-papa-solanum-tuberosum-l/>
- CIP. (2025). *Datos y Cifras de la Papa*. Centro Internacional de la Papa. Obtenido de <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures/>
- Colnago, P., Arana, R., Vilaro, F., Lado, B., Rodriguez, G., & Gonzales Arcos, M. (2023). Alternativa para la multiplicación de semilla de papa de alta aclidad. INIA. *Hortifruticultura*. Obtenido de <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17458/1/Revista-INIA-75-dic-2023-15.pdf>
- Compo. (2025). Granuplant®: Desarrolla tus plantas con piedra pómez. Obtenido de <https://www.compo.es/consejos/cuidados-de-las-plantas/fundamentos/tierra-compost/granuplant-piedra-pomez>

- Corteva. (2021). *Enfermedades y plagas en papa*. Obtenido de <https://www.corteva.co/productos-y-soluciones/proteccion-de-cultivos/enfermedades-y-plagas-en-papa.html>
- Cultivariable. (2022). *Morfología de la patata. Parte 1: Brotes. Patata (Solanum Tuberosum)*. Obtenido de <https://www.cultivariable.com/potato-morphology-part-1-sprouts/>
- Egúsqüiza, B. (2000). *La Papa Producción, Transformación y Comercialización*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=6ciGbBX0uFwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Estremadoyro, R. (2016). *Efecto de la aplicación de micorrizas combinadas con abonos orgánicos en la producción de tuberculillos de papa (Solanum tuberosum L.) var. unica, bajo condiciones de invernadero. Arequipa- 2015*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a4867059-224a-493c-87c1-bed02a29c695/content>
- FAO. (2024). *Cada papa es única, pero algunas son Unica*. Obtenido de <https://www.fao.org/newsroom/story/every-potato-is-unique--some-are-unica/es>
- German Technology. (2025). *Con el humus hacia el futuro. Humin Tech. Humic Substances Based Products*. Obtenido de <https://www.humintech.com/es/agricultura/blog/con-el-humus-hacia-el-futuro#:~:text=Se%20entiende%20generalmente%20que%20el,hay%20personas%20en%20el%20mundo.>
- Getu Yayeh, S., Wassu, M., Woldetsack, K., Bezu, T., Dessalegn, Y., & Asredie, S. (2024). Phenology, growth, and seed tuber yield in potato (*Solanum tuberosum* L) varieties as influenced by plant density at adet, northwestern Ethiopia. *Science Direct, 11*. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e41244
- Gomes Corso, T., & Ferraz Almeida, R. (2024). Substrate combinations in potato planting to increase the production of minitubers. *Comunicata Scientiae, 15*, 1-6. doi:10.14295/CS.v15.4147
- Gomez, B., Garay, E., Oviedo, V., & Zarza, S. (2023). Efecto del ácido giberélico sobre la brotación y emergencia en tubérculos de papa semilla. 15-24. doi:18519342/aiu60103m
- Google Maps. (2025). *Navegación de google*.

- Hennouni, N., Madi, K., Taibi, F., Kestali, T., Etsouri, S., & Boudelaa, M. (2016). *Influence of several substrates on growth parameters and yield of potato minitubers (Solanum tuberosum)*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313429067_Influence_of_several_substrates_on_growth_parameters_and_yield_of_potato_minitubers_Solanum_tuberosum
- InfoAgronomo. (2025). *Etapas y fases fenológicas de la Papa*. Obtenido de <https://infoagronomo.net/etapas-y-fases-fenologicas-de-la-papa/>
- INIA. (2010). *Producción de papa mediante brotes*. Obtenido de <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/341f2516-0cf9-43af-83f5-e49690ef5095/content#:~:text=3.,plantas%20presentan%20un%20aspecto%20d%C3%A9bil.&text=Si%20no%20hubiese%20lluvia%20aplicar,de%204%20d%C3%ADas%20del%20trasplante.&text=Despu>
- Intagri. (2020). *Requerimientos de Clima y Suelo para el cultivo de la papa*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>
- Jiménez-Terry, F., Agramonte, D., Pérez, M., Pons, M., Rodríguez, M., La O, M., . . . Leiva-Mora, M. (2013). *Efecto del sustrato sobre la producción de minitubérculos de papa en casa de cultivo a partir de plantas in vitro*. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2016/vol16/no4/9.pdf>
- Labotario, C. (2025). *Qué es un Buen Compost y Cómo Aplicarlo*. Obtenido de <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/fertilizantes-y-abonos/que-es-un-buen-compost-y-como-aplicarlo/>
- Martínez, C., & Nicolás, O. (2023). *Morfología de la planta de papa (Solanum tuberosum L.)*. Portal Frutícola. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/03/02/morfologia-de-la-planta-de-papa-solanum-tuberosum-l/>
- Mercafresh. (2025). *Descubre los Beneficios de la Papa Única para Tu Salud*. Obtenido de <https://mercafreshperu.com/product/papa-unica/>
- MIDAGRI. (2023). *El Perú es el primer productor de papa en América Latina y el sustento de más de 700 mil familias*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. gob.pe. Obtenido

de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/769389-el-peru-es-el-primer-productor-de-papa-en-america-latina-y-el-sustento-de-mas-de-700-mil-familias>

Momediano Cuellar, J. R. (2023). *Multiplicacion rapida de clones (G1) para la produccion de tuberculos de papa (G2) en la E.E.A. Mantaro - Universidad Nacional del Centro del Perú*. UNCP. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7388b9f2-750d-452d-920b-28c3fbe2202a/content>

Núñez, T. (2022). *El origen de las papas y su importancia cultural: el superalimento de la cordillera de los Andes*. Ladera Sur. Arte, Cultura y Patrimonio, Ciencia y Biodiversidad. Obtenido de <https://laderasur.com/articulo/el-origen-de-las-papas-y-su-importancia-cultural-el-superalimento-de-la-cordillera-de-los-andes/?srsltid=AfmBOoreWHOVsjCo2yftMSasrizz6uv2pRSHzdNkV03yBPL23hBew97r>

Ramos Santiago, Z. (2004). *Brotos: Nueva Alternativa Técnica en la Producción Moderna de papa*. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria INIA. Obtenido de <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5a0c1dec-39cd-4a43-9363-13dfe9f03c1f/content#:~:text=OBTENCI%C3%93N%20DE%20BROTOS&text=Un%20tub%C3%A9rculo%20puede%20producir%20de,y%20el%20n%C3%BAmero%20de%20ojos.&text=Los%20agricultores%20gene%>

Reategui, K., Aguirre, N., Oliva, R., & Aguirre, E. (2019). Fenología y rendimiento de cuatro variedades de papa en el Altiplano peruano. *Scientia Agropecuaria*, 10, 265-274. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.02.12

Sacosa. (2023). *Arena de Río*. Obtenido de <https://sacosa.es/que-es-la-arena-de-rio/>

Searles, L. (2025). *Papa: conoce la historia de este tubérculo de origen peruano*. Peru Travel. Promperú. Obtenido de <https://www.peru.travel/es/masperu/papa-conoce-la-historia-de-este-tuberculo-de-origen-peruano>

Sembralia. (2021). *Tipos de sustratos para el cultivo de plantas. Consejos y variedades para acertar con el sustrato*. Obtenido de <https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-sustrato?srsltid=AfmBOopjIYE35GB6llyszjlsTVaQ3d5VA810-KiNJZkklIMMu2KaRSjmV>

Shelabina, T., Danilov, D., Rodionenkov, A., & Kusnetsov, A. (2021). *Influencia del medio de cultivo en los parámetros y capacidad de rendimiento de la papa mini tubérculo de la variedad Charoite*. *Knowledgee*. doi:10.18502/kl.v0i0.8994

Tican, A., Cioloca, M., Badarau, C. L., & Popa, M. (2022). Investigación sobre la influencia de la variedad, el sustrato de cultivo y el espacio nutricional en la producción de minituberos de papa. *Scientific Papers, LXV*, 547-552. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366139278_RESEARCH_ABOUT_INFLUENCE_OF_VARIETY_CULTURE_SUBSTRATE_AND_NUTRIENT_SPACE_ON_POTATO_MINITUBERS_PRODUCTION

Valdez Aguilar, L. A., Ramirez Rodriguez, H., Zermeno Gonzales, A., & Cadena Zapata, M. (2021). Producción de minitubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco. *Terra latinoam*, 39. doi:10.28940/terra.v39i0.902



ANEXOS

Anexo 1

Análisis de agua Informe de análisis de agua -nutricional. Muestra

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a 26 °C	8.72		EPA 150.1	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.	2.61	mS / cm	EPA 120.1	Electrométrico
Calcio (Ca)	9.05	mEq-g / L	EPA 215.1	FAAS
Magnesio (Mg)	6.28	mEq-g / L	EPA 242.1	FAAS
Sodio (Na)	10.23	mEq-g / L	EPA 273.1	FAAS
Potasio (K)	0.70	mEq-g / L	EPA 258.1	FAAS
Amonio (NH ₄ ⁺)	< 0.01	mEq-g / L	UNE 77028:1983	Volumétrico
Cloruro (Cl ⁻)	5.27	mEq-g / L	SM 4500 Cl- B	Argentométrico
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	14.19	mEq-g / L	EPA 375.4	Turbidimétrico
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0.19	mEq-g / L	MEA - 001	Colorimétrico
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	< 0.02	mEq-g / L	SM 2320 B	Volumétrico
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	5.71	mEq-g / L	SM 2320 B	Volumétrico
Fósforo (H ₂ PO ₄ ⁻)	< 0.01	mEq-g / L	SM 4500-P B,E	Colorimétrico
Cobre (Cu)	< 0.01	ppm	EPA 220.1	FAAS
Zinc (Zn)	0.04	ppm	EPA 289.1	FAAS
Manganeso (Mn)	0.01	ppm	EPA 243.1	FAAS
Hierro (Fe)	0.15	ppm	EPA 236.1	FAAS
Boro (B)	6.40	ppm	ISO 9390 : 1990	Colorimétrico
R. A. S.	3.69		MEA - 002	Cálculo Matemático

DONDE:

R.A.S. : Relación de Adsorción de Sodio.
 ppm : mg / L
 MEA : Método propio del Laboratorio.
 FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica.

NOTA:

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


MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO




MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

Anexo 2

Análisis de sustratos



LABORATORIO DE SERVICIOS: AGUAS, SUELOS, PLANTAS Y ABONOS ORGANICOS ANALISIS FISICO QUIMICO Y MINERALES AFQUIM S.A.C.

SOLICITANTE	HENRRY JUNIOR POSTIGO HUALLPA
PROCEDENCIA	Fundo la Banda Huasacache-Arequipa
TIPO DE MUESTRA	Humus, Compost y Promix
FECHA DE INGRESO A LAB.	14/10/2025
TERMINO DE ANALISIS	17/10/2025
ENTREGA DE MUESTRA A LAB.	1.0 Kg. de muestra en forma humeda
ANALISIS SOLICITADO	Macro elementos, Fosforo y potasio en forma disponible.

N° Lab	N° Muestra	pH Ext. 1:5	C.E. Ext. 1:5	% N Total	% M.O.	ppm P2O5 Disponible	ppm K2O Disponible	% C	Relación C/N	% Humedad
1500	Humus	8.35	2.29	0.92	17.48	1400.00	6926.45	10.14	11.02	--
1501	Compost	8.18	4.56	1.29	20.17	1800.00	7905.19	11.70	9.07	--
1502	Promix	6.04	0.33	0.78	69.48	3400.00	993.80	40.30	51.67	--

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CIC.

N° Lab	N° Muestra	Ca meq/100g	Mg meq/100g	Na meq/100g	K meq/100g	Sumatoria CIC	Interpretación
1500	Humus	21.600	2.400	0.487	10.256	34.743	Alto
1501	Compost	28.000	3.200	1.435	8.974	41.609	Muy Alto
1502	Promix	65.200	7.200	0.486	1.692	74.578	Muy Alto

- NOTA: - Determinación de fosforo y potasio en forma disponible, no en forma Total.
 - Para hallar el porcentaje del elemento de P y K dividir entre 10000.
 - Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico CIC en meq/100g de muestra

Laboratorio Aguas Suelos
Plantas AFQUIM
RESPONSABLE DE LABORATORIO


 RESPONSABLE DE LABORATORIO
 CIP. 210993 - AGRÓNOMO

**LABORATORIO DE SERVICIOS: AGUAS, SUELOS, PLANTAS Y ABONOS
ORGANICOS AFQUIM S.A.C**

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Elementos	Unidad	Deficiente	Bajo	Normal	Alto	Excesivo
N	%	0 - 0.05	0.05 - 0.12	0.12 - 0.18	0.18 - 0.30	0.31 a +
P	ppm	0 - 3	3.0 - 7.0	7.0 - 14.0	14.0 - 25.0	26.0 a +
K	ppm	0 - 75	75 - 125	125 - 176	177 a +	
M.O	%	0 - 1.5	1.5 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 a +
CO ₃ Ca	%	0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	3.0 - 6.0	6.0 a +
C.E	dS/m 1:2,5	No salino 0 - 0.5	Débilmente salino 0.5 - 1.0	Moderadamente salino 1.0 - 2.0	Salino 2.0 - 3.0	Muy salino 3.0 a +
pH	1:2,5	Fuertemente ácido 3.5 - 5.5	Moderadamente ácido 5.6 - 6.5	Neutro 6.5 - 7.3	Moderadamente alcalino 7.4 - 8.4	Fuertemente alcalino 8.5 a +

METODOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACION

ELEMENTOS	METODOS	
	Nombre	Tipo de medición
Carbon Organic - M.O.	Walkley and Black (modification)	Titulación
P ₂ O ₅	Olsen (modificado extracto NaHCO ₃ 0.5M pH 8.5)	Colorimetría
K ₂ O	Acetato de Amonio pH 7.0	Fotometría de llama
Textura	Buoyucos	Hidrometro
CO ₃ Ca	Wesenaël	Gravimétrico
Ca + Mg	Complejo métrico EDTA - versenato	Titulación
Na + K	Fotómetro de llama	Espectrofotometría
CO ₃ - HCO ₃	Potenciómetro	Método electrodo
Cl	Precipitación como ClAg	Titulación
SO ₄	Precipitación como SO ₄ Ba	Colorimetría
N total	Micro Kjeldahl	Colorimetría-volumetría
pH	Extracto 1:2,5	Potenciómetro
C.E.	Extracto 1:2,5	Conductímetro

Fuente: ISRIC The-Netherlands-Royal Tropical Institute.

Laboratorio Aguas Suelos
Plantas AFQUIM

RESPONSABLE DE LABORATORIO



ING. ALDIA LACRUZ BUSTAMANTE
C.R. 270393 - AGRÓNOMO

• 1961 •

Anexo 3
Fotografías del trabajo de investigación

Preparación de los sustratos



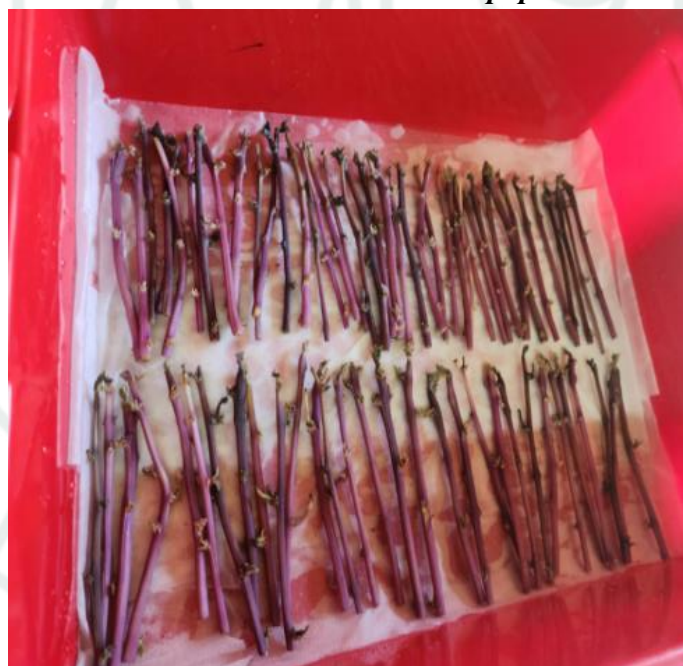
Preparación de los micro túneles con los sustratos (nivelación del terreno)



Instalación del sistema de riego por goteo en los micro túneles



Selección de los brotes de papa



Siembra de los brotes en los microtuneles



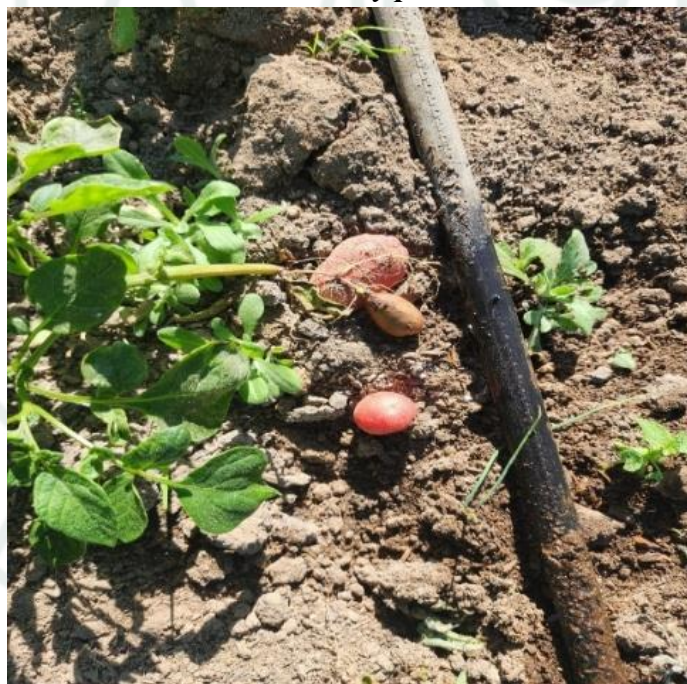
Evaluación de masa radicular



Altura de planta



Cantidad de tuberculillos y peso de tuberculillos



Cosecha



Control Fitosanitario



Anexo 4

Masa radicular

PROMEDIO MASA RADICULAR				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	8.7	9.3	9	27
T2	12.7	13	13.3	39
T3	18.6	19.2	19.2	57
T4	10.8	11.1	11.1	33
T5	12.5	13.2	13.3	39
Σ	63.3	65.8	65.9	195

Anexo 5

Promedio Altura de planta a los 15-30-45-60-75-90

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 15 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	9.09	9.2	9.38	27.67
T2	9.34	8.45	8.26	26.05
T3	9.87	8.45	9.77	28.09
T4	10.31	9.96	11.22	31.49
T5	9.35	8.86	10.37	28.58
Σ	47.96	44.92	49	141.88

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 30 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	9.55	8.78	9.08	27.41
T2	8.84	8.5	8.54	25.88
T3	10.04	8.99	10.06	29.09
T4	10.73	11.38	10.81	32.92
T5	8.89	9.15	10.41	28.45
Σ	48.05	46.8	48.9	143.75

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 45 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	9.41	9.46	9.6	28.47
T2	9.51	9.01	9.8	28.32
T3	10.3	8.86	9.72	28.88
T4	10.58	10.27	11.18	32.03
T5	8.6	9.27	10.2	28.07
Σ	48.4	46.87	50.5	145.77

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 60 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	14.9	15.3	14.3	44.5
T2	16.6	17.2	15.9	49.7
T3	17.4	15.8	16.6	49.8
T4	17.4	17	14.3	48.7
T5	18.4	17.8	17.4	53.6
Σ	84.7	83.1	78.5	246.3

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 75 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	18.2	19.3	17.6	55.1
T2	22.4	23.2	24.1	69.7
T3	28.9	27.8	29.2	85.9
T4	21.6	22.1	20.9	64.6
T5	16	17.4	15.7	49.1
Σ	107.1	109.8	107.5	324.4

PROMEDIOS TRATAMIENTOS ALTURA PLANTA 90 DIAS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	18.6	19.4	17.8	55.8
T2	23.7	24.3	22.6	70.6
T3	29.1	28.3	27.5	84.9
T4	22.4	21.9	20.8	65.1
T5	16.5	17.1	15.9	49.5
Σ	110.3	111	104.6	325.9

Anexo 6

Promedio peso de tuberculillos

PROMEDIO PESO TUBERCULILLOS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	4.2	4.5	4	12.7
T2	5.1	5.4	5.2	15.7
T3	7.8	8	7.5	23.3
T4	7.3	7	7.1	21.4
T5	4.6	4.8	4.4	13.8
Σ	29	29.7	28.2	86.9

Anexo 7

Promedio cantidad de tuberculillos

PROMEDIO CANTIDAD TUBERCULILLOS				SUMA
Tratamientos	B1	B2	B3	Σ
T1	5	6	5	16
T2	7	7	7	21
T3	9	9	9	27
T4	6	7	6	19
T5	5	5	5	15
Σ	33	34	32	98