

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



TESIS DE GRADO

**PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE-BÁSICA DE PAPA (*Solanum
tuberosum* sp.) DE LAS VARIEDADES HUAYCHA Y JATUN PUKA
EN DOS TIPOS DE SUSTRATO BAJO INVERNADERO
TECNIFICADO EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA - LA PAZ**

Por:

Sandra Huaraya Paye

EL ALTO – BOLIVIA

Noviembre, 2025

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

**PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE-BÁSICA DE PAPA (*Solanum tuberosum* sp.) DE
LAS VARIEDADES HUAYCHA Y JATUN PUKA EN DOS TIPOS DE SUSTRATO BAJO
INVERNADERO TECNIFICADO EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA - LA PAZ**

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

Sandra Huaraya Paye

Asesores:

Lic. Ing. Soledad Chávez Vино

Ing. Juan Samuel Huarachi Llave

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Paulino Bruno Condori Ali

Lic. Ing. Teofilo Serrano Canaviri

Lic. Ing. Felix Wilfredo Rojas

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

A Jonatan Abel Limachi Valdez, en el cielo

Esta tesis es más que palabras en papel; refleja parte de tu esfuerzo, dedicación y pasión. Hoy, con el corazón lleno de amor y nostalgia, continúo tu camino, honrando lo que iniciaste y recordando con respeto la etapa de vida que compartimos. Siempre atesoraré en mi memoria cada enseñanza y cada momento vivido juntos.

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mis padres, Lisandro Huaraya Callisaya y Luisa Paye Machaca, por su apoyo constante. Su ejemplo me ha enseñado a afrontar los desafíos con fortaleza, a mantener mis valores y principios, y a perseverar siempre. Con todo mi amor y respeto, gracias por ser mi mayor pilar, este logro también les pertenece.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por guiarme y darme la fortaleza y sabiduría necesaria para culminar con éxito esta etapa académica.

A la Universidad Pública de El Alto, a la carrera de Ingeniería Agronómica y a todos los docentes mi sincero agradecimiento por la formación académica las enseñanzas y los valores transmitidos que hicieron posible la culminación de esta meta.

A mis asesores, Lic. Ing. Soledad Chávez Vино e Ing. Juan Samuel Huarachi Llave, por su orientación, apoyo constante y valiosas sugerencias que contribuyeron de manera decisiva al desarrollo y redacción de este trabajo de investigación.

Al tribunal revisor Dr. Paulino Bruno Condori Ali, Lic. Ing. Teófilo Serrano Canaviri y Lic. Ing. Félix Wilfredo Rojas mi más sincero agradecimiento por el tiempo dedicado, sus observaciones y aportes que enriquecieron la calidad de este estudio.

Mi sincero agradecimiento a la empresa Orkidea Andina, por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis en sus instalaciones, por cubrir los gastos del proyecto y por su confianza y apoyo logístico durante todo el proceso.

Expreso mi agradecimiento a la Iglesia Evangélica Metodista en Bolivia, por el apoyo económico brindado durante mi carrera académica.

A mi familia, por el apoyo brindado y por ser el sustento indispensable a lo largo de mi formación; en especial a mi hermana Eudalia Huaraya Paye por su acompañamiento directo durante este proceso, y a mis demás hermanos, Raúl Huaraya Paye, Juan Rodrigo Huaraya Paye y Juana Bertha Huaraya Paye, por su constante presencia y respaldo a lo largo de mi vida.

Mi agradecimiento a Miguel Ángel Barranco Seoane por su apoyo emocional y sus aportes en la revisión de mis primeras ideas, que me impulsaron a seguir avanzando.

A mis amistades y compañeros cercanos, por el apoyo y la motivación brindado; en especial a mi amiga Ludmila Maya Mamani Aliaga, por su apoyo moral y, sobre todo, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo de esta tesis.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis.....	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Origen de la papa	6
2.2. Clasificación taxonómica.....	6
2.2.1. Descripción morfológica de variedades Huaycha y Jatun Puka.....	7
2.2.1.1. Variedad Huaycha.....	7
2.2.1.2. Variedad Jatun Puka	7
2.3. Biotecnología aplicada a la producción de semilla	8
2.3.1. Micropropagación de vitroplantas.....	9

2.3.2.	Establecimiento.....	9
2.3.3.	Inducción de brotes.....	10
2.3.4.	Multiplicación	10
2.3.5.	Aclimatación.....	11
2.4.	Importancia de la semilla pre-básica.....	11
2.5.	Producción de semilla de papa por categoría	11
2.5.1.	Semilla pre-básica.....	12
2.5.1.1.	Características de semilla pre-básica	12
2.5.2.	Semilla básica	13
2.5.3.	Semilla registrada	13
2.5.4.	Semilla certificada	13
2.5.5.	Semilla fiscalizada.....	13
2.6.	Producción de papa en Bolivia.....	14
2.7.	Producción de semilla de papa en Bolivia.....	15
2.8.	Normas de la producción de semilla de papa.....	15
2.9.	Manejo integrado de plagas y enfermedades.....	15
2.9.1.	Enfermedades más importantes que afectan al cultivo de papa	16
2.9.2.	Plagas clave en el cultivo de papa	16
2.10.	Sustratos en la producción de semilla pre-básica	17
2.10.1.	Características físicas	17
2.10.2.	Características químicas	17
2.10.3.	Sustratos.....	18
2.10.3.1.	Turba.....	18
2.10.3.2.	Arena.....	18
2.10.3.3.	Cáscara de castaña.....	18
2.11.	Invernaderos tecnificados	18

3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Localización	20
3.1.1. Ubicación geográfica.....	20
3.2. Materiales	21
3.2.1. Material genético de estudio.....	21
3.2.2. Material de escritorio	21
3.2.3. Material de campo.....	21
3.3. Metodología	22
3.3.1. Desarrollo del experimento.....	22
3.3.1.1. Preparación y desinfección del sustrato	22
3.3.1.2. Aclimatación de vitroplantas.....	23
3.3.1.3. Trasplante general	23
3.3.1.4. Riego y manejo nutricional durante el ciclo fenológico del cultivo	24
3.3.1.5. Aporque	24
3.3.1.6. Control fitosanitario	24
3.3.1.7. Tutoraje de las plantas	25
3.3.1.8. Muestreo de folíolos y tubérculos	26
3.3.1.9. Defoliación y suberización de los tubérculos	26
3.3.1.10. Cosecha y lavado de los tubérculos	27
3.3.1.11. Selección y almacenamiento	27
3.3.2. Diseño experimental	28
3.3.3. Factores de estudio.....	28
3.3.4. Formulación de tratamientos	29
3.3.5. Variables de respuesta.....	29
3.3.5.1. Porcentaje de prendimiento.....	29
3.3.5.2. Altura de planta	29

3.3.5.3.	Número de tubérculos por planta	29
3.3.5.4.	Peso de tubérculos por planta	30
3.3.5.5.	Rendimiento por m ²	30
3.3.6.	Análisis económico	30
3.3.6.1.	Ingreso bruto (IB)	31
3.3.6.2.	Ingreso neto (IN)	31
3.3.6.3.	Beneficio/costo	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Condiciones de temperatura y humedad registradas dentro del invernadero (diciembre 2024 a mayo 2025)	32
4.1.1.	Temperatura	32
4.1.2.	Humedad	33
4.2.	Análisis estadístico de porcentaje de prendimiento	34
4.3.	Análisis estadístico de altura de planta	37
4.4.	Análisis estadístico de número de tubérculos por planta	39
4.5.	Análisis estadístico peso de tubérculos por planta	43
4.6.	Análisis estadístico de rendimiento por m ²	45
4.7.	Análisis del rendimiento en calibres de metro cuadrado	47
4.8.	Análisis económico	50
4.8.1.	Ingreso bruto	50
4.8.2.	Ingreso neto	51
4.8.3.	Beneficio/Costo	52
5.	CONCLUSIONES	53
6.	RECOMENDACIONES	54
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	55
8.	ANEXOS	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Descripción morfológica de la variedad Huaycha	7
Cuadro 2.	Descripción morfológica de variedad Jatun Puka	8
Cuadro 3.	Aplicaciones de pesticidas y nutrientes durante el ciclo vegetativo del cultivo...	25
Cuadro 4.	Análisis de varianza del porcentaje de prendimiento.....	34
Cuadro 4.	Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el porcentaje de prendimiento	34
Cuadro 4.	Análisis comparativo Duncan para el factor B sobre el porcentaje de prendimiento	34
Cuadro 7.	Análisis de varianza de altura de planta	37
Cuadro 8.	Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre la altura de planta	38
Cuadro 9.	Análisis de varianza para el número de tubérculos producidos por planta	40
Cuadro 10.	Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el número de tubérculos por planta	42
Cuadro 11.	Análisis comparativo Duncan para el factor B sobre el número de tubérculos por planta	42
Cuadro 12.	Análisis de varianza de peso de tubérculos por planta	43
Cuadro 13.	Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el peso de tubérculos por planta	44
Cuadro 14.	Análisis de varianza de rendimiento de peso tubérculos por m ²	45
Cuadro 15.	Análisis comparativo de Duncan para el factor A sobre el rendimiento	46
Cuadro 16.	Cuadro de calibres según peso (g).....	48
Cuadro 17.	Análisis económico de ingreso bruto para producción de semilla de papa	51
Cuadro 18.	Análisis económico de ingreso neto para producción de semilla de papa .	51
Cuadro 19.	Análisis económico de la relación beneficio-coste parcial de la producción de semilla de papa	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Proceso de certificación de semillas	12
Figura 2.	Etiquetas de la generación de categorías de semilla de papa	14
Figura 3.	Ubicación del invernadero de papa de la Corporación Orkidea Andina	20
Figura 4.	Temperaturas en el interior del invernadero	32
Figura 5.	Humedad en el interior del invernadero.....	33
Figura 6.	Porcentaje de prendimiento en base a los tratamientos según la interacción variedad y sustrato.....	36
Figura 7.	Altura de planta según la interacción factor A*B.....	38
Figura 8.	Número de tubérculos por planta en la interacción entre el factor A y B.....	41
Figura 9.	Peso de tubérculos por planta en la interacción entre el factor A y B	44
Figura 10.	Rendimiento (kg) /m ² en la interacción entre el factor A y B	47
Figura 11.	Rendimiento de peso de tubérculos por m ² en base a los calibres.....	49
Figura 12.	Rendimiento de número de tubérculos por m ² de cada tratamiento en calibres	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del diseño experimental	59
Anexo 2.	Factura de la compra de vitroplantas.	60
Anexo 3.	Procedimiento de las labores experimentales	61
Anexo 4.	Resultados del análisis de varianza de las variables de estudio.....	74
Anexo 5.	Resultados de análisis de laboratorio DAS-ELISA	78

ABREVIATURAS

m	Metro
cm	Centímetro
PVX	Virus X de la papa
PVY	Virus Y de la papa
PLRV	Virus del enrollamiento de la hoja de papa
PVS	Virus S de la papa
APMV	El virus del moteado andino de la papa
APLV	Virus latente de la papa andina
PVA	El virus de la papa A
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
ELISA	Ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas
IBA	Ácido indol-3-butírico
MS	Murashige y Skoog
BAP	6-bencilaminopurina
ANA	Ácido naftalenacético

RESUMEN

La producción de semilla pre-básica de papa es todavía limitada en Bolivia, por lo que esta investigación se realizó en un invernadero tecnificado de 350 m², equipado con riego automatizado y control de temperatura y humedad, lo que garantizo un manejo sanitario y nutricional adecuado en el Centro de Investigación Tecnológico (CIT), con el objetivo de evaluar la producción de semilla pre-básica de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* sp.) en dos tipos de sustrato.

Las dos variedades de papa, en combinación con cada una de los dos sustratos, se evaluaron bajo el diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial con cuatro tratamientos y seis repeticiones en un total de 24 unidades experimentales. Las variables de respuesta fueron porcentaje de prendimiento donde el T1 (V1S1) presento 97,85% evidenciando una excelente adaptación de esta variedad en condiciones de invernadero. En cuanto a la altura de planta, destaco el T2 (V1S2) con 74,15 cm, superando significativamente a la variedad Jatun Puka, que presento alturas menores. Respecto al número de tubérculos por planta, el mayor promedio presento T2 con 15,7 tubérculos, mientras que la variedad Jatun Puka destaco por producir tubérculos de mayor peso individual, alcanzando en el T3 (V2S1) 0,22 kg por planta. En el rendimiento por metro cuadrado, el mejor resultado logro el T4 (V2S2) con 8,47 kg/m² confirmando el potencial productivo de esta combinación. En cuanto a la clasificación por calibres, los tratamientos (T3 y T4) mostraron los mejores resultados en calibre II, considerado óptimo para semilla, mientras que los tratamientos (T1 y T2) se destacaron en calibre III, el más demandado en el mercado.

Desde el punto de vista económico todos los tratamientos fueron rentables (B/C>1) sobresaliendo el T3 con una relación beneficio/costo de 3,10 lo que significa que por cada boliviano invertido genero una ganancia de 2,10 Bs.

La producción de semilla pre-básica de papa en invernadero tecnificado demostró ser una alternativa viable para obtener material de alta calidad sanitaria y fisiológica. La variedad Huaycha mostró un mejor prendimiento y mayor número de tubérculos, mientras que Jatun Puka aportó mayor peso y rendimiento, confirmando que la combinación adecuada de variedad y sustrato puede mejorar tanto la productividad como rentabilidad.

ABSTRACT

The production of pre-basic potato seed is still limited in Bolivia, so this research was carried out in a 350 m² technologically advanced greenhouse, equipped with automated irrigation and temperature and humidity control, which guaranteed adequate sanitary and nutritional management at the Technological Research Center (CIT), with the objective of evaluating the production of pre-basic seed of two varieties of potato (*Solanum tuberosum* sp.) in two types of substrate.

The two potato varieties, in combination with each of the two substrates, were evaluated using a completely randomized block design with a two-factor arrangement, four treatments, and six replicates, for a total of 24 experimental units. The response variables were the percentage of successful planting, where T1 (V1S1) showed 97.85%, demonstrating excellent adaptation of this variety under greenhouse conditions. Regarding plant height, T2 (V1S2) stood out with 74.15 cm, significantly surpassing the Jatun Puka variety, which exhibited lower heights. As for the number of tubers per plant, T2 had the highest average with 15.7 tubers, while the Jatun Puka variety stood out for producing tubers with greater individual weight, reaching 0.22 kg per plant in T3 (V2S1). In terms of yield per square meter, T4 (V2S2) achieved the best result with 8.47 kg/m², confirming the productive potential of this combination. Regarding size classification, treatments T3 and T4 showed the best results in size II, considered optimal for seed, while treatments T1 and T2 stood out in size III, the most in-demand size on the market.

From an economic point of view, all treatments were profitable ($B/C > 1$), with T3 standing out with a benefit/cost ratio of 3.10, which means that for every Bolivian boliviano invested, it generated a profit of 2.10 Bs.

The production of pre-basic potato seed in a technologically advanced greenhouse proved to be a viable alternative for obtaining high-quality material in terms of sanitary and physiological characteristics. The Huaycha variety showed better establishment and a greater number of tubers, while Jatun Puka contributed greater weight and yield, confirming that the appropriate combination of variety and substrate can improve both productivity and profitability.

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye la base de la alimentación en la zona andina y provee al productor mayores ingresos económicos. Su productividad depende de diversos factores como: calidad de semilla, fertilidad de los suelos, condiciones ambientales y climáticas, y presencia de plagas y enfermedades, que influyen en los rendimientos obtenidos, el uso de tubérculos semilla de buena eficacia, garantiza el buen desarrollo del cultivo y su buena capacidad productiva (Cahuana, 2020).

La papa es cultivada por aproximadamente 200.000 pequeños productores que dependen de variedades nativas de papa. Sin embargo, la producción de semilla certificada de papa a nivel nacional no satisface la demanda anual de semilla para producción comercial. Esto se debe a que existen entidades formales y asociaciones registradas en el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) que se dedican a la producción de semilla certificada de un número limitado de variedades comerciales que no logran satisfacer la demanda de los productores (Otieno y Cadima, 2021).

Según Chorlavi (2022) Uno de los factores del bajo rendimiento del cultivo de papa, es la calidad de semilla. Frente a esta necesidad las investigaciones sobre la producción de semilla pre-básica a partir de plántulas *in vitro*, es de gran importancia, ya que se puede lograr producir semillas de buena calidad y en gran número, para poder optimizar el rendimiento del cultivo de papa.

La semilla certificada presenta múltiples beneficios agronómicos y económicos. Entre los más relevantes se encuentran la garantía de pureza genética del cultivo, la expresión más eficiente del potencial productivo y la reducción significativa en la desinanciación de virus y enfermedades. Además, permite un mejor aprovechamiento de los insumos y genera mayores ingresos para productores y semilleristas, al asegurar un producto final de mejor calidad y con mayor comercial (Campos, 2011).

1.1. Antecedentes

El trabajo realizado por Rocabado *et al.* (2022) en la Estación Experimental Toralapa (E.E. Toralapa) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), en el departamento de Cochabamba, consistió en la limpieza viral y producción de semilla pre-básica de cinco variedades nativas de papa priorizadas en base a su importancia social,

cultural y comercial: Laram Paya, Yana Imilla, Sani Imilla Negra, Azul Luki y Pinta Boca. El proceso de limpieza viral (termoterapia y cultivo de meristemos) fue exitoso en las cinco variedades para siete especies virales (PVX, PVY, PLRV, PVS, APMV, APLV y PVA). En el proceso de producción de semilla pre-básica se obtuvieron cinco calibres de tubérculos (II-VI) y un rendimiento de 4,4 kg/m² y 6,1 kg/m², dependiendo de la variedad.

Según INIAF (2020), la producción de semilla pre-básica de papa es una actividad que ha garantizado la provisión de semilla a pequeños y medianos productores de papa, además de contribuir a la seguridad alimentaria. El año 2012 con el proyecto del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) se empezó a producir semilla de calidad en camas protegidas, en las que se produjo tubérculos semilla sanos para sembrarlos en campo, debido a que permite controlar la humedad y la temperatura al interior de las mismas protegiendo al cultivo de heladas, granizadas, fuertes lluvias y vientos.

Camposeco (2015), en la Estación Experimental Labor Ovalle (ICTA, Guatemala), evaluó el efecto de seis sustratos (peatmoss, suelo de Labor Ovalle, tenzontle, arena de río, arena blanco y poma) sobre la producción de semilla pre-básica de papa variedad Loman. Los resultados fueron que el sustrato peatmoss obtuvo los mejores resultados agronómicos y económicos con un rendimiento de 5,46 kg/m² con un número de tubérculos 423/m² y 18 tubérculos/planta. Le siguieron en efectividad el tezontle y el suelo de Labor Ovalle, mientras que los sustratos arena blanca, arena del río y poma presentaron menor rendimiento y número de tubérculos.

Garcia *et al.* (2017), evaluó dos métodos de producción de semilla pre-básica (convencional y aeropónico), y dos variedades (Seranita y Chucmarina) en términos de productividad y beneficios económicos, en el Centro Internacional de la Papa- Lima en la época de verano, donde resultó que, el mejor promedio de tubérculos >5g, fue del sistema Aeroponía Seranita con 324 tubérculos/m². el mayor promedio de tubérculos <5g lo obtuvo sistema aeropónico (198 tubérculos/m²). Las altas temperaturas a las que estuvo expuesto el cultivo provocaron baja productividad resultante del estrés de la planta. El menor costo total de producción por metro cuadrado (\$37,98/m²), se obtuvo en el sistema convencional en ambas variedades. El mayor ingreso total y rentabilidad lo obtuvo el sistema Aeropónico- Seranita (\$125,16).

1.2. Planteamiento del problema

El principal problema relacionado con la semilla de papa en Bolivia está vinculado a la calidad y disponibilidad de semillas certificadas, los agricultores reutilizan semillas (tubérculos) de ciclos anteriores, lo que aumenta la acumulación de enfermedades como la podredumbre bacteriana, los virus (PVY, PLRV) y otros patógenos que reducen el rendimiento y la calidad del cultivo.

En el país, existe una baja producción y distribución de semilla certificada y a un costo muy alto que limita al productor de papa, adquirir la semilla, lo que obliga a los agricultores a depender de semillas locales no certificadas. Esto repercute en menores rendimientos y problemas sanitarios y uno de los factores son las condiciones agroclimáticas adversas como heladas, granizo y sequías afectan la producción de semilla, los sistemas de almacenamiento tradicionales no siempre son adecuados para mantener la calidad del tubérculo semilla.

Además de la importancia estratégica de la producción de semilla pre-básica de papa para garantizar la sanidad y el rendimiento del cultivo, existen dificultades técnicas y agronómicas que limitan su desarrollo. El uso de sustratos no estandarizados, la presencia de plagas en el suelo y el manejo inadecuado del fertirriego afectan directamente el vigor de las vitroplantas, provocando problemas como crecimiento lento, tuberización prematura y bajo rendimiento. Estas limitantes impiden que los productores alcancen la calidad genética y sanitaria exigida por el sistema formal de semillas.

1.3. Justificación

Producir semilla de papa en categoría pre-básica es crucial dentro del sistema de semilla certificada, ya que garantiza el inicio del proceso con material vegetal de alta calidad genética, fisiológica y sanitaria. En Bolivia, sin embargo, esta etapa enfrenta importantes limitaciones, entre ellas la baja producción a nivel nacional, su alto costo y la escasa accesibilidad para pequeños productores y semilleristas. El alto porcentaje de agricultores que aun dependen de semilla de origen informal y esto afecta negativamente en los rendimientos, sanidad del cultivo y la sostenibilidad del sistema productivo de papa.

El estudio aporta al conocimiento sobre la producción de semilla pre-básica de papa utilizando vitroplantas de las variedades Huaycha y Jatun Puka, permitiendo evaluar

estrategias de cultivo en condiciones controladas de invernadero tecnificado. Esta investigación puede servir como base para desarrollar protocolos técnicos estandarizados, mejorar la eficiencia en la multiplicación de semilla y proporcionar información útil para futuras investigaciones y programas de producción de semilla en diferentes regiones del país.

Esta investigación no solo aporta al conocimiento científico en producción de semilla pre-básica bajo condiciones protegidas, sino que también un valor práctico para programas de mejoramiento, instituciones productoras de semilla y especialmente para los productores semilleros, quienes desempeñan un rol clave en la multiplicación de semilla certificada. Contribuir a que esta categoría de semilla sea más accesible, reduciendo los costos de producción e incrementando el rendimiento por planta a través de la evaluación de variedades en distintos tipos de sustrato, permitirá fortalecer el sistema semillero nacional y avanzar hacia una producción de papa más eficiente, resiliente y sostenible.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Producir semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum* sp.) de las variedades Huaycha y Jatun Puka en dos tipos de sustrato, evaluando variables de crecimiento y rendimiento, en un invernadero tecnificado del municipio de Achocalla - La Paz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el porcentaje de prendimiento y la altura de planta en las variedades de papa Huaycha y Jatun Puka, cultivadas en dos tipos de sustrato.
- Determinar el número y peso de tubérculos por planta, así como el rendimiento, en la combinación de variedades de papa con dos tipos de sustrato que maximice la producción de semilla pre-básica.
- Cuantificar el efecto de las variedades de papa Huaycha y Jatun Puka, combinadas con dos tipos de sustrato, sobre el número y peso de tubérculos por calibre en un metro cuadrado de semilla pre-básica.

- Analizar el beneficio/costo de la producción de semilla pre-básica de papa de las variedades Huaycha y Jatun Puka combinadas con dos tipos de sustrato de cada tratamiento en condiciones de invernadero tecnificado.

1.5. Hipótesis

En base a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alterna que indica:

H_a: Existe interacción entre los dos tipos de sustratos y variedades con efectos en la producción de semilla pre-básica de papa.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen de la papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) fue domesticada hace aproximadamente 8000 años en los Andes, cerca del lago Titicaca, y hoy se conservan más de 5000 variedades, muchas de ellas nativas, aunque solo unas pocas dominan globalmente; esta diversidad es clave para la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático (FAO, 2023).

La papa fue introducida en Europa por los españoles a mediados del siglo XVI, aproximadamente en la década de 1570, tras la conquista del Imperio Inca. Desde entonces se ha convertido en uno de los cultivos alimentarios más importantes y ampliamente consumidos en el mundo, gracias a su alta adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas y su valor nutricional. En la actualidad, el Centro Internacional de la Papa (CIP) con sede en Lima Perú cumple un rol clave en la conservación de los recursos genéticos del cultivo y en el desarrollo de investigaciones orientadas a mejorar su rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades (CIP, 2023).

Bolivia cuenta con 33 variedades de papa registradas y certificadas oficialmente, pero además con 1508 accesiones. El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) es responsable del Programa Nacional de Papa (IBCE, 2018).

2.2. Clasificación taxonómica

Según Torrez (2011), la taxonomía de la papa se clasifica de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>tuberosum</i>

2.2.1. Descripción morfológica de variedades Huaycha y Jatun Puka

2.2.1.1. Variedad Huaycha

Según los autores Gabriel *et al.* (2011), la variedad Huaycha es resistente al virus PVY, tizón (*Phytophthora infestans*), verruga (*Synchytrium endobioticum*), con una dormancia tardía y resistente al verdeamiento, como también tiene una buena adaptación a sectores de días cortos.

Cuadro 1. Descripción morfológica de la variedad Huaycha

Hábito de crecimiento	Erecto
Color predominante de la flor	Violeta
Color secundario de la flor	Morado
Distribución del color secundario	Acumen blanco en el envés
Grado de floración	Profuso
Color del tallo	Verde con mucha pigmentación
Forma del tubérculo	Redondo
Profundidad de ojos	Profundos
Color primario de la piel del tubérculo	Rojo
Color secundario de la piel del tubérculo	Blanco - crema
Color primario de la carne del tubérculo	Amarillo claro
Color secundario de la carne del tubérculo	Ausente
Color predominante del brote	Rojo violáceo

2.2.1.2. Variedad Jatun Puka

Según Gutiérrez *et al.* (2007), citado por Mujica (2023) las evaluaciones realizadas por el CIP, presenta resultados de resistencia al virus PVY, PLVR, es ligeramente resistente a *Phytophthora infestans*. Moderadamente resistente a Marchitez Bacteriana y Nematodos.

Cuadro 2. Descripción morfológica de variedad Jatun Puka

Hábito de crecimiento	Erecto
Color predominante de la flor	Blanco
Color secundario de la flor	Violeta
Grado de floración	Moderado
Color del tallo	Verde oscuro
Forma del tubérculo variedad	Oblongo
Profundidad de los ojos	Superficiales
Color primario de la piel del tubérculo	Rojo
Color de la carne del tubérculo	Crema
Color predominante del brote	Violeta Azulado

2.3. Biotecnología aplicada a la producción de semilla

Según Abohatem *et al.* (2024), la biotecnología vegetal ha sido una herramienta clave en la producción de semilla pre-básica de papa, permitiendo la obtención de plantas sanas y libres de enfermedades mediante técnicas de micropropagación *in vitro*. Esta metodología se ha convertido en la base para programas de producción de semilla certificada en diversos países andinos, incluyendo Bolivia. Uno de los métodos más utilizados es el cultivo de tejidos a partir de yemas apicales, que permite una rápida multiplicación de vitroplantas en condiciones controladas, este enfoque permite regenerar plantas completas, generar micro tubérculos y facilitar su aclimatación posterior en ambientes protegidos, optimizando la producción comercial de mini tubérculos.

En el contexto boliviano, Rojas y Antonio (2017), propuso un sistema integrado que combina la producción de vitroplantas con técnicas de hidroponía e invernaderos tecnificados, permitiendo mejorar la calidad fitosanitaria de la semilla pre-básica. Asimismo, Perez (2024), demostró que el uso de medio cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementado con fitohormonas como ácido 1-naftalenacético (ANA) y 6-bencilaminopurina (BAP) permite una

eficiente regeneración de plantas de las variedades Huaycha y Desireé, lo que refuerza la viabilidad del uso de esta tecnología en programas locales de multiplicación de semilla.

Por otra parte, estudios recientes como el de Mora *et al.* (2022), han profundizado en cómo el tipo de ex plante influye en la eficiencia de propagación en variedades del grupo Andígena, aportando datos importantes para la mejora de protocolo adaptados a variedades nativas de los Andes. Estas investigaciones demuestran que la biotecnología aplicada a la papa no solo acelera el proceso de multiplicación clonal, sino que garantiza sanidad, uniformidad genética y mayor disponibilidad de semilla de calidad, elementos fundamentales para el fortalecimiento de la producción semillero.

2.3.1. Micropropagación de vitroplantas

El cultivo de tejidos vegetales o cultivo *in vitro*, es una alternativa de propagación que permite obtener gran cantidad de plantas en espacios reducidos y en poco tiempo, se inicia mediante la selección de plantas morfológicamente idóneas, se inocula tejidos de crecimiento (meristemos). En la cámara de flujo laminar se debe tener especial cuidado con la asepsia, tomando como primera medida para la eliminación de agentes contaminantes (Guzman, 2023).

El medio de cultivo basal que se utiliza es Murashige y Skoog adicionado con hormonas vegetales como: Ácido giberélico, pantotenato de calcio, ácido naftalenacético y vitaminas como: Myoinositol, tiamina, piridoxina, glicina y ácido nicotínico. El propósito de la multiplicación es obtener un número grande de plántulas en un período corto de tiempo. Se realizó la micropropagación de las dos variedades de papa (Huaycha y Holandesa) en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal obteniendo vitroplantas para la obtención de tubérculos de semilla pre-básica de papa (Perez, 2024).

2.3.2. Establecimiento

Según Mganga (2025), la esterilización del explante es un paso crucial para mantener un cultivo *in vitro* libre de contaminantes, ya que se deben eliminar microorganismos que podrían competir por los nutrientes del medio y comprometer la viabilidad de la plántula. Además, señala que cada especie vegetal requiere protocolos de desinfección específicos, ajustando la concentración del agente químico y el tiempo de inmersión para equilibrar la

eficacia en la eliminación de contaminantes con la preservación de la integridad del tejido vegetal.

Aguire *et al.* (2016), expresan que para la esterilización los más comunes y menos dañinos, son los componentes hechos en base a cloro como el hipoclorito de sodio o de calcio, también se le adicionan gotas de detergentes a estas soluciones para optimizar el contacto de éstas con las muestras vegetales, como el Tween 20 que es el más empleado en dosis de 0,01 a 0,05 % (v/v), detergentes para lavar utensilios de cocina son utilizados para sustituirlos; el alcohol principalmente es empleado a una concentración de 70 y 80 % (v/v), después de la desinfección, siguen de tres a cinco lavados con agua destilada estéril.

2.3.3. Inducción de brotes

La composición del medio de cultivo resulta esencial para el éxito de la micropropagación, ya que de ella depende el crecimiento y desarrollo de las plántulas. Debido a que las vitroplantas no son plenamente autótrofas, requieren la adición de una fuente externa de carbono, generalmente sacarosa, junto con macronutrientes, micronutrientes, vitaminas y reguladores de crecimiento. Entre los medios más utilizados se encuentra el de Murashige y Skoog (MS), ampliamente empleado en la regeneración de tejidos, aunque también existen formulaciones alternativas para especies específicas. Asimismo, la adición de reguladores de crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas resulta fundamental para promover procesos de diferenciación y proliferación celular (Agha *et al.*, 2024).

2.3.4. Multiplicación

Durante la fase de multiplicación *in vitro*, se busca inducir la formación de múltiples brotes a partir de segmentos nodales utilizando medios de cultivo enriquecidos con citoquininas, como la BAP (6-benzilaminopurina). Este proceso permite obtener un alto número de plántulas en un tiempo reducido, asegurando uniformidad genética y fitosanidad del material vegetal. De acuerdo con Singh *et al.* (2021), el uso de medios MS suplementados con concentraciones óptimas de BAP ha demostrado ser eficaz en la proliferación de brotes en variedades comerciales de papa, mejorando significativamente la tasa de multiplicación por ciclo.

2.3.5. Aclimatación

La fase de aclimatación representa un momento crítico en la micropropagación, ya que las vitroplantas deben adaptarse gradualmente a las condiciones del ambiente natural tras haber crecido en condiciones controladas de laboratorio. Durante esta etapa, las plantas deben ajustar su fisiología y morfología para sobrevivir fuera del medio estéril, fortaleciendo su sistema radicular, aumentando la eficiencia fotosintética y desarrollando mecanismos de regulación hídrica. Según Nowak *et al.* (2022), una aclimatación exitosa está directamente relacionada con el manejo cuidadoso de la humedad relativa, la intensidad lumínica y la ventilación progresiva en ambientes protegidos.

2.4. Importancia de la semilla pre-básica

Según Devaux *et al.* (2024), la relevancia económica es directa: la papa es uno de los cultivos más importantes del país y su cadena depende de semilla de calidad. Reportes recientes del sistema agroalimentario regional indican que Bolivia produjo alrededor de 1,27 millones de toneladas en 2020–2021 con un rendimiento medio de 6,65 t/ha, cifras cuyo potencial de mejora está íntimamente ligado a rejuvenecimiento varietal y uso de semilla sana, cuyo origen es la etapa pre-básica.

La papa es uno de los alimentos más importantes en Bolivia por ser la base de la dieta alimentaria de la población boliviana, en promedio en el área urbana cada habitante consume 80 kg de papas al año y en el área rural 140 kg de papa al año por habitante, pues provee más del 60% de calorías diarias. Las variedades de papas nativas en Bolivia tienen una amplia gama de adaptación que va desde los 1700 a los 4300 msnm con rendimientos que varían desde 4 toneladas por hectárea hasta 28 toneladas por hectárea (Gabriel *et al.*, 2011).

2.5. Producción de semilla de papa por categoría

La producción de semilla de papa se organiza en una pirámide de categorías, cada una con un nivel específico de control genético y sanitario. Este sistema permite mantener la pureza varietal y la sanidad del cultivo, asegurando altos rendimientos en campo (INIAF, 2025).



Figura 1. Proceso de certificación de semillas

Para el control de calidad, se realiza una prueba de control de virus (PVX, PVY, PLRV, PVS, APMV, APLV y PVA), por medio del test de DAS-ELISA (Rocabado *et al.*, 2022).

2.5.1. Semilla pre-básica

Corresponde al material inicial, obtenido a partir de vitroplantas libres de patógenos y multiplicado en invernaderos bajo estrictas condiciones de bioseguridad. Es el punto de partida para las demás categorías de semilla. En Bolivia, el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) desarrolla este tipo de semilla en el Centro Biotecnológico de Chachacomani mediante micropropagación y control sanitario riguroso (INIAF, 2025).

2.5.1.1. Características de semilla pre-básica

La semilla pre-básica de papa es de altísima calidad genética y sanitaria, ya que se origina a partir de plántulas obtenidas mediante cultivo de tejidos o aeroponía en condiciones estériles de laboratorio, lo que garantiza su pureza y sanidad al estar libre de plagas y enfermedades, además de conservar fielmente la identidad genética y las características varietales del cultivar. Su producción se lleva a cabo en laboratorios, invernaderos o casas

de malla bajo estrictas medidas de control fitosanitario y es responsabilidad de las estaciones experimentales que mantienen la variedad, asegurando así su calidad. Al ser una de las primeras generaciones después del material parental, constituye el punto de partida para la producción de categorías sucesivas de semilla como la básica, registrada y certificada (INIAF, 2020).

2.5.2. Semilla básica

Se obtiene a partir de la multiplicación de la semilla pre-básica, manteniendo un estricto control de calidad genética y sanitaria. Este material es utilizado para generar semilla registrada y certificada, y constituye la base del sistema formal de producción de semilla (SAG, 2025).

2.5.3. Semilla registrada

Es una categoría intermedia producida a partir de semilla básica. Su producción implica control técnico, aunque con menor exigencia que la semilla básica. Se destina principalmente a multiplicadores de semilla para su posterior certificación (SAG, 2025).

2.5.4. Semilla certificada

Es la categoría destinada directamente a los productores. Se obtiene de la multiplicación de semilla básica o registrada, bajo normas estrictas de certificación. Se clasifica en generaciones: C1, C2 y C3, según el número de multiplicaciones y el estándar de calidad alcanzado (SAG, 2025).

2.5.5. Semilla fiscalizada

Es la semilla que proviene de la multiplicación de la semilla certificada o de la producción propia del agricultor, sin ningún tipo de control ni certificación. Esta semilla puede tener problemas de calidad, sanidad y pureza varietal (INIAF, 2020).

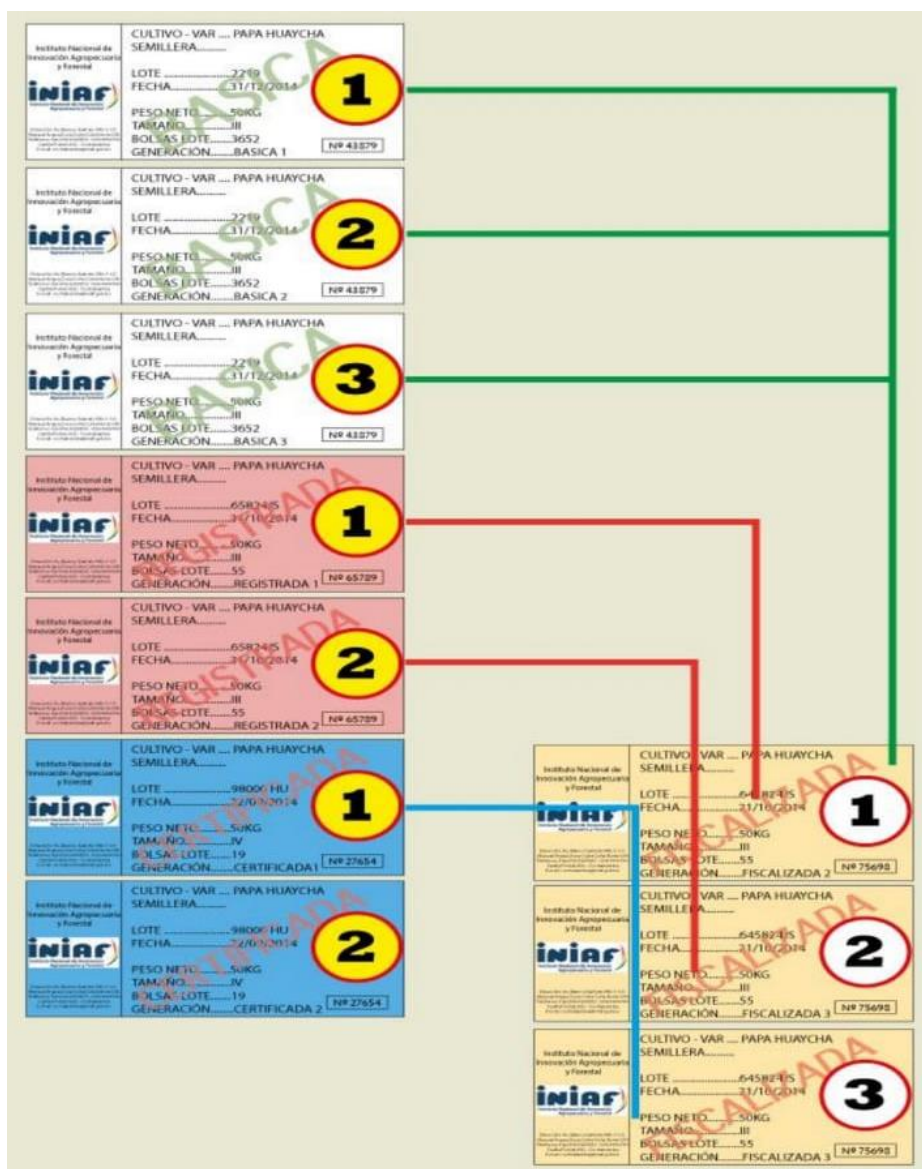


Figura 2. Etiquetas de la generación de categorías de semilla de papa

2.6. Producción de papa en Bolivia

Según CIP (2023), los principales productores son Cochabamba (30,3%) y La Paz (27,3%), que juntos aportan más de la mitad de la producción nacional. Cochabamba destaca por volumen y La Paz por superficie cultivada, los mayores rendimientos se registraron en Santa Cruz (9,93 t/ha) y Cochabamba (9,85 t/ha), influenciados por factores de clima, topografía, humedad y el uso de variedades comerciales mejoradas, como la Desirée de origen holandés. Estas se cultivan principalmente en los valles meso térmicos e interandinos (2000

msnm), donde las condiciones son propicias, aunque en superficies reducidas. En cambio, en zonas más altas predominan variedades nativas, generalmente de menor rendimiento.

2.7. Producción de semilla de papa en Bolivia

Según INIAF (2020), se multiplicó 1,600 kg de semilla pre-básica de variedades liberadas y comerciales (Única Roja, Pucara, Cardinal, Desirée, Marcela, Huaycha, Malcacho, Sani Imilla e Imilla Negra). Validación de estrategias de fertilización en cuatro variedades industriales de papa de alto rendimiento en los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca, identificación de un nivel de fertirriego eficiente en la producción de semilla pre-básica de papa, bajo condiciones de invernadero del Centro de Innovación Zudáñez Chuquisaca.

2.8. Normas de la producción de semilla de papa

En Bolivia, la producción de semilla de papa se encuentra regulada por un conjunto de normas emitidas por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), cuyo objetivo es garantizar la pureza varietal y la trazabilidad del material. Entre ellas destaca el reglamento para mantenedores de variedades de semilla de papa, que establece los requisitos técnicos, administrativos e infraestructurales necesarios para que instituciones o personas sean acreditadas como mantenedores de variedades. Este reglamento se fundamenta en disposiciones legales como el Decreto Supremo N° 29611 de 2008 que crea el INIAF, la Norma General de Semillas de Especies Agrícolas (R.M. N° 002/2000), y la Norma Específica para la Certificación de Tubérculo-Semilla de Papa (Resolución Administrativa INIAF N° 071/2012). Asimismo, el manual técnico de producción de semilla pre-básica de papa del INIAF (2012) detalla los procedimientos para obtener material inicial de multiplicación a partir de vitroplantas o mini tubérculos, bajo condiciones controladas en invernadero (INIAF, 2022).

Estas regulaciones no solo aseguran la calidad genética y fitosanitaria de la semilla, sino que también constituyen la base legal que respalda el sistema nacional de producción y certificación de semilla de papa en el país.

2.9. Manejo integrado de plagas y enfermedades

Es un enfoque fundamental para la producción de semilla pre-básica, ya que garantiza la sanidad del material de propagación, factor decisivo en la calidad y en la posterior cadena

de certificación (pre-básica, básica y certificada). Se debe priorizar medidas preventivas y, la aplicación de plaguicidas debe realizarse únicamente después de un monitoreo técnico que confirme la presencia de la plaga o enfermedad, y los productos empleados deben estar autorizados por la normativa local para el cultivo de papa, priorizando aquellos de baja toxicidad. Asimismo, los plaguicidas deben usarse exclusivamente para el control de los organismos indicados en la etiqueta del producto y en las dosis comercialmente recomendadas (Pérez y Andrade, 2024).

2.9.1. Enfermedades más importantes que afectan al cultivo de papa

El virus del enrollamiento de la hoja de papa (PLRV) es una de las principales enfermedades virales del cultivo. Se ha documentado en Sudamérica como una amenaza crítica, ya que reduce significativamente el rendimiento y la calidad de tubérculos, al generar síntomas como habito erecto, hojas enrolladas y necrosis interna (Gongora y Olivera, 2023).

Otro patógeno viral relevante es el virus Y de la papa (PVY), que junto al PLRV constituye gran parte del riesgo fitosanitario para semilla pre-básica al transmitirse eficientemente por pulgones (CIP-FSM, 2024). Entre las enfermedades fúngicas, el tizón temprano (*Alternaria solani*) y el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) son las más perjudiciales en climas húmedos, provocando daño foliar severo y potencialmente pérdidas de rendimiento superiores al 40% sin un control oportuno (FAO, 2023).

2.9.2. Plagas clave en el cultivo de papa

Dentro del ecosistema del tubérculo y el follaje, destacan varias plagas de alto impacto. El gorgojo (*Ancognatha scarabaeoides*) es un insecto notable en producción de semilla por su capacidad para dañar las raíces y los tubérculos, dificultando la calidad sanitaria. Asimismo, larvas de insectos del suelo afectan el sistema radicular en fases tempranas del desarrollo del tubérculo, reduciendo capacidad de absorción de nutrientes y vigor inicial (INIAF, 2025). Aunque no son insectos, los nematodos quistes (*Globodera* spp.) están presentes en suelos del altiplano andino y comprometen el crecimiento de la papa; reducir su incidencia es clave en sistemas protegidos como los invernaderos (CIP, 2023).

2.10. Sustratos en la producción de semilla pre-básica

Se considera sustrato cualquier material sólido, colocado en un contenedor, es capaz de proporcionar la función de soporte a la planta. El sustrato puede intervenir o no en la función de nutrición de la planta (Camposeco, 2015).

Este deberá tener características de porosidad (80-85%), baja densidad aparente (0,7 a 1), estructura granular de tamaño intermedia, adecuado nivel de nutrientes asimilables, fácil esterilización y fácil de mezclar (Perez, 2024).

2.10.1. Características físicas

Buena infiltración y drenaje que el agua circule y no se empoce, evita enfermedades y muerte de radícalas por asfixia (Mixquititla, 2022).

Buena estructura que sea principalmente granulada y dichas partículas sean de tamaños y formas regulares, para favorecer el desarrollo radicular, el movimiento de agua y el intercambio gaseoso que no se compacte (Mixquititla, 2022).

Densidad aparente es el peso de un volumen de suelo seco (g/cm^3), está relacionada con la porosidad de un material o sea a mayor Da, menor porosidad. Por lo tanto, preferimos sustratos con una menor Da ($0,7\text{-}1\text{g/cm}^3$) (Camposeco, 2015).

2.10.2. Características químicas

Las características químicas del sustrato juegan un papel fundamental en la producción de semilla pre-básica de papa, ya que influyen directamente en la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para el desarrollo adecuado de las vitroplantas. Un pH cercano a la neutralidad (entre 6,0 y 7,0) favorece la absorción equilibrada de macro y micronutrientes, mientras que una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) mejora la retención de nutrientes en el complejo coloidal del sustrato. Delgado *et al.* (2020), en sistemas de cultivo protegido de papa, un sustrato con buena CIC, adecuada conductividad eléctrica y pH estable mejora significativamente la calidad fisiológica de la planta y favorece la formación de mini tubérculos.

2.10.3. Sustratos

2.10.3.1. Turba

Son materiales de origen vegetal, de propiedades químicas y físicas variables según su origen. Se pueden clasificar en dos grupos: las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas; las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica (Camposeco, 2015).

2.10.3.2. Arena

La arena es un componente inorgánico ampliamente utilizado en mezclas de sustrato debido a su buena capacidad de drenaje y aireación, características esenciales para evitar la compactación del medio y favorecer el desarrollo radicular. Su inclusión en la producción de semilla de papa permite mantener la estructura del sustrato y facilita el control del contenido de humedad, especialmente en ambientes protegidos. Según Fernández *et al.* (2021), la arena, combinada con materiales orgánicos como la turba, mejora la oxigenación en la zona radicular y reduce la incidencia de enfermedades asociadas al exceso de humedad en la producción de mini tubérculos.

2.10.3.3. Cáscara de castaña

La cáscara de castaña, un subproducto agroindustrial rico en materia orgánica, ha mostrado potencial como componente alternativo de sustratos en cultivos hortícolas. Este material contribuye a la retención de humedad, aporta carbono orgánico y mejora la estructura del medio, promoviendo un ambiente favorable para el crecimiento radicular. De acuerdo con Rojas *et al.* (2022), la incorporación de cáscara de castaña en mezclas de sustratos para la producción de semilla pre-básica de papa permitió un mejor anclaje de las plantas, mayor aireación y una buena capacidad de retención de agua sin causar encharcamientos.

2.11. Invernaderos tecnificados

Se describe como una construcción agrícola de estructura metálica, con cubierta de película plástica traslúcida y que tiene por objetivo simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los invernaderos pueden contar con un cerramiento total de plástico en la parte superior y malla en los laterales (Montero, 2022).

Los modernos invernaderos, cuentan con una gama de sensores que registran datos en tiempo real, proporcionando información precisa de las condiciones climáticas y tienen la capacidad de regular automáticamente (Olmos, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

La campaña experimental tuvo una duración de seis meses, desarrollado entre diciembre de 2024 y mayo de 2025.

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Incorporación Tecnológica Orkidea Andina, ubicado en la calle Palmeras N° 338, zona Carcanavi, municipio de Achocalla, provincia Murillo, del departamento de La Paz. El sitio está geográficamente localizado a los 16° 35' 44" de latitud sur y 68° 08' 42" de longitud oeste, a una altitud de 3.769 m s.n.m. (Google Earth, 2025).

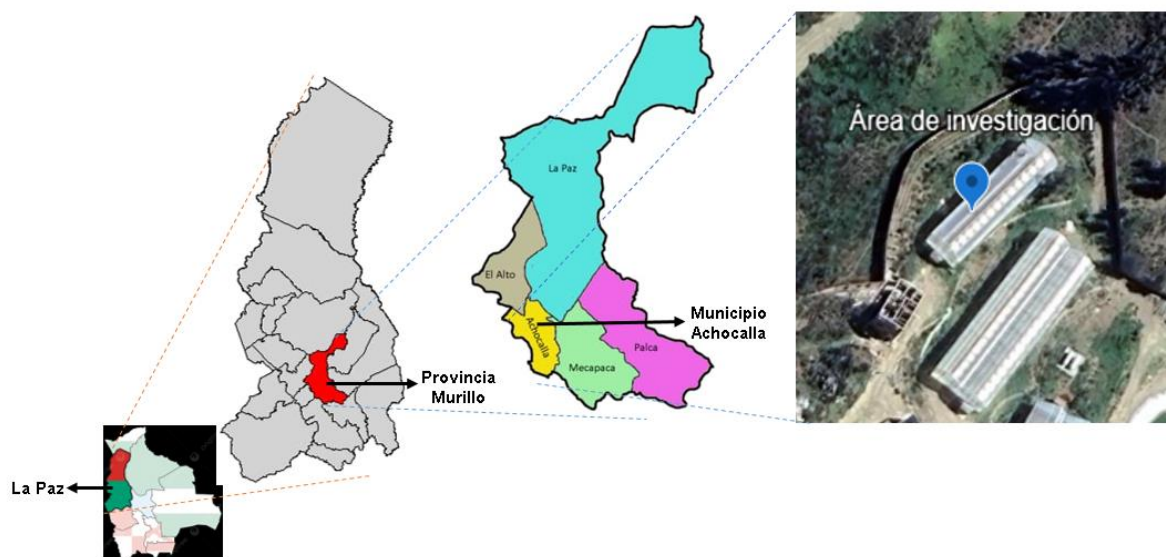


Figura 3. Ubicación del invernadero de papa de la Corporación Orkidea Andina

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético de estudio

El material genético fue adquirido del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Estación Experimental Chachacomani (Anexo 2) cuyo laboratorio de cultivo *in vitro* cuenta con autorización oficial para la producción de semilla pre-básica, con un costo unitario de 2,5 Bs.

Se adquirieron:

- 4600 plántulas *in vitro* de papa de la variedad Huaycha
- 4600 plántulas *in vitro* de papa de la variedad Jatun Puka

3.2.2. Material de escritorio

- Cámara fotográfica
- Computadora
- Cuaderno de campo
- Planillas de datos
- Marcador
- Bolígrafo
- Masking

3.2.3. Material de campo

- Pala
- Carretilla
- Rastrillo
- Regla de nivel
- Canastillas
- Mallas semisombra
- Malla de tutoraje
- Guantes de trabajo
- Cordón de amarre
- Mochila fumigadora
- Balanza de kilogramo y miligramo

- Cinta métrica
- Calibrador
- Bolsas herméticas
- Guantes de látex
- Guantes de nitrilo
- Bañadores

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tecnificado con una superficie total de 350 m², del cual 182,4 m² corresponden al área neta de producción. La infraestructura contaba con tres camas de cultivo, cada una con 32 metros de largo y 1,90 metros de ancho, subdivididas en 8 cajones por cama, lo que daba un total de 24 unidades experimentales (Anexo 1). Las camas poseían una altura de 0,60 metros, de los cuales 0,45 metros fueron rellenos con el sustrato correspondiente.

El invernadero estaba equipado con un sistema de riego automatizado, el cual incluía un medidor digital de pH y conductividad eléctrica (CE), lo que permitía un control preciso de la solución nutritiva. El riego se realizaba mediante cintas de goteo autocompensadas, 10 cintas por cama, asegurando una distribución uniforme del agua y nutrientes en cada cajón. También se encontraba un sensor digital de monitoreo climático, que registraba en tiempo real los valores de temperatura (°C) y humedad relativa (H%), condiciones fundamentales para el desarrollo de las vitroplantas de papa.

3.3.1.1. Preparación y desinfección del sustrato

Se utilizaron dos tipos de sustrato con las siguientes proporciones de mezcla:

- **Sustrato I:** 60% turba y 40% arena.
- **Sustrato II:** 60% turba, 20% arena y 20% cáscara de castaña.

Previo al trasplante, el sustrato fue regado abundantemente hasta alcanzar su capacidad de campo (Anexo 3, Figura 1), asegurando una humedad uniforme en todos los cajones. Posteriormente, se realizó la nivelación y una ligera compactación de la superficie utilizando

una regla metálica (Anexo 3, Figura 2), con el objetivo de mantener una altura uniforme y garantizar una base firme en todos los tratamientos.

Para garantizar condiciones óptimas de sanidad, se realizó la desinfección del sustrato utilizando peróxido de hidrógeno al 30% y Strong. La aplicación se llevó a cabo a través del sistema de riego (Anexo 3, Figura 3), un día antes del trasplante.

3.3.1.2. Aclimatación de vitroplantas

Las vitroplantas se recibieron en magentas y fueron sometidas a un proceso de ambientación (Anexo 3, Figura 4) previo al trasplante. Para ello, se mantuvieron en un ambiente cerrado, seco y con luz artificial durante un período de 24 a 48 horas, con el objetivo de facilitar su aclimatación a las condiciones *ex vitro*. Durante este tiempo, se tuvo especial cuidado en la manipulación de los frascos, evitando aperturas innecesarias para prevenir la contaminación del material vegetal

3.3.1.3. Trasplante general

Para el establecimiento del cultivo, se realizó la marcación de las camas utilizando un marcador manual, estableciendo una densidad de plantación de 10 cm entre plantas y 20 cm entre surcos (Anexo 3, Figura 5).

Posteriormente, las vitroplantas fueron sometidas a un proceso de lavado radicular para eliminar residuos del medio de cultivo *in vitro*. Luego, se sumergieron en una solución enraizante durante 10 minutos (Anexo 3, Figura 6), con el objetivo de estimular el desarrollo de las raíces y mejorar su establecimiento en el sustrato.

El trasplante se llevó a cabo ubicando cada vitroplanta en los agujeros previamente marcados, asegurando un adecuado posicionamiento. Se aplicó presión ligera sobre el sustrato alrededor de la planta para garantizar un buen contacto entre las raíces y el sustrato (Anexo 3, Figura 7), favoreciendo la absorción de agua y nutrientes.

Finalizado el trasplante, se instaló una cobertura de malla semisombra, con el propósito de proteger las plántulas de la radiación solar directa y contribuir a la estabilidad de la humedad en el sustrato, minimizando el estrés hídrico en la fase inicial de establecimiento. Cabe destacar que se realizó un refalle a los 15 días de aquellas vitroplantas que no lograron prender.

3.3.1.4. Riego y manejo nutricional durante el ciclo fenológico del cultivo

El riego se programó según las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa fenológica (Anexo 3, Figura 8), durante el primer mes, se realizaron cinco riegos diarios de 2 minutos cada uno, con el objetivo de mantener una alta humedad relativa en el sustrato, condición fundamental para la adaptación de las vitroplantas al ambiente del invernadero.

En los meses segundo, tercero y cuarto, se ajustó a dos riegos diarios de 3 minutos una con agua sola y otra con solución nutritiva (fertilización vía riego), distribuidos de manera que se garantizara tanto el suministro hídrico como el aporte de nutrientes esenciales.

Se mantuvieron parámetros de calidad de agua y solución nutritiva, con un pH en rango de 6,0 a 6,5 y conductividad eléctrica de 1,0 a 1,5 mS cm. La preparación de la solución madre se realizó en dos tanques independientes:

- **Tanque A:** Nitrato de calcio y nitrato de potasio
- **Tanque B:** Sulfato de magnesio, sulfato de potasio, fosfato monoamónico (MAP) y micronutrientes

3.3.1.5. Aporque

Esta labor se llevó por dos ocasiones, la primera a los 20 días después del trasplante se realizó un aporque ligero y la segunda a los 45 días después del trasplante y consistió en la aplicación de una capa adicional de sustrato alrededor de cada planta. Se vertió una cantidad de sustrato suficiente para alcanzar una altura aproximada de 5 cm sobre la base de las plantas, con el objetivo de favorecer el desarrollo de los estolones y la tuberización de los tubérculos. Esta práctica ayuda a crear un entorno adecuado para la formación de los órganos reproductivos subterráneos y optimiza las condiciones para una mayor productividad.

3.3.1.6. Control fitosanitario

Se aplicó un plan de manejo fitosanitario basado en monitoreos periódicos dentro del invernadero. Ante la aparición de síntomas de enfermedades o presencia de plagas, se realizaron aplicaciones preventivas o curativas con productos químicos específicos, según el diagnóstico observado (Cuadro 3). Las intervenciones se realizaron de manera oportuna

para evitar la propagación y asegurar el desarrollo adecuado del cultivo (Anexo 3, Figura 10).

Cuadro 3. Aplicaciones de pesticidas y nutriente durante el ciclo vegetativo del cultivo

Fecha	Nombre del producto	Dosis (ml/lit o g/lit)	Motivo de la aplicación
12/12/2024	Strong	1 ml/lit	Insecticida-desinfección del sustrato
21/12/2024	MiterTop	2 ml/lit	Acaricida e insecticida-desinfección del ambiente preventivo
22/12/2024	Maxim XL	2 ml/lit	Fungicida-desinfección del sustrato
8/1/2025	Nutrigen	2 ml/lit	Foliar para fortalecer a la planta
25/1/2025	IBA	1 ml/lit	Enraizante- para el desarrollo de raíz
7/2/2025	Strong	1 ml/lit	Insecticida-preventivo aplicación en el sustrato
14/2/2025	Evisect	12g/lit	Insecticida preventivo
6/3/2025	Cypermtrina	1 ml/lit	Plaguicida para pulgones preventivo
7/3/2025	Lixiviado	2 ml/lit	Biostimulante
17/3/2025	Fetrilon combi	2,25g/lit	Aporte de micronutrientes
24/3/2025	Supermacollo	5 ml/lit	Bioactivador
24/3/2025	Kelpak	2 ml/lit	Biostimulante foliar
26/3/2025	Nutrifull	5 ml/lit	Fertilizante foliar
27/3/2025	Potasio	2,5 ml/lit	Aporte nutricional foliar con potasio
28/3/2025	Strong	1,5 ml/lit	Insecticida- re aplicación preventiva
22/4/2025	Cypermtrina	2 ml/lit	Insecticida-control de pulgones

3.3.1.7. Tutoraje de las plantas

Antes de llevar a cabo la actividad de tutoraje, se procedió a la instalación de la malla de tutoraje sobre cada una de las camas de cultivo (Anexo 3, Figura 9), asegurando que estuviera bien tesada para ofrecer un soporte adecuado a las plantas, dicha actividad se realizó 60 días después del trasplante, momento en el cual las plantas ya habían alcanzado una altura suficiente para empezar a inclinarse. Para evitar este problema y asegurar un crecimiento vertical adecuado, se realizó la inserción de las plantas en las aberturas de la malla, asegurando que quedaran de pie y rectas.

Este proceso permitió mejorar la aireación entre las plantas y el sustrato, lo que favorece un desarrollo más saludable de las raíces y la planta en su conjunto. Además, se facilitó la iluminación adecuada de las plantas, lo que contribuye a su fotosíntesis eficiente, y también previene el crecimiento de hongos y la acumulación excesiva de humedad en la base de las plantas, minimizando riesgos de enfermedades y promoviendo un ambiente más limpio y seco para el cultivo.

3.3.1.8. Muestreo de folíolos y tubérculos

A los 90 días después del trasplante, se realizó un muestreo aleatorio de folíolos de cada variedad (Anexo 3, Figura 11) para realizar pruebas serológicas de DAS-ELISA. Se seleccionó la planta, se cortó la hoja más joven, de tamaño intermedio, y se empaco en una bolsa plástica hermética con su respectiva etiqueta (Anexo 3, Figura 12). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de PROINPA en Cochabamba para su análisis. También se realizó un muestreo de tubérculos al azar, extrayendo la planta completa (Anexo 3, Figura 13) Luego, se pesó cada tubérculo y se contó el número de tubérculos con el fin de planificar la fecha de defoliación y cosecha.

3.3.1.9. Defoliación y suberización de los tubérculos

La defoliación se realizó dos semanas antes de la cosecha, aproximadamente entre el 22 a 30 de abril de 2025, esta práctica consistió en la eliminación del follaje de cada planta efectuando el corte desde el cuello de la planta (zona de transición entre el tallo y la raíz) Durante esta actividad, se tuvo especial cuidado en no perturbar la base del tallo ni el sustrato, con el fin de evitar daños a los tubérculos en formación, y tras la defoliación se observó que algunos tubérculos quedaron parcialmente expuestas a la luz, por lo cual se procedió a cubrir las camas con malla semisombra (Anexo 3, Figura 17), previniendo así la formación de solanina que puede afectar la calidad de semilla.

Una vez realizada la defoliación y colocada la malla semisombra, se procedió al corte definitivo del suministro de agua, manteniéndose en esa condición durante 14 días previos a la cosecha. Este periodo de suspensión del riego permitió una maduración adecuada de los tubérculos, facilitando su desprendimiento de los estolones y mejorando su conservación post cosecha.

3.3.1.10. Cosecha y lavado de los tubérculos

La cosecha se realizó después de 5 meses del trasplante, momento en el cual los tubérculos alcanzaron la madurez fisiológica, luego del proceso de suberización, la recolección se llevó a cabo de manera manual, extrayendo cuidadosamente la raíz en la que los tubérculos estaban adheridos, luego los tubérculos se separaron de la raíz y se colocaron en canastillas para su transporte (Anexo 3, Figura 18). Cabe destacar que el sustrato utilizado presentaba una textura suelta, lo que facilitó la extracción sin dañar los tubérculos, se aseguró de recoger todos los tubérculos, evitando pérdidas.

El lavado se realizó inmediatamente después de la post cosecha con el objetivo de eliminar todo el sustrato adherido a los tubérculos para ello se sumergieron los tubérculos en tres aguas sucesivas hasta que quedar completamente limpios (Anexo 3, Figura 19), una vez lavados los tubérculos se expusieron al sol por un periodo de 10 - 15 minutos para su secado (Anexo 3, Figura 20 y 21), asegurando que se mantuvieran en condiciones óptimas. Posteriormente, se recogieron una vez que estuvieron secos y completamente limpios. Finalmente, los tubérculos fueron trasladados a un almacén para su posterior manejo y almacenamiento.

3.3.1.11. Selección y almacenamiento

Una vez lavados los tubérculos, se realizó la selección por calibre. Para la variedad Huaycha, se utilizó una seleccionadora manual fabricada con una hoja venesta perforada según los calibres (Anexo 3, Figura 22). En el caso de la variedad Jatun Puka, la selección se hizo manualmente, basándose en el peso y tamaño de los tubérculos.

Después de la selección, los tubérculos fueron pesados por calibre utilizando una balanza. Posteriormente, se almacenaron en un lugar seco en bolsas de yute negro (Anexo 3, Figura 23), para evitar que la temperatura aumentara y de esta forma, prevenir la germinación de los tubérculos.

3.3.2. Diseño experimental

Se empleó el Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo bifactorial.

El modelo lineal para un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo bifactorial dado por (Ochoa, 2009).

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

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

Dónde:

Y_{ijk} = Valor observado de la variable de respuesta en el k -ésimo bloque que recibe la combinación del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo del factor B.

μ = Media general

β_k = Efecto aleatorio del k -ésimo bloque β_k

α_i = Efecto fijo del i -ésimo nivel del factor A

γ_j = Efecto fijo del j -ésimo nivel del factor B

$\alpha\gamma_{ij}$ = Efecto fijo de la interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de residuales o error experimental

3.3.3. Factores de estudio

Factor A: Variedades de papa

a_1 = Variedad Huaycha

a_2 = Variedad Jatun Puka

Factor B: Sustratos

b_1 = Sustrato I (turba y arena)

b_2 = Sustrato II (arena, turba y cáscara de castaña)

3.3.4. Formulación de tratamientos

T_1 = a_1b_1 (Variedad I, Sustrato I)

T_2 = a_1b_2 (Variedad I, Sustrato II)

T_3 = a_2b_1 (Variedad II, Sustrato I)

T_4 = a_2b_2 (Variedad II, Sustrato II)

3.3.5. Variables de respuesta

3.3.5.1. Porcentaje de prendimiento

La evaluación de porcentaje de prendimiento de las vitroplantas se realizó a los 14 días posteriores al trasplante. Se efectuó un conteo visual de las plántulas que no lograron sobrevivir, tomando en cuenta los cuatro tratamientos establecidos y las seis repeticiones correspondientes a las dos variedades de papa evaluadas (Huaycha y Jatun Puka).

3.3.5.2. Altura de planta

La evaluación de la altura de planta se inició a partir del día 15 posterior al trasplante. Para ello, se seleccionaron cinco plantas al azar por repetición como muestra representativa. La medición se realizó utilizando una cinta métrica, desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo principal. Los registros se anotaron manualmente en un cuaderno de campo, y la medición se repitió con una frecuencia quincenal durante el ciclo del cultivo.

3.3.5.3. Número de tubérculos por planta

Después de la cosecha, se contabilizó el número de tubérculos producidos por cada planta muestreada. Este conteo se realizó para cada tratamiento, considerando las repeticiones correspondientes de las dos variedades de papa evaluadas (Huaycha y Jatun Puka). Las plantas analizadas para este parámetro fueron las mismas en las que se midió previamente

la altura de planta, garantizando la consistencia en el seguimiento de las muestras a lo largo del experimento (Anexo 3, Figura 24 y 25).

3.3.5.4. Peso de tubérculos por planta

Para determinar el peso de tubérculos por planta, se cosecharon todos los tubérculos de cada planta muestreada. Posteriormente, se procedió al pesaje de los tubérculos utilizando una balanza, los datos obtenidos fueron registrados para su análisis estadístico y comparación entre variedades y tipos de sustrato (Anexo 3, Figura 26).

3.3.5.5. Rendimiento por m²

Para la evaluación del rendimiento por metro cuadrado, en cada unidad experimental se delimitó un área de un metro cuadrado utilizando una cinta métrica. Una vez determinada esta superficie, se procedió a realizar la cosecha manual únicamente dentro de ese espacio (Anexo 3, Figura 27).

Posteriormente se realizó el pesaje total de los tubérculos extraídos utilizando una balanza de precisión (Anexo 3, Figura 28). Además, los tubérculos obtenidos de cada metro cuadrado fueron clasificados por calibre (Anexo 3, Figura 29, 30 y 31), con el fin de obtener no solo el rendimiento total sino también el rendimiento por calibre comercial.

3.3.6. Análisis económico

El análisis económico se efectuó siguiendo la metodología propuesta por el CYMMYT (1988), considerando todos los ítems involucrados en la producción de semilla pre-básica de papa en condiciones de invernadero tecnificado. Para la estimación de los costos se tomaron en cuenta los insumos utilizados (fertilizantes, agroquímicos, materiales), los costos de mano de obra y los gastos asociados a la infraestructura (invernadero, sistema de riego, y camas de cultivo), aplicando un método de depreciación para distribuir la inversión en estos activos a lo largo de su vida útil. Asimismo, se consideraron costos indirectos como servicios básicos (agua, luz), almacenamiento tratado como costo de alquiler y otros gastos operativos, usando únicamente el valor correspondiente al periodo experimental.

Se optó por un presupuesto parcial, en el cual se evaluaron los costos e ingresos relacionados directamente con los tratamientos experimentales, para estimar el ingreso

bruto, ingreso neto y la relación beneficio/costo (B/C), según los procedimientos $B/C > 1$, el tratamiento es rentable, $B/C = 1$, el tratamiento es indiferente (recupera lo invertido) y cuando $B/C < 1$, el tratamiento no es rentable. Este enfoque permitió identificar el tratamiento más rentable y establecer conclusiones claras sobre la viabilidad económica de la producción de semilla pre-básica de papa.

3.3.6.1. Ingreso bruto (IB)

Es el indicador económico que refleja el valor total generado por la producción, sin descontar ningún costo de producción, para su cálculo se aplicó la fórmula:

$$IB = R * P$$

3.3.6.2. Ingreso neto (IN)

Es el indicador económico que refleja la ganancia real obtenida en cada tratamiento, después de descontar todos los costos de producción incurridos en el ciclo de cultivo para su cálculo se aplicó la fórmula:

$$IN = IB - CP$$

3.3.6.3. Beneficio/costo

El análisis de la relación beneficio/costo (B/C) se realizó de manera parcial por tratamientos, considerando la combinación de variedades de papa y tipos de sustrato evaluados en la investigación. Esta relación es un indicador clave de rentabilidad, ya que permite interpretar cuanto beneficio se obtiene por cada boliviano invertido en el proceso productivo, para su cálculo se aplicó la fórmula:

$$RBC = B/C$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de temperatura y humedad registradas dentro del invernadero (diciembre 2024 a mayo 2025)

4.1.1. Temperatura

Durante el periodo experimental, se registraron temperaturas únicamente dentro del invernadero, desde diciembre de 2024 hasta mayo de 2025, coincidiendo con todo el ciclo del cultivo. Las temperaturas máximas alcanzaron valores entre 37,3 °C (diciembre) y 46,3 °C (mayo), mientras que las mínimas oscilaron entre 1,3 °C (enero) y 7,1 °C (mayo). Las temperaturas promedio mensuales se mantuvieron entre 14 °C y 20 °C, valores adecuados para el desarrollo del cultivo de papa bajo condiciones protegidas como se observa en la (Figura 4), en general las condiciones térmicas dentro del invernadero permitieron completar con éxito todas las fases fenológicas.

Andrade-Piedra *et al.* (2015), indican que bajo las condiciones de un clima ideal para el desarrollo de las plantas, en invernadero, es entre 18 y 25°C durante el día y entre 8 y 15°C durante las noches.

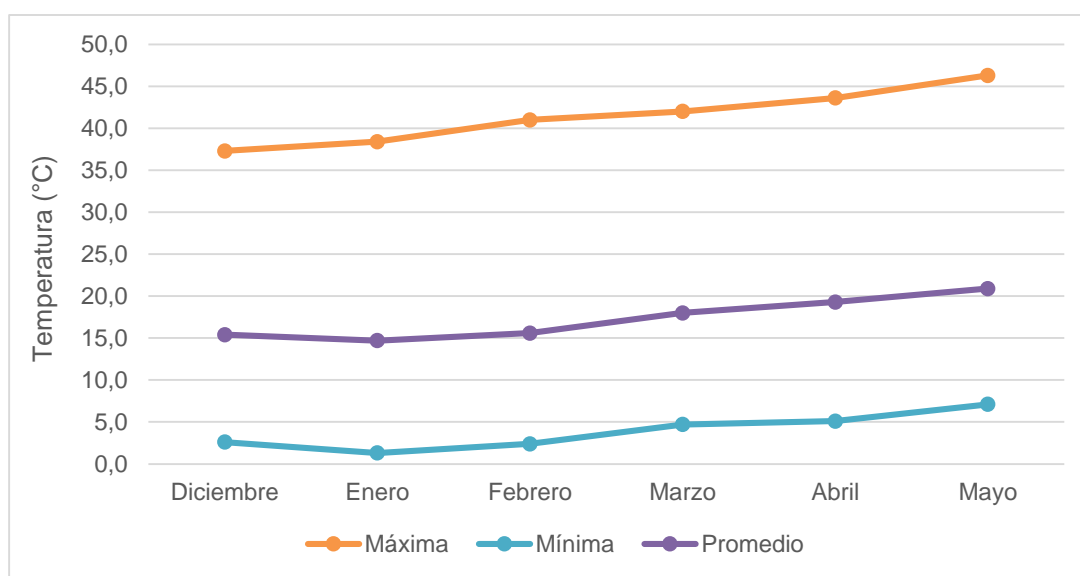


Figura 4. Temperaturas en el interior del invernadero

4.1.2. Humedad

Durante el estudio, la humedad dentro del invernadero, como se ve en la Figura 5, presentó valores máximos entre 88,3% y 97,5% en los meses marzo y abril, las mínimas oscilaron entre 8% (mayo) y 13,4% (marzo) y los promedios mensuales variaron de forma relativamente estable, entre 56,1% y 64%, lo cual se considera adecuado para el cultivo de papa bajo condiciones protegidas.

Durante diciembre y enero, en la etapa de aclimatación de las vitroplantas, la humedad promedio fue cercana al 60% y los máximos de hasta 93% crearon un ambiente ideal para evitar el estrés hídrico, favoreciendo la adaptación al sustrato. Mientras en la etapa de crecimiento vegetativo, estolonización y tuberización la humedad se mantuvo en un rango favorable de 59%-64%, y en el último mes cerca la cosecha las humedades bajo a un promedio de 59,7% y mínima de 8% lo que favoreció en el secado del sustrato y el endurecimiento de la piel de los tubérculos.

Andrade-Piedra et al. (2015) señalan que una alta humedad relativa favorece el desarrollo de patógenos que afectan el follaje del cultivo de papa, especialmente *Phytophthora* y *Oídium*, enfermedades comunes en condiciones de invernadero. Por ello, recomiendan mantener la humedad relativa por debajo del 70-80% para reducir el riesgo de infección.

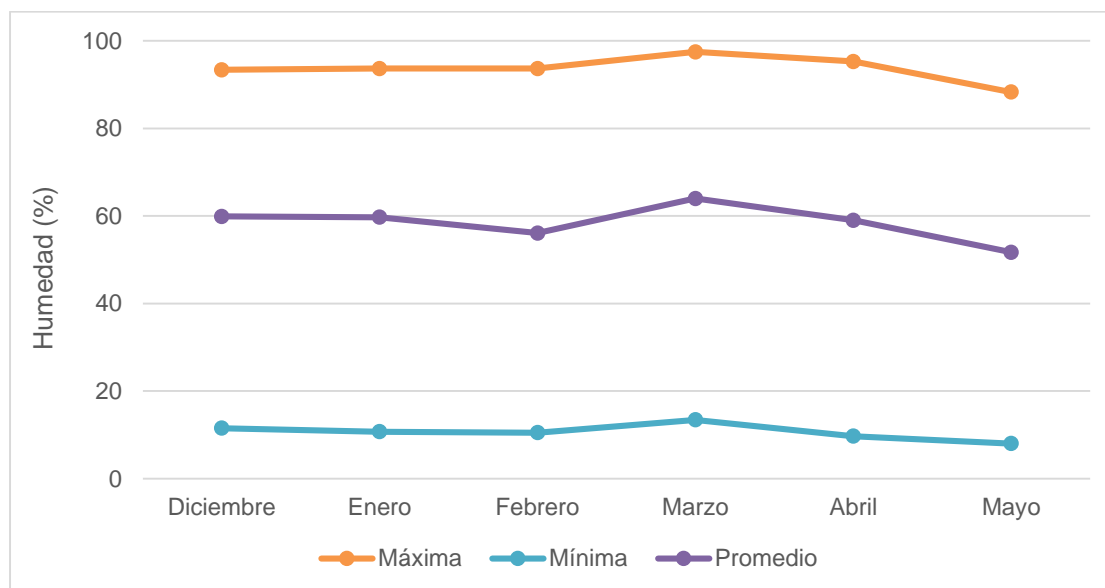


Figura 5. Humedad en el interior del invernadero

4.2. Análisis estadístico de porcentaje de prendimiento

El coeficiente de variación (CV) para la variable porcentaje de prendimiento fue de 18,16%, se muestra en el Cuadro 4, lo cual se considera aceptable para este tipo de experimento en condiciones de invernadero. Este valor indica que hubo una variabilidad moderada entre las unidades experimentales.

Cuadro 4. Análisis de varianza del porcentaje de prendimiento

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	738,56	369,28	1,72	0,2067	NS
Factor A	1	6793,94	6793,94	31,7	<0,0001	**
Factor B	1	1159,94	1159,26	5,41	0,0319	*
A*B	1	1293,6	1293,6	6,04	0,0244	*
Error	18	3858,35	214,35			
Total	23	13843,71				
CV (%)						18,16

No significativo=NS Significativo * Altamente significativo **

El análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento mostró que el factor A (variedad) tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$), mientras que el sustrato también fue significativo ($p = 0,0319$). Además, se detectó una interacción significativa entre variedad y sustrato ($p = 0,0244$), lo que indica que la respuesta en prendimiento varía según la combinación de ambos factores. El efecto del bloque no fue significativo, lo que explica que las diferencias entre bloques no influyeron en los resultados obtenidos.

Cuadro 5. Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el porcentaje de prendimiento

Factor A	Promedio (%)	Duncan ($\alpha=5\%$)
Huaycha	97,46	A
Jatun Puka	63,80	B

En el Cuadro 5, se observa el análisis de comparación de medias, mediante la prueba de Duncan que reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades evaluadas en cuanto al porcentaje de prendimiento. La variedad Huaycha presentó el mayor porcentaje de prendimiento de vitroplantas con un promedio de 97,46 %, siendo estadísticamente superior. En cambio, la variedad Jatun Puka mostró un menor promedio de porcentaje de prendimiento con 63,80 %, ubicándose en un grupo estadístico diferente. Estos resultados indican que la variedad influye significativamente en la adaptación de la vitroplantas dentro del invernadero.

Cuadro 6. Análisis comparativo Duncan para el factor B sobre el porcentaje de prendimiento

Factor A	Promedio (%)	Duncan ($\alpha=5\%$)
Sustrato II	87,58	A
Sustrato I	73,68	B

En el Cuadro 6, se observa el análisis de comparación de medias, mediante la prueba de Duncan que reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sustratos evaluados en cuanto al porcentaje de prendimiento. El sustrato II que está compuesto por arena, turba y cáscara de castaña presentó el mayor porcentaje de prendimiento de las vitroplantas con 87,58 %, siendo estadísticamente superior. En cambio, el sustrato I compuesto por arena y turba mostró un menor porcentaje de prendimiento con 73,68 %, ubicándose en un grupo estadístico diferente. Estos resultados indican que el sustrato influye significativamente en la adaptación de las vitroplantas.

Como se observa en la Figura 6, los resultados del experimento evidencian diferencias claras en el prendimiento de vitroplantas de papa según la combinación de variedades y sustratos. El tratamiento T1 (variedad Huaycha con sustrato de arena y turba) presentó el mayor porcentaje de prendimiento con 97,85%, seguido muy de cerca por T2 (Huaycha con sustrato arena, turba y cáscara de castaña), con 97,07%. Estos valores indican que la variedad Huaycha tiene alta capacidad de prendimiento, y que la adición de cáscara de castaña al sustrato no afecta negativamente este proceso.

En cambio, los tratamientos con la variedad Jatun Puka mostraron porcentajes de prendimiento considerablemente más bajos: T4 (con sustrato de arena, turba y cáscara de castaña) alcanzó 78,1%, mientras que T3 (con sustrato de arena y turba) obtuvo el valor más bajo, con solo 49,52%. Esto indica que Jatun Puka presenta menor vigor inicial o menor adaptación al proceso de trasplante, especialmente sin el aporte orgánico de la cáscara de castaña.

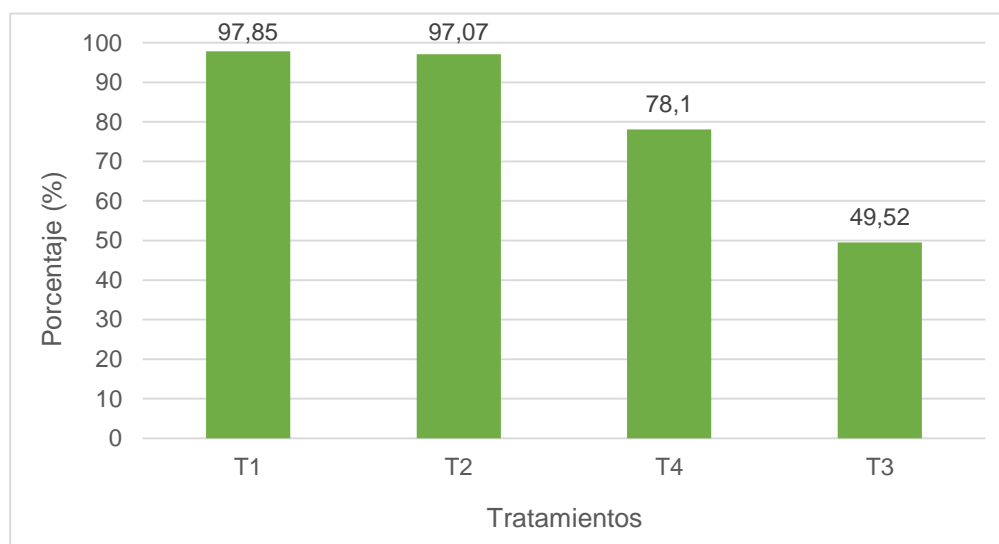


Figura 6. Porcentaje de prendimiento en base a los tratamientos según la interacción variedad y sustrato

Según la investigación en el Centro Experimental de Cota Cota en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), realizado por Saravia (2022), utilizando fertilización triple 20 y sustrato de turba, tierra negra y arena (30 % : 30 % : 40 %), los tratamientos T1 (0,15 kg), T2 (0,25 kg) y T3 (0,40 kg) presentaron porcentajes de prendimiento de 75 %, 76,5 % y 66,5 %, respectivamente, en la variedad Huaycha. En comparación, con los tratamientos de la presente investigación, superaron ampliamente estos valores, lo que indica que la combinación de sustratos mejorados y la aplicación del enraizante IBA (Ácido Indolbutírico) favorecieron un establecimiento más rápido y eficiente de las vitroplantas.

Ccanto (2019), en el Perú evaluó el efecto de diferentes tratamientos con aplicaciones de ácido giberélico sobre el porcentaje de prendimiento de plántulas generadas a partir de brotes inducidos del cultivar Canchán. Se compararon cuatro tratamientos: testigo (sin aplicación), una aplicación, dos aplicaciones y tres aplicaciones de AG₃. Los resultados mostraron que el tratamiento sin aplicación alcanzó el mayor porcentaje de prendimiento

(93,33 %), seguido por el tratamiento de dos aplicaciones (88,33 %) y el de tres aplicaciones (86,67 %).

4.3. Análisis estadístico de altura de planta

En el Cuadro 5, se observa que la variable altura de planta presentó un coeficiente de variación de 10,60%, lo cual indica una buena homogeneidad de los datos. Este valor se encuentra dentro de los rangos aceptables para experimentos agrícolas ($CV < 30\%$).

Cuadro 7. Análisis de varianza de altura de planta

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	108,20	54,10	1,09	0,3590	NS
Factor A	1	546,36	546,36	10,96	0,0039	**
Factor B	1	58,56	58,56	1,17	0,2928	NS
A*B	1	34,30	34,30	0,69	0,4178	NS
Error	18	897,46	49,86			
Total	23	1644,88				
CV (%)						10,60

No significativo=NS Altamente significativo **

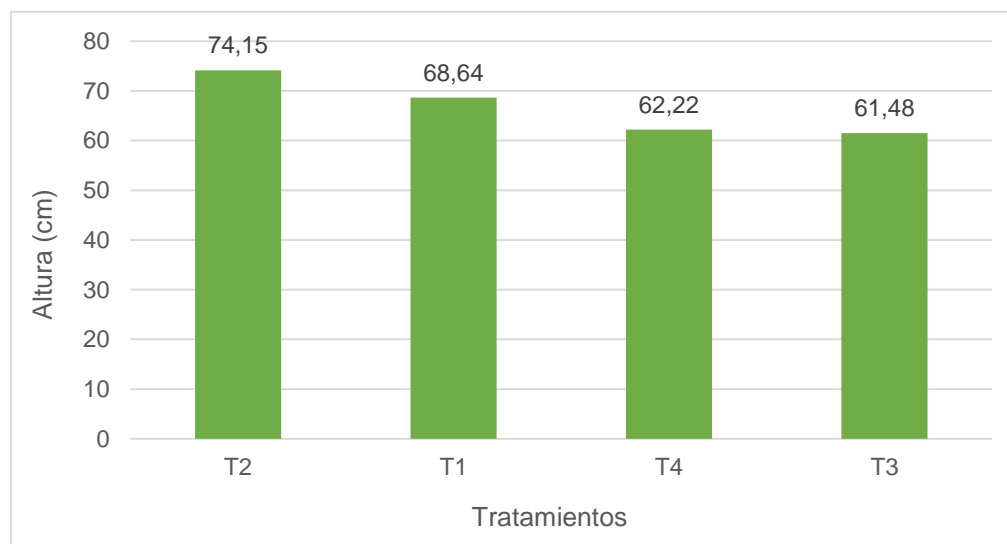
El análisis de varianza para la altura de planta mostró diferencias significativas únicamente para el factor variedad, lo cual indica que el crecimiento en altura estuvo influenciado principalmente por el material genético utilizado. Esto sugiere que algunas variedades presentan mayor vigor o capacidad de desarrollo vertical en comparación con otras, bajo las condiciones del experimento.

El factor sustrato no tuvo un efecto significativo sobre la altura de planta, lo que da entender que los tipos de sustrato actuaron en condiciones similares para el crecimiento, sin generar variaciones relevantes en esta variable. Tampoco se evidenció interacción significativa entre variedad y sustrato, lo que indica que la respuesta en altura de las variedades, no hubo una combinación específica que potenciara o limitara el crecimiento. Finalmente, el efecto del bloque no fue significativo, lo cual refleja una uniformidad en las condiciones experimentales entre repeticiones.

Cuadro 8. Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre la altura de planta

Factor A	Promedio (cm)	Duncan ($\alpha=5\%$)
Huaycha	71,39	A
Jatun Puka	61,85	B

En el Cuadro 8, se observa el análisis de comparación de medias, mediante la prueba de Duncan que reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades evaluadas en cuanto a la altura de planta. La variedad Huaycha presentó la mayor altura promedio de 71,39 cm, siendo estadísticamente superior. En cambio, la variedad Jatun Puka mostró una menor altura promedio de 61,85 cm, ubicándose en un grupo estadístico diferente. Estos resultados indican que la variedad influye significativamente en el crecimiento en altura de las plantas.

**Figura 7. Altura de planta según la interacción factor A*B**

Según la Figura 7, en la altura de planta se observaron diferencias notables entre los distintos tratamientos aplicados. El tratamiento T2 que corresponde a la variedad Huaycha cultivada en el sustrato compuesto por arena, turba y cáscara de castaña, presentó la mayor altura promedio, con 74,15 cm, lo que indica que esta combinación de variedad y sustrato favoreció significativamente el crecimiento en altura, le sigue T1 (variedad Huaycha en

sustrato de arena y turba), con una altura media de 68,64 cm. Aunque menor que T2, este resultado sugiere que la presencia de cáscara de castaña en el sustrato puede haber contribuido a un crecimiento adicional, posiblemente por sus aportes orgánicos o mejora de la estructura del suelo.

Por otro lado, los tratamientos T4 y T3, correspondientes a la variedad Jatun Puka, mostraron las menores alturas con 62,22 cm y 61,48 cm, respectivamente. El T4 incluye cáscara de castaña en el sustrato, mientras que el T3 no, pero ambos tratamientos resultaron en plantas más bajas comparadas con los tratamientos T2 y T1. Esto sugiere que, independientemente del sustrato utilizado, la variedad Jatun Puka tiende a desarrollar menor altura, mientras que La Huaycha muestra mejor desempeño en altura, sobre todo cuando se emplea un sustrato enriquecido con cáscara de castaña.

En la investigación de Quispe (2022), realizada en el Centro Experimental Cota Cota de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), se evaluaron cuatro densidades de plantación (18, 16, 14 y 12 plántulas por m²) con el propósito de determinar el comportamiento agronómico y el rendimiento en semilla pre-básica. En cuanto a la altura de planta, se registró un promedio de 15 cm en la variedad Huaycha y 26 cm en Imilla Negra, evidenciando diferencias varietales en el crecimiento vegetativo bajo condiciones de invernadero. No obstante, los resultados de la presente investigación reflejan un desempeño superior.

4.4. Análisis estadístico de número de tubérculos por planta

El coeficiente de variación para número de tubérculos por planta es de 19,24%. esto indica confiabilidad de los resultados, debido a que el CV se halla por debajo del valor recomendado ($CV < 30$).

Según el Cuadro 9, se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades ($p < 0,0001$), lo que demuestra que el factor genético influye notablemente en la producción de tubérculos por planta. Asimismo, el tipo de sustrato tuvo un efecto significativo ($p = 0,045$), lo cual indica que el medio de crecimiento también influye en el desarrollo del cultivo. La interacción entre variedad y sustrato fue significativa ($p = 0,0204$), lo que sugiere que la respuesta de cada variedad varía en función del sustrato utilizado.

Cuadro 9. Análisis de varianza para el número de tubérculos producidos por planta

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	36,33	18,17	4,82	0,0211	*
Factor A	1	333,02	333,02	88,32	<0,0001	**
Factor B	1	18,38	18,38	4,87	0,0405	*
A*B	1	24,40	24,40	6,47	0,0204	*
Error	18	67,87	3,77			
Total	23	480,00				
CV (%)						19,24

Significativo * Altamente significativo **

Estos resultados respaldan los objetivos del estudio, ya que permiten identificar el comportamiento agronómico de cada variedad en diferentes condiciones de sustrato, y evidencian la necesidad de analizar las combinaciones específicas para determinar cuál opción maximiza el número de tubérculos por planta en la producción de semilla pre-básica de papa.

En la Figura 8, en cuanto al número de tubérculos por planta, se observaron diferencias marcadas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T2, correspondiente a la combinación de la variedad Huaycha con el sustrato compuesto por arena, turba y cáscara de castaña, presentó el valor más alto, con un promedio de 15,70 tubérculos por planta, destacándose como la mejor opción productiva. Le sigue el tratamiento T1 (variedad Huaycha combinada con sustrato arena y turba) con 11,93 tubérculos por planta.

Por otro lado, los tratamientos T3 (variedad Jatun Puka combinada con sustrato arena y turba) y T4 (variedad Jatun Puka combinada con sustrato arena, turba y cáscara de castaña) presentaron los promedios bajos, con 6,50 y 6,23 tubérculos por planta, respectivamente. Estos resultados evidencian una clara diferencia entre las variedades evaluadas, siendo Huaycha la que mostró mayor capacidad de producción de tubérculos, especialmente en combinación con el sustrato enriquecido con cáscara de castaña.

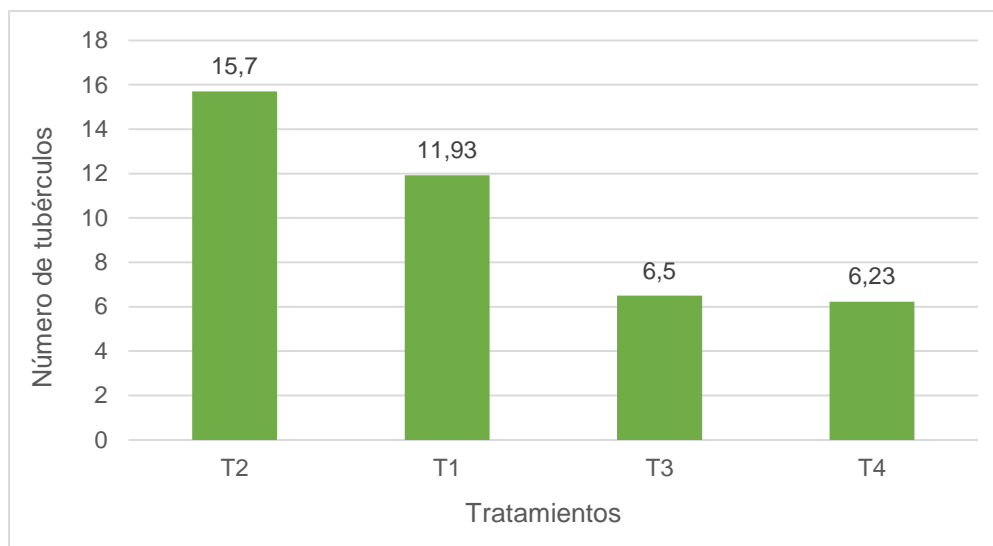


Figura 8. Número de tuberculos por planta en la interacción entre el factor A y B

En la tesis realizada en la Universidad Juan Misael Saracho, en la comunidad de Coimata de Maldonado (2016), se reportó que el tratamiento T3 obtuvo el mayor número de tubérculos por planta (9,33). Este tratamiento correspondió a una densidad de siembra de 10 cm x 10 cm, con fertilización de 72 g/m² de NPK 14:14:14 y riego con agua ozonificada, aplicado en jaulas antiáfidos con un sustrato compuesto por tierra fértil, arena gruesa y materia orgánica. Estos resultados evidencian que la formación de tubérculos puede estar influenciada por factores como la variedad genética, la nutrición y el tipo de sustrato, los cuales son determinantes para la producción de semilla pre-básica. En ese mismo sentido, la presente investigación confirma la importancia de estos factores, especialmente bajo condiciones controladas de invernadero, donde es posible optimizar su efecto sobre el rendimiento.

En la investigación de Quispe (2022), evaluó la producción de tubérculos por planta en las variedades Huaycha e Imilla Negra, en el Centro Experimental de Cota Cota. Las plantas fueron cultivadas en un sustrato compuesto por tierra fértil, arena gruesa y materia orgánica, utilizando una densidad de siembra de 10 cm x 20 cm entre plantas. Los resultados indicaron que Huaycha produjo en promedio 3 tubérculos por planta, mientras que Imilla Negra alcanzó 4 tubérculos por planta. En comparación, la presente investigación evidencia un comportamiento más favorable en la producción de tubérculos.

Cuadro 10. Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el número de tubérculos por planta

Factor A	Promedio	Duncan ($\alpha=5\%$)
Huaycha	13,82	A
Jatun Puka	6,37	B

Según el Cuadro 10, se observó un efecto significativo en las variedades de estudio evaluados en cuanto al número de tubérculos por planta. La variedad Huaycha (V1) obtuvo un mayor promedio de 13,82 tubérculos por planta mientras que la variedad Jatun Puka (V2) presentó un promedio de 6,37 tubérculos por planta, según la prueba de Duncan al 5% de significancia.

Cuadro 11. Análisis comparativo Duncan para el factor B sobre el número de tubérculos por planta

Factor A	Promedio	Duncan ($\alpha=5\%$)
Sustrato I	10,97	A
Sustrato II	9,22	B

Según el Cuadro 11, el análisis estadístico mediante la prueba de comparación de medias de Duncan mostró diferencias estadísticas en la variable número de tubérculos por planta en función del tipo de sustrato utilizado. El sustrato arena y turba (S1) alcanzó un promedio significativamente mayor de 10,97 tubérculos por planta, en comparación con el sustrato arena, turba y cáscara de castaña (S2) que obtuvo 9,22 tubérculos por planta.

4.5. Análisis estadístico peso de tubérculos por planta

El coeficiente de variación es de 18,90 %, este resultado indica que los datos manejados en el diseño experimental para el peso de los tubérculos por planta, son confiables, debido que representa el grado de dispersión de las observaciones en términos de porcentaje.

Cuadro 12. Análisis de varianza de peso de tubérculos por planta

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	0,01	3,60E-03	2,52	0,1087	NS
Factor A	1	0,01	0,01	4,44	0,0494	*
Factor B	1	4,20E-08	4,20E-08	2,90E-05	0,9958	NS
A*B	1	1,50E-03	1,50E-03	1,06	0,317	NS
Error	18	0,03	1,40E-03			
Total	23	0,04				
CV (%)						18,90
No significativo=NS Significativo *						

Según el Cuadro 12, no se detectaron diferencias significativas entre bloques ($p = 0,1087$), lo que indica uniformidad en las condiciones experimentales. El factor variedad (A) presentó un efecto significativo ($p = 0,0494$), evidenciando diferencias entre Huaycha y Jatun Puka en cuanto al peso de tubérculos por planta. En cambio, el factor sustrato (B) no mostró efecto significativo ($p = 0,9958$), lo cual sugiere que ambos tipos de sustrato tuvieron un comportamiento similar respecto a esta variable.

Asimismo, la interacción entre variedad y sustrato no fue significativa ($p = 0,3170$), lo que indica que la respuesta de cada variedad en términos de peso de tubérculos por planta fue estable independientemente del sustrato utilizado. Estos resultados permiten concluir que el peso de tubérculos está más influenciado por el genotipo que por el tipo de sustrato o su combinación.

Según el Cuadro 13, a un nivel de probabilidad del 5% ($p < 0,05$), se observaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto al peso de tubérculos por planta. La variedad Jatun Puka presentó un mayor peso promedio de tubérculos por planta (0,22 kg) en comparación con la variedad Huaycha (0,18 kg) para confirmar estas diferencias, se aplicó la comparación de medias de Duncan, la cual permitió establecer que la variedad Jatun Puka supera estadísticamente a Huaycha en esta variable.

Cuadro 13. Análisis comparativo Duncan para el factor A sobre el peso de tubérculos por planta

Factor A	Promedio (kg)	Duncan ($\alpha=5\%$)
Jatun Puka	0,22	A
Huaycha	0,18	B

Según la Figura 9, la comparación de medias mediante la prueba de Duncan al 5% de significancia mostró diferencias entre los tratamientos evaluados en cuanto al peso promedio de tubérculos por planta. El tratamiento T3 (Jatun Puka con sustrato turba y arena) presentó el valor más alto con 0,22 kg/planta, seguido por T4 (Jatun Puka con sustrato turba, arena y cáscara de castaña) con 0,21 kg/planta. Estos resultados evidencian que la variedad Jatun Puka obtuvo un mayor desarrollo de tubérculos por unidad de planta, independientemente del sustrato utilizado, aunque el sustrato compuesto por arena y turba, resultó ligeramente más eficiente.

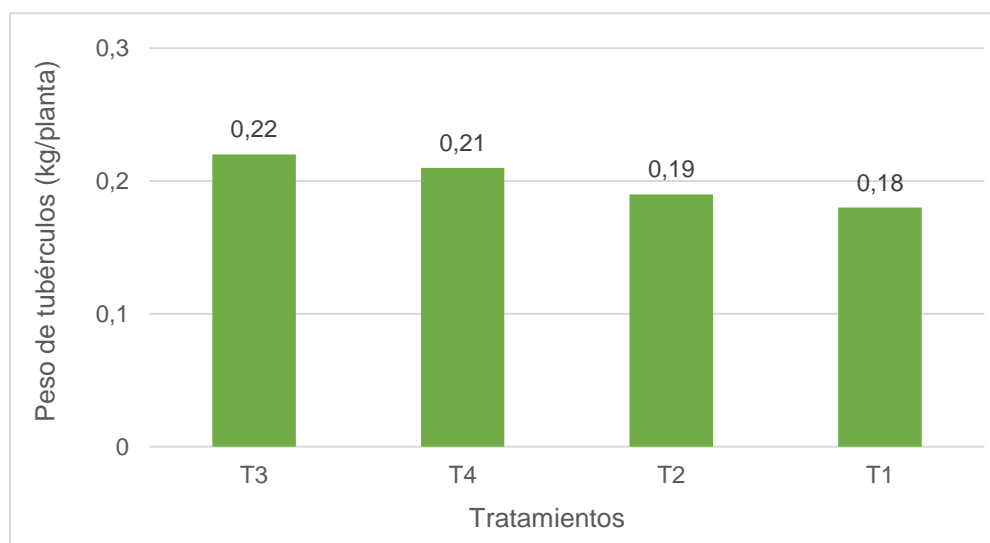


Figura 9. Peso de tubérculos por planta en la interacción entre el factor A y B

En comparación, los tratamientos con la variedad Huaycha mostraron menores valores. El tratamiento T2 (Huaycha con sustrato de turba, arena y cáscara de castaña) alcanzó 0,19 kg/planta, mientras que T1 (Huaycha con sustrato turba y arena) registró el valor más bajo

con 0,18 kg/planta. Esta diferencia refuerza la superioridad de Jatun Puka en cuanto a peso individual de tubérculos por planta, aspecto que influye directamente en la productividad por unidad de cultivo.

Según Baron *et al.* (2021), menciona que en la variedad Desirée, las soluciones de Chapingo y Molina fueron las más efectivas, siendo Chapingo la mejor con 527 g por planta. En las variedades Romano, Waych'a y Pinta Boca no se encontraron diferencias estadísticas importantes, pero las soluciones con mayores promedios fueron Kopia (332 g/planta), Chapingo (283 g/planta) y Chapingo (100 g/planta), respectivamente.

Andrade-Piedra *et al.* (2015), mediante ensayos en sistema de aeroponía, reportaron un rendimiento de 239 g/planta en la variedad INIAP-Fripapa. A partir de estos resultados, se puede inferir que el componente genético de las variedades constituye un factor determinante en la productividad, independientemente del sistema de cultivo empleado, ya sea en campo abierto o en condiciones controladas.

4.6. Análisis estadístico de rendimiento por m²

El análisis estadístico, mostrado en el Cuadro 14, indica que el factor variedad (A) tuvo un efecto altamente significativo ($p = 0,0025$) sobre el rendimiento de peso de tubérculos por metro cuadrado, lo que demuestra que una de las variedades superó claramente a la otra, influenciada por su material genético. En cambio, el factor sustrato (B) no presentó un efecto significativo ($p = 0,5214$).

Cuadro 14. Análisis de varianza de rendimiento de peso tubérculos por m²

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Bloque	2	5,65	2,82	1,43	0,265	NS
Factor A	1	24,2	24,2	12,27	0,0025	**
Factor B	1	0,84	0,84	0,43	0,5214	NS
A*B	1	3,45	3,45	1,75	0,2026	NS
Error	18	35,51	1,97			
Total	23	69,65				
CV (%)						19,32

No significativo=NS Altamente significativo **

Asimismo, no se encontró interacción significativa entre variedad y sustrato ($p = 0,2026$), lo que indica que las variedades respondieron de manera estable sin importar el sustrato. El

efecto del bloque también fue no significativo ($p = 0,2650$), reflejando una buena uniformidad entre las repeticiones, el coeficiente de variación (CV) fue de 19,32%, considerado aceptable para experimentos bajo invernadero, lo que confirma que los datos son confiables.

Según el Cuadro 15, a un nivel de probabilidad del 5% ($p < 0,05$), se observaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto al rendimiento por metro cuadrado. La variedad Jatun Puka presentó un mayor rendimiento de (8,28 kg) en comparación con la variedad Huaycha (6,27 kg) para confirmar estas diferencias, se aplicó la comparación de medias de Duncan, la cual permitió establecer que la variedad Jatun Puka supera estadísticamente a Huaycha en esta variable.

Cuadro 15. Análisis comparativo de Duncan para el factor A sobre el rendimiento

Factor A	Promedio (kg)	Duncan ($\alpha=5\%$)
Jatun Puka	8,28	A
Huaycha	6,27	B

Como se observa en la Figura 10, el tratamiento T4, correspondiente a la variedad Jatun Puka cultivada en el sustrato turba, arena y cáscara de castaña (S2), presentó el mayor rendimiento con 8,47 kg/m², destacándose como el tratamiento más productivo. Le siguió el tratamiento T3, que combina la misma variedad Jatun Puka con el sustrato turba y arena (S1), con un rendimiento de 8,08 kg/m². Estos resultados indican que la variedad Jatun Puka tiene mayor potencial productivo en comparación con la variedad Huaycha, independientemente del tipo de sustrato, aunque el sustrato enriquecido con cáscara de castaña mostró una ligera ventaja.

En tercer lugar, se ubicó el tratamiento T1 (Huaycha con sustrato I), con un rendimiento de 7,06 kg/m², y finalmente el tratamiento T2 (Huaycha con sustrato II), con 6,83 kg/m². Si bien la variedad Huaycha mostró un rendimiento inferior, ambos tratamientos se mantuvieron dentro de un rango aceptable bajo condiciones de invernadero. Estos resultados confirman que, en cuanto a rendimiento por superficie, la variedad Jatun Puka superó a Huaycha, y

que el uso del sustrato compuesto con cáscara de castaña puede mejorar ligeramente la productividad, aunque no de forma estadísticamente significativa en el análisis de varianza general.

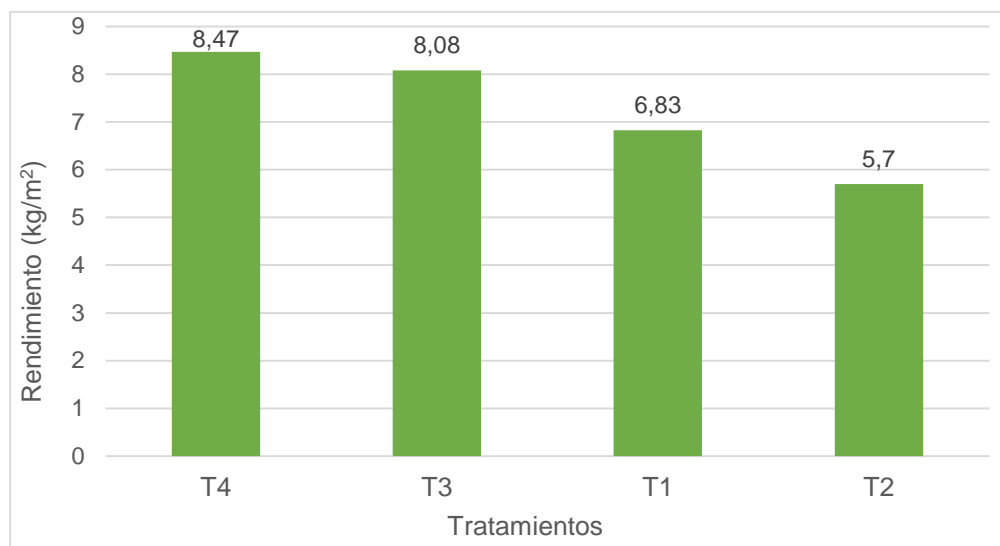


Figura 10. Rendimiento (kg) /m² en la interacción entre el factor A y B

Según Ccanto (2019), en un estudio realizado con la variedad Huaycha, empleando diferentes dosis de fertilizante NPK (triple 20), se determinó que el tratamiento T2 (0,25 kg) obtuvo el mayor rendimiento promedio de peso de tubérculos con 2541,25 g. Le siguieron T3 (0,40 kg) con 2438,45 g y T1 (0,15 kg) con 1929,12 g. Estos resultados reflejan el efecto de las distintas dosis de fertilizante sobre la productividad del cultivo.

García *et al.* (2017), muestra los resultados de las pruebas de comparación de medias (prueba t) para el peso de tubérculos > 5 g por m², siendo el tratamiento Aeroponía-Serranía, el que arrojó los mejores resultados con 5401,5 g por m² (216,06g/pl), en tanto que el tratamiento Convencional Serranía presentó los promedios más bajos con 980,12 g por m² (39,20 g/pl).

4.7. Análisis del rendimiento en calibres de metro cuadrado

Según INIAF (2022), en el artículo 9 del reglamento para mantenedores de variedades de semilla de papa (*Solanum* spp). Clasifica de los micro tubérculos-semilla de papa, se realizará de acuerdo a los siguientes tamaños:

Cuadro 16. Cuadro de calibres según peso (g)

Calibres	Peso (g)
Calibre I	46-60
Calibre II	36-45
Calibre III	26-35
Calibre IV	16-25
Calibre V	10-15

Según la Figura 11, la distribución del rendimiento en base a calibres muestra que la mayor producción por metro cuadrado se concentró en los calibres II y III, correspondientes a tubérculos de 36 a 45 g y 26 a 35 g, respectivamente. En calibre II, el tratamiento T3 (Jatun Puka con sustrato turba y arena) alcanzó el valor más alto con 2,7 kg/m², seguido de cerca por T4 (Jatun Puka con sustrato turba, arena y cáscara de castaña) con 2,4 kg/m². En calibre III, los tratamientos T1 y T4 presentaron el mayor rendimiento (2,6 kg/m² cada uno), aunque las diferencias entre todos los tratamientos en este calibre fueron leves.

Los calibres I y IV presentaron menores valores. En calibre I (46-60 g), que representa los tubérculos de mayor tamaño, el tratamiento T3 destacó con 1,6 kg/m², seguido de T4 con 1,2 kg/m², ambos pertenecientes a la variedad Jatun Puka, lo que sugiere que esta variedad tiene mayor capacidad para formar tubérculos de mayor peso. En cambio, los tratamientos con la variedad Huaycha (T1 y T2) tuvieron producciones más bajas en este calibre (0,6 y 0,4 kg/m², respectivamente). Para calibre IV (16–25 g), los rendimientos fueron similares entre tratamientos, con valores entre 0,5 y 0,7 kg/m².

Finalmente, en el calibre V (10-15 g), se observó una mayor concentración de pequeños tubérculos en la variedad Huaycha, donde T2 alcanzó 1,1 kg/m² y T1, 0,8 kg/m², frente a solo 0,4 kg/m² en los tratamientos de Jatun Puka (T3 y T4). Esto indica que Huaycha tiende a generar una mayor proporción de tubérculos pequeños, mientras que Jatun Puka presenta un perfil más equilibrado y concentrado en calibres comerciales (I a III). En conjunto, los resultados sugieren que el tratamiento T3 (Jatun Puka con sustrato turba y arena) fue el que presentó mejor distribución y mayor rendimiento en calibres comerciales, especialmente en calibres I y II, adecuados para semilla pre-básica de calidad.

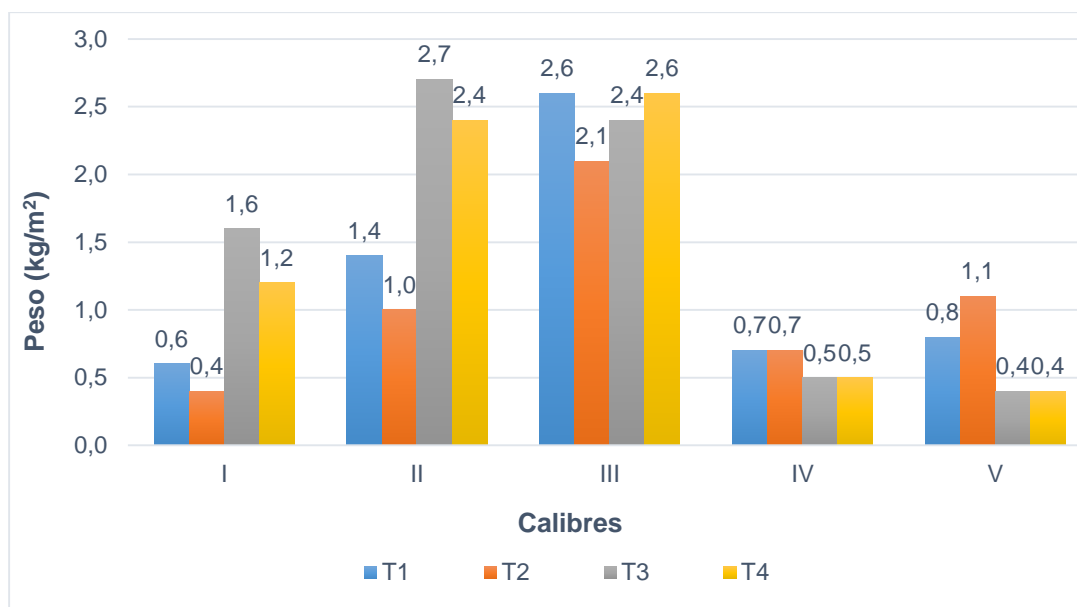


Figura 11. Rendimiento de peso de tubérculos por m² en base a los calibres

Según la Figura 12, la distribución del número de tubérculos por metro cuadrado mostró que los calibres III (26-35 g) y IV (16-25 g) concentraron la mayor cantidad de tubérculos en todos los tratamientos, siendo estos los más comerciales y preferidos para la producción de semilla pre-básica. En el calibre III, el tratamiento T2 (Huaycha con turba, arena y cáscara de castaña) presentó el mayor número de tubérculos (150/m²), seguido por T1 (Huaycha con turba y arena) con 132 tubérculos/m². Los tratamientos con Jatun Puka también mostraron buena presencia en este calibre, con 100 tubérculos/m² en T3 y 98 tubérculos en T4. En el calibre IV, los tratamientos T1 y T2 también dominaron, con 75 y 80 tubérculos/m², mientras que los de Jatun Puka alcanzaron 37 y 33 tubérculos/m², respectivamente.

Por otro lado, el calibre V (10-15 g) presentó una marcada acumulación de mini tubérculos en la variedad Huaycha, especialmente en el tratamiento T2, que alcanzó 193 tubérculos/m², y en T1 con 145 tubérculos/m². En contraste, los tratamientos con Jatun Puka (T3 y T4) presentaron cantidades menores (50 y 40 tubérculos/m², respectivamente), lo que indica que esta variedad produce menos tubérculos pequeños, concentrando su producción en calibres más comerciales. Estos resultados podrían ser importantes para estrategias de selección y clasificación de semilla según su destino.

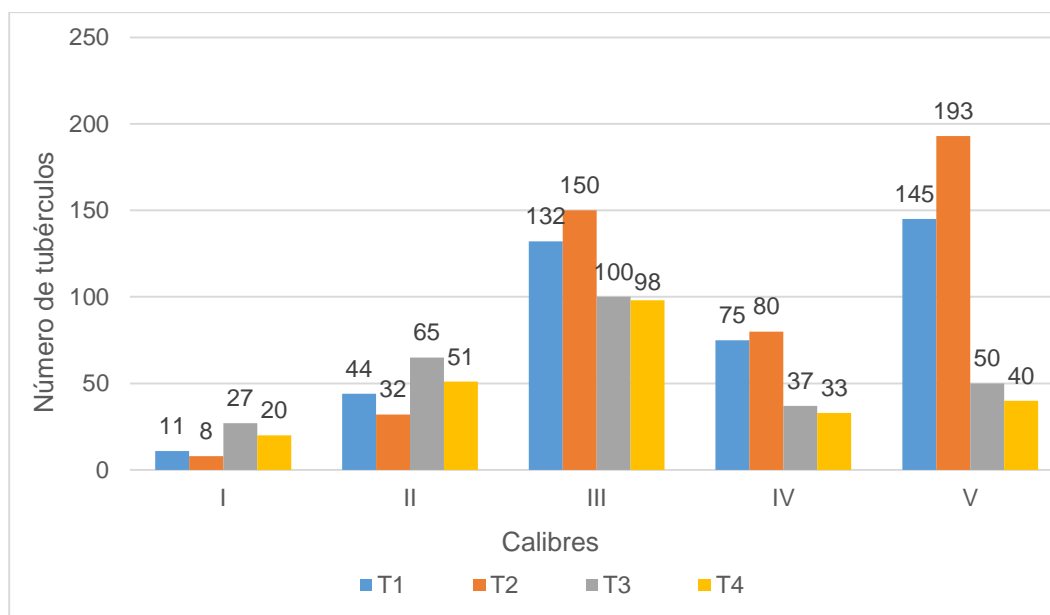


Figura 12. Rendimiento de número de tubérculos por m² de cada tratamiento en calibres

En el caso del calibre I (46-60 g), aunque representa los tubérculos de mayor tamaño, su presencia fue reducida en todos los tratamientos, destacando únicamente T3 con 27 tubérculos/m² y T4 con 20, ambos de la variedad Jatun Puka. Este calibre, por su bajo número de unidades por peso, no es el más solicitado para semilla, lo que refuerza la importancia de los calibres intermedios (III y IV). En resumen, la variedad Huaycha destacó por su alta producción de tubérculos en calibres III, IV y V, mientras que Jatun Puka mostró una distribución más concentrada en calibres II y III, con menos presencia de calibres pequeños, lo que puede facilitar la selección de tubérculos más homogéneos para semilla.

4.8. Análisis económico

4.8.1. Ingreso bruto

Para este análisis, se utilizó el precio de 200 Bs por kilogramo de semilla de papa, considerando el valor de referencia de mercado. El cálculo se realizó para cada uno de los tratamientos experimentales, multiplicando la producción total de cada tratamiento por dicho precio, obteniendo así el ingreso bruto generado para cada uno.

Cuadro 17. Análisis económico de ingreso bruto para producción de semilla de papa

Concepto costos (Bs)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Rendimiento de kg para la venta	214,6	227,9	263,3	211,2
Precio por kg (Bs)	200,0	200,0	200,0	200,0
Ingreso bruto /ciclo (Bs)	42920	45580	52660	42240

Los resultados obtenidos, se presenta en el Cuadro 17, donde se evidencia que el T1 genero un ingreso bruto de 42920 Bs, el T2 alcanzó 45580 Bs, T4 reportó 42240 Bs y el T3 obtuvo el mayor ingreso bruto con 52660 Bs estos resultados reflejan que el T3 destaca significativamente en cuanto a generación de ingresos, debido a que obtuvo el mayor rendimiento en kg por tratamiento, lo que se traduce en un mayor retorno económico.

4.8.2. Ingreso neto

El costo de producción fue uniforme para los cuatro tratamientos, ascendiendo a 16727 Bs para el ciclo de seis meses considerado en este estudio, que incluye insumos, mano de obra servicios y la depreciación de herramientas e infraestructura proporcional al periodo del ensayo.

Cuadro 18. Análisis económico de ingreso neto para producción de semilla de papa

Concepto costos (Bs)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Ingreso bruto/ciclo (IB)	42920,0	45580,0	52660,0	42240,0
Costo de producción (CT)	16727,4	16724,4	16727,4	16727,4
Ingreso neto /ciclo de 6 meses	26192,6	28855,6	35932,6	25512,6

De acuerdo a los resultados obtenidos Cuadro 18, el T1 generó un ingreso neto de 26192,6 Bs, T2 alcanzó 28855,6 Bs, T4 obtuvo 25512,6 Bs y T3 registro el mayor ingreso neto con 35932,6 Bs. Estos resultados evidencian que todos los tratamientos presentaron utilidades positivas, lo que indica que la producción de semilla pre-básica de papa en condiciones de

invernadero tecnificado resulto rentable en todos los casos. Sin embargo, en T3 destacó con el mayor margen de ganancia, debido a su rendimiento superior, confirmando la relación directa entre productividad agronómica y retorno económico.

4.8.3. Beneficio/Costo

El análisis de la relación beneficio/costo (B/C) se realizó de manera parcial por tratamientos, considerando la combinación de variedades de papa y tipos de sustrato evaluados en la investigación.

Cuadro 19. Análisis económico de la relación beneficio-costo parcial de la producción de semilla de papa

Concepto costos (Bs)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Ingreso bruto/ciclo (IB)	42920,0	45580,0	52660,0	42240,0
Costo de producción (CT)	16727,4	16724,4	16727,4	16727,4
B/C /ciclo de 6 meses	2,6	2,7	3,1	2,5

Según el Cuadro 17, todos los tratamientos presentaron valores de B/C superiores a 1, confirmando que todos fueron rentables. Sin embargo, sobresale notablemente T3 que registró la relación más alta con 3,1 lo que indica que por cada boliviano invertido se generó una ganancia de 2,10 Bs. Este resultado se asocia directamente al mejor rendimiento obtenido en el T3 correspondiente a la variedad Jatun Puka en el sustrato I (arena y turba), lo que demuestra que esta combinación fue la más productiva y rentable.

Según las investigaciones de Garcia (2013), el menor costo de producción por m² se obtuvo en el sistema convencional (variedades Chucmarina y Serranita) con 37,98/m², mientras que el mayor costo fue en el sistema aeropónico con 74,96/m². El mayor ingreso neto se logró en el sistema aeropónico–Serranita con 125,16/m², y el menor en el sistema convencional–Serranita con 18/m². La mayor rentabilidad fue del 66,97% (aeropónico–Serranita), y la menor, 29,44% (convencional–Chucmarina).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se concluye:

- La variedad Huaycha mostró un mejor comportamiento en cuanto al establecimiento inicial y desarrollo vegetativo, logrando un mayor porcentaje de prendimiento de vitroplantas y altura de planta, superiores en comparación con la variedad Jatun Puka, lo que indica una mayor capacidad de adaptación y crecimiento durante las primeras etapas del cultivo.
- En relación con la producción de tubérculos por planta, Huaycha presentó un mayor número de tubérculos, mientras que Jatun Puka, aunque produjo menos unidades, mostró un mayor peso de tubérculos por planta, evidenciando diferencias en la estrategia de producción de cada variedad.
- Al evaluar los calibres de los tubérculos, Huaycha se destacó en los tamaños más demandados comercialmente (calibre III), mientras que Jatun Puka presentó tamaños un poco más grandes, aunque también adecuados para el mercado. Esto refleja que ambas variedades tienen ventajas distintas pero favorables para la comercialización.
- Desde el punto de vista económico, todos los tratamientos resultaron rentables, destacando especialmente la combinación de Jatun Puka con sustrato de arena y turba y el tratamiento de Huaycha con sustrato arena, turba y cáscara de castaña. Estos resultados sugieren que ambas variedades pueden ser utilizadas de manera eficiente según el objetivo productivo, ya sea priorizando el rendimiento en peso o el número de tubérculos con calibres comerciales.

6. RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda continuar con la evaluación de diferentes combinaciones de sustrato para la producción de semilla pre-básica de papa, incorporando materiales locales de bajo costo y fácil disponibilidad que permitan abarcar los gastos de producción sin comprometer la calidad de los tubérculos. El uso de mezclas alternativas de sustratos podría aportar información valiosa sobre la sostenibilidad económica y la escalabilidad del sistema productivo.
- Desde el punto de vista varietal, es recomendable profundizar la investigación con otras variedades de papa de interés regional y nacional, para diversificar la oferta de semilla pre-básica, evaluar su comportamiento agronómico en condiciones controladas y determinar cuáles presentan mayor rentabilidad para los productores semilleros.
- Se recomienda promover la transferencia de la tecnología de invernaderos tecnificado a mayor escala y con apoyo institucional, ya que este sistema demostró ser una alternativa eficaz para asegurar la producción de semilla pre-básica de calidad. La capacitación de productores, técnicos y asociaciones semilleros en el manejo de estas tecnologías será clave para fortalecer la cadena de producción de semilla en Bolivia.

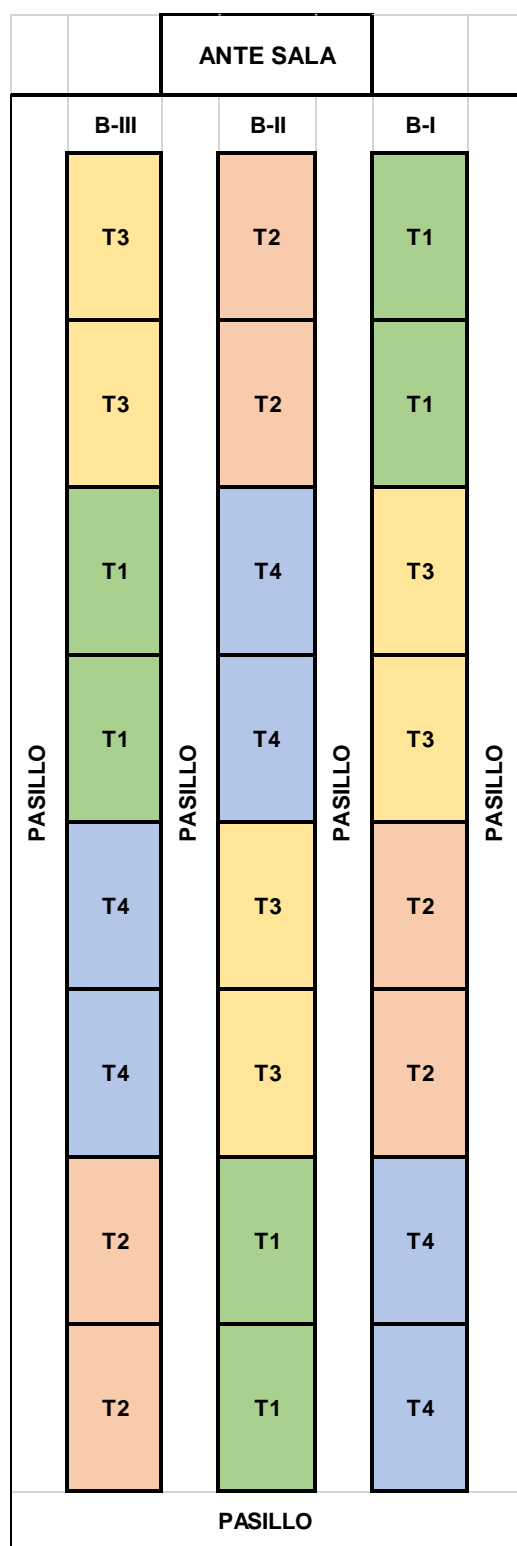
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abohatem, M. El-Awady, A. Alayafi, A. y El-Dengawy, E. 2024. *In vitro* sprouts culture, shoots multiplication and plants acclimatization for commercial production of potato minitubers. *Journal of Crop Science and Biotechnology. revista ciencia de cultivos y biotecnología*. (27): 187-194.
- Agha, M. Abdullah, N. Malik, A. Shah, S. y Khan, S. 2024. Mini Review of Plant Tissue Culture: The Role of Media Optimization, Growth Regulators in Modern Agriculture, Callus Induction and the Applications. *International Journal of Plant Science and Horticulture*. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/387073479_A_Mini_Review_of_Plant_Tissue_Culture_The_Role_of_Media_Optimization_Growth_Regulators_in_Modern_Agriculture_Callus_Induction_and_the_Applications
- Aguire, G. Baudoin, J. y Leigue, L. 2016. Aplicación del Cultivo de Tejidos en la Multiplicación y Conservación de los Recursos Fitogenéticos. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias. 240 p.
- Andrade-Piedra, J. Kromann, P. y Otazú, V. 2015. Manual para la Producción de Semilla de Papa usando Aeroponía: Diez años de Experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Quito, Ecuador,
- Baron, A. Aguirre, G. Delgadillo, R. y Baudoin, A. 2021. Producción de semilla pre básica de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* sp.) en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de agua profunda. *Revista de Agricultura*. (63): 1-10.
- Cahuana, W. 2020. Manual de produccion de tuberculos semilla de buena calidad de papa INIA. (2): 1-20.
- Campos, R. 2011. Estudio de la produccion y uso de semilla certificada de cinco principales rubros en el departamento de La Paz. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 100 p.
- Camposeco, L. 2015. Evaluación de seis tipos de sustratos para la producción de semilla pre básica de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Loman bajo condiciones protegidas ICTA, Labor Ovalle, Quetzaltenango, Guatemala 2,015. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 43 p.
- Ccanto, K. 2019. Optimización en la obtención de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* L.), a partir de brotes inducidos en el cultivar canchán. Tesis Ing, Agr. Jauja, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. 55 p.
- Chorlavi, G. 2022. Acceso de campesinos a mercados organicos *Debate agrario* (3): 184-190.
- CIP-FSM. 2024. Aislamiento y caracterización del Potato Virus Y (PVY) en cultivo de semilla prebásica en Perú Informe técnico
- CIP. 2023. La papa: evolucion, biodiversidad y recursos geneticos 195.
- CYMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Delgado, J. Salazar, L. y Morales, J. 2020. Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de semilla prebásica de papa (*Solanum tuberosum*) en condiciones controladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. (14): 65-74.

- Devaux, A. Ordinola, M. Suarez, V. y Hareau, G. 2024. Situación actual y perspectivas del procesamiento de papa en la zona andina, implicancias para el mejoramiento genético y la selección de variedades. International Potato Center (CIP).
- FAO. 2023. Manual tecnico sobre manejo del tizon tardio en papa Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura
- Fernández, P. López, M. y Gutiérrez, H. 2021. Evaluación de mezclas de sustratos para la producción de minitubérculos de papa en ambientes protegidos. Revista Latinoamericana de la Papa. (2): 41-50.
- Gabriel, J. Pereira, R. y Gandarillas, A. 2011. Catalogo de nuevas variedades de papa en Bolivia. Cochabamba, Bolivia, Universidad Estatal del Sur de Manabi. 30 p.
- Garcia, L. 2013. Evaluación técnica, económica y de sustentabilidad de dos métodos de producción de semilla pre básica de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Tesis Agricultura Sostenible. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina 76 p.
- Garcia, M.; Chuquillanque, C.; Veneros, J. y Garcia, S. 2017. Evaluacion tecnica y economica para dos metodos de produccion de semilla pre basica de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Revista Cientifica y Tecnologica UPSE. (3): 36-45.
- Gongora, L. y Olivera, J. 2023. Evaluacion y diagnostico de virus del enrollamiento en papa en zonas altoandinas bolivianas Revista Andina de Fitopatologia (2): 45-57.
- Gutiérrez, R. Espinoza, T. y Bonierbale. 2007. UNICA: variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas Revista Latinoamericana de la Papa: 42-45.
- Guzman, J. 2023. Micropropagacion *in vitro* de dos variedades de papa para la obtencion de semilla Pre-Básica. Revista cientifica EMINENTE. (4): 50-52.
- Google Earth. 2025. Google Earth. Disponible en: <https://earth.google.com> [consultado el 10 de agosto de 2025].
- IBCE. 2018. Bolivia tiene 33 variedades de papa, pero baja capacidad de producción Noticias Nacionales La Paz; 23 de mayo: 1-2.
- INIAF. 2022. Reglamento general de multiplicacion y comercializacion de semillas y material vegetal Instituto Nacional de Innovacion Agropecuaria y Forestal.
- INIAF. 2025. INIAF desarrolla la produccion de semilla de papa prebasica libre de plagas y enfermedades INIAF noticias.
- Maldonado, M. 2016. Producción de semilla prebásica de papa (*Solanum tuberosum* L.) aplicando agua ozonificada, bajo dos densidades de siembra y niveles de fertilización en jaulas antiáfidos en la comunidad de Coimata. Tesis Ing, Agr. Tarija, Bolivia. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. 50 p.
- Mganga, S. 2025. Optimization of Surface Sterilization Protocol for *in vitro* Initiation of African Star Grass (*Hypoxis schimperi*). *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. (4): 44-48.
- Mixquititla, G. 2022. Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral. Acta agricola y pecuaria.
- Montero, A. 2022. Evolución tecnológica de los invernaderos españoles. ISHS acta horticulturae.
- Mora, M. Rodríguez, E. y Ligarreto, G. 2022. Impact of initial explants on in vitro propagation of native potato (*Solanum tuberosum*, Andigena group). Plant Cell, Tissue and Organ Culture. *cultivo de celulas, tejidos y organos vegetales (PCTOC)*. (150): 627-636.
- Mujica, V. 2023. Respuesta agronomicaa de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*), a la aplicacion de dos paquetes tecnologicos en la estacion experimental Patacamaya. Tesis Título académico de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia.

- Universidad Mayor de San Andres. 8-9 p. Consultado 23 mar. 2025. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/34460/T-3208.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nowak, J. Bujak, H. y Wójcik, A. 2022. Improving acclimatization of micropropagated potato plants through modified environmental conditions. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. (4): 841-850.
- Ochoa, T. R. 2009. Diseños experimentales. 2009. La Paz Bolivia. 2da edición.
- Olmos, L. 2021. Los invernaderos del futuro, a la vuelta de la esquina. Tecnología agrícola Disponible en <https://www.tecnologiahorticola.com/horticultura-invernaderos-futuro/>
- Otieno, G. y Cadima, X. 2021. Mejora de los sistemas de semilla para la seguridad alimentaria de pequeños agricultores. Alianza de Bioversity International y el CIAT. (1): 1-2.
- Perez, J. 2024. Micropropagacion *in vitro* de dos variedades de papa para la obtencion de semilla prebásica. La Paz, Bolivia, Revista científica de la Escuela Militar de Ingenieria. 2-8 p. Consultado 23 mar. 2025. Disponible en <https://eminente.emi.edu.bo/index.php/eminente/article/view/2>
- Pérez, W. y Andrade, J. 2024. Producción de tubérculos-semilla de papa calidad prebásica y básico procedimiento operativo estándar (POE). Centro Internacional de la papa. Lima, Perú. 22.
- Quispe, R. 2022. Obtención de semilla pre-básica de dos variedades de vitro plantas de papa (*Solanum tuberosum* sp.) huaycha paceña e imilla negra en invernadero del Centro Experimental de Cota Cota. Tesis Ing, Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres.
- Rocabado, C. Mercado, L. y Iquize, E. 2022. Produccion de semilla pre-básica de cinco variedades nativas provenientes del Banco de Tuberculos y Raices Andinas. Revista científica de investigacion INFO-INIAF. (1): 29-36.
- Rojas, B. y Antonio, J. 2017. Sistema de produccion de semilla prebasica de papa combinado micropropagacion *in vitro*, hidroponia e invernadero. Tesis Facultad de ciencias agricolas. Universidad Mayor de San Simon
- Rojas, E.;Vargas, K. y Mamani, S. 2022. Uso de cáscara de castaña (*Bertholletia excelsa*) como componente orgánico en sustratos para la producción de semilla de papa en vivero tecnificado. AgroCiencia Bolivia. (16): 55-63.
- SAG. 2025. Categorías de semillas certificadas ministerio de agrocultura.
- Saravia, G. 2022. Producción de semilla pre-básica variedad Huaycha (*Solanum tuberosum* spp. andigena) a partir de vitroplantas con la aplicación de tres niveles de fertilización en ambiente protegido en el Centro Experimental de Cota Cota. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia Universidad Mayor de San Andres. 70 p.
- Singh, B. Kumar, A. y Verma, A. 2021. Effect of growth regulators on in vitro shoot multiplication in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Applied and Natural Science*. (13): 336-342.
- Torrez, M. 2011. El Perú come papa. Zhio TM. (1): 1.

8. ANEXOS



Anexo 2. Factura de la compra de vitroplantas.



INIAP
Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL
SUCURSAL N. 1
No. Punto de Venta 0
AVENIDA BUSCH NRO. 1370 EDIF:
MONTERREY PISO: PB DEPTO.: 3
ZONA/BARRIO: MIRAFLORES
Teléfono: 2441153
La Paz

NIT 160944020
FACTURA N° 7672
B0321F25CA3B4C41658F1
COD. AUTORIZACIÓN 8EB7DA13CCED59670B02
9F2BB92276D8E74

FACTURA

(Con Derecho A Crédito Fiscal)

Fecha: 31/07/2024 12:59 PM **NIT/C/CEX:** 369469021
Nombre/Razón Social: ORKIDEANDINA COMECIALIZACION S.R.L. **Código cliente:** 1381

CÓDIGO PRODUCTO / SERVICIO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	SUBTOTAL
LP-1	9,200.00	Kilogramo	1 -VENTA DE SEMILLAS (VENTA DE VITRO DE PLANTAS)	2.50	0.00	23,000.00
SUBTOTAL Bs						23,000.00
DESCUENTO ADICIONAL Bs						0.00
TOTAL Bs						23,000.00
MONTO GIFT CARD Bs						0.00
TOTAL A PAGAR Bs						23,000.00
IMPORTE BASE CRÉDITO FISCAL Bs						23,000.00

SON: VEINTITRÉS MIL 00/100 BOLIVIANOS

NOTAS
No DE DEPOSITO:14262407018792131

"ESTA FACTURA CONTRIBUYE AL DESARROLLO DEL PAÍS, EL USO ILÍCITO SERÁ SANCIONADO PENALMENTE DE ACUERDO A LEY"
Ley N° 453: Los servicios deben suministrarse en condiciones de inocuidad, calidad y seguridad.

"Este documento es la Representación Gráfica de un Documento Fiscal Digital emitido en una modalidad de facturación en línea".



Anexo 3. Procedimiento de las labores experimentales



Figura 1. Sustrato regado para alcanzar capacidad de campo



Figura 2. Nivelado del sustrato en las camas



Figura 3. Desinfección de las camas con peróxido de hidrógeno

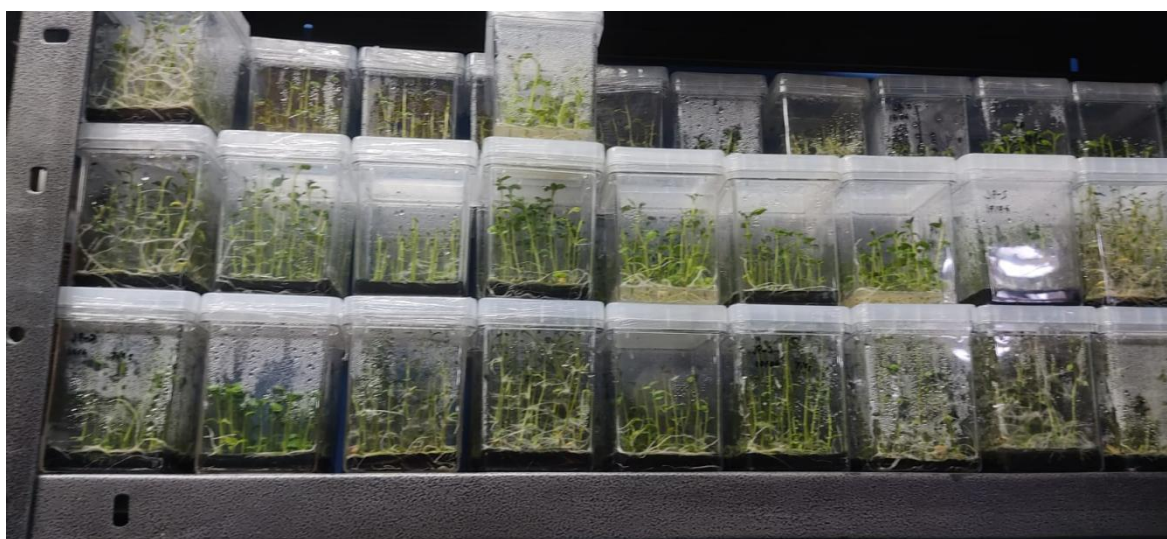


Figura 4 Ambientación de vitroplantas



Figura 5. Marcado de la densidad de trasplante con marcador metálico



Figura 6. Sumergido de vitroplantas en solución enraizante

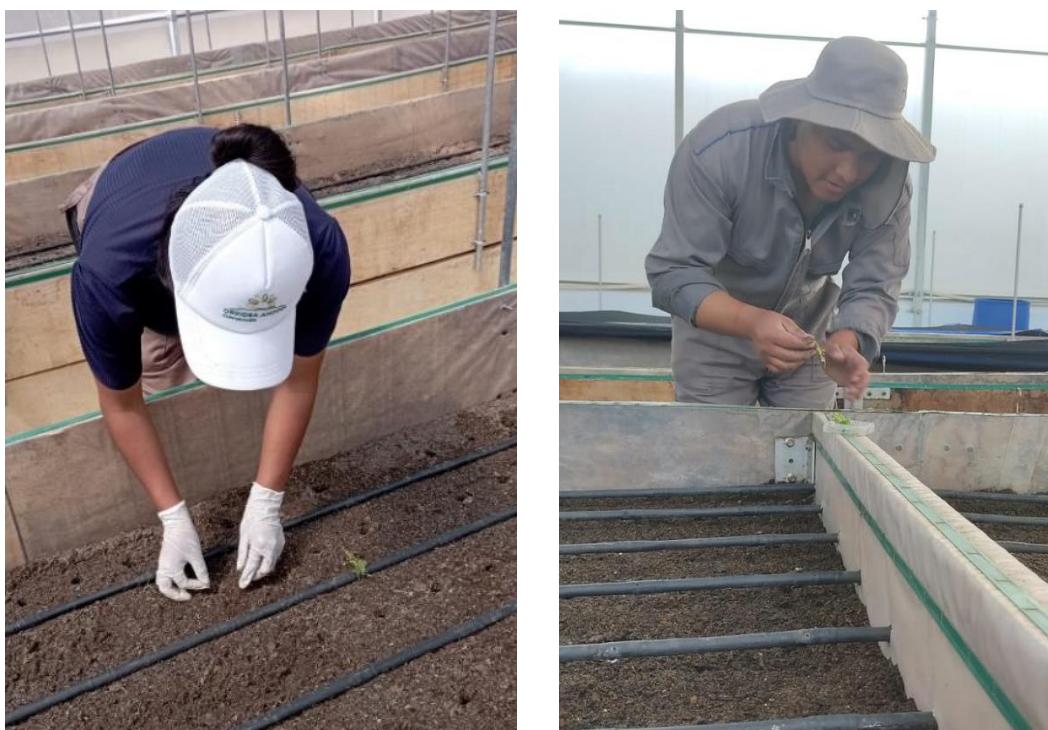


Figura 7. Trasplante de vitroplantas en camas



Figura 8. Programación de riego y temperatura del invernadero



Figura 9. Colocado de malla de tutoraje



Figura 10. Aplicación de productos fitosanitarios con mochila



Figura 11. Corte de folíolos para análisis de laboratorio



Figura 12. Foliolos de papa en bolas herméticas listos para su envío a laboratorio



Figura 13. Plantas de papa con tubérculos



Figura 14. Conteo número de tubérculos de la variedad Huaycha



Figura 15. Conteo número de tubérculos de la variedad Jatun Puka



Figura 16. Plantas del experimento en plena vegetación



Figura 17. Corte de follaje y cobertura con malla semisombra



Figura 18. Cosecha de los tubérculos de las dos variedades



Figura 19. Lavado de los tubérculos de las dos variedades



Figura 20. Secado de la variedad Huaycha



Figura 21. Secado de la variedad Jatun Puka



Figura 22. Selección de semilla pre-básica de papa



Figura 23. Almacenamiento de semilla pre-básica de papa



Figura 24. Numero de tubérculos por planta variedad Jatun Puka



Figura 25. Numero de tubérculos por planta de la variedad Huaycha



Figura 26. Peso de los tubérculos por planta



Figura 27. Delimitación de metro cuadrado y cosecha



Figura 28. Peso de los tubérculos cosechados del metro cuadrado



Figura 29. Calibres de semilla de papa variedad Jatun Puka



Figura 30. Calibres de semilla de papa variedad Huaycha



Figura 31. Calibres de la variedad Jatun Puka



Figura 32. Calibres de la variedad Huaycha

Anexo 4. Resultados del análisis de varianza de las variables de estudio

Análisis de la varianza

Porcentaje de prendimiento

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
prendimiento	24	0,72	0,64	18,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9984,33	5	1996,87	9,32	0,0002
Bloque	738,56	2	369,28	1,72	0,2067
Variedad	6793,94	1	6793,94	31,7	<0,0001
Sustrato	1159,94	1	1159,26	5,41	0,0319
Variedad*Sustrato	1293,6	1	1293,6	6,04	0,0244
Error	3858,35	18	214,35		
Total	13843,71	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V1 97,46 12 4,23 A

V2 63,80 12 4,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S2 87,58 12 4,23 A

S1 73,68 12 4,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V1 S1 97,85 6 5,98 A

V1 S2 97,07 6 5,98 A

V2 S2 78,08 6 5,98 B

V2 S1 49,52 6 5,98 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V1 97,46 12 4,23 A

V2 63,80 12 4,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S2 87,58 12 4,23 A

S1 73,68 12 4,23 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 214,2588 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V1 S1 97,85 6 5,98 A

V1 S2 97,07 6 5,98 A

V2 S2 78,08 6 5,98 B

V2 S1 49,52 6 5,98 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Altura planta

Variable N R² R² Aj CV

Altura planta 24 0,45 0,30 10,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	747,42	5	149,48	3,00	0,0385
Bloque	108,20	2	54,10	1,09	0,3590
Variedad	546,36	1	546,36	10,96	0,0039
Sustrato	58,56	1	58,56	1,17	0,2928
Variedad*Sustrato	34,30	1	34,30	0,69	0,4178
Error	897,46	18	49,86		
Total	1644,88	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 49,8590 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V1 71,39 12 2,04 A

V2 61,85 12 2,04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 49,8590 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S2 68,18 12 2,04 A

S1 65,06 12 2,04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 49,8590 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V1 S2 74,15 6 2,88 A

V1 S1 68,64 6 2,88 A B

V2 S2 62,22 6 2,88 B

V2 S1 61,48 6 2,88 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso tubérculos

Variable N R² R² Aj CV

Peso tubérculos 24 0,37 0,19 18,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	5	3,0E-03	2,11	0,1116
Bloque	0,01	2	3,6E-03	2,52	0,1087

Variedad	0,01	1	0,01	4,44	0,0494
Sustrato	4,2E-08	1	4,2E-08	2,9E-05	0,9958
Variedad*Sustrato	1,5E-03	1	1,5E-03	1,06	0,3170
Error	0,03	18	1,4E-03		
Total	0,04	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0014 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V2 0,22 12 0,01 A

V1 0,18 12 0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0014 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S2 0,20 12 0,01 A

S1 0,20 12 0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0014 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V2 S1 0,22 6 0,02 A

V2 S2 0,21 6 0,02 A

V1 S2 0,19 6 0,02 A

V1 S1 0,18 6 0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

numero tuberculos

Variable N R² R² Aj CV

número tubérculos 24 0,86 0,82 19,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	412,13	5	82,43	21,86	<0,0001
Bloque	36,33	2	18,17	4,82	0,0211
Variedad	333,02	1	333,02	88,32	<0,0001
Sustrato	18,38	1	18,38	4,87	0,0405
Variedad*Sustrato	24,40	1	24,40	6,47	0,0204
Error	67,87	18	3,77		
Total	480,00	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3,7707 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V1 13,82 12 0,56 A

V2 6,37 12 0,56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3,7707 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S2 10,97 12 0,56 A

S1 9,22 12 0,56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 3,7707 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V1 S2 15,70 6 0,79 A

V1 S1 11,93 6 0,79 B

V2	S1	6,50	6 0,79	C
V2	S2	6,23	6 0,79	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

rendimiento m2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
rendimiento m2	24	0,49	0,35	19,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34,14	5	6,83	3,46	0,0229
Bloque	5,65	2	2,82	1,43	0,2650
Variedad	24,20	1	24,20	12,27	0,0025
Sustrato	0,84	1	0,84	0,43	0,5214
Variedad*Sustrato	3,45	1	3,45	1,75	0,2026
Error	35,51	18	1,97		
Total	69,65	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,9727 gl: 18

Variedad Medias n E.E.

V2	8,28	12 0,41	A
V1	6,27	12 0,41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,9727 gl: 18

Sustrato Medias n E.E.

S1	7,46	12 0,41	A
S2	7,08	12 0,41	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,9727 gl: 18

Variedad Sustrato Medias n E.E.

V2	S2	8,47	6 0,57	A
V2	S1	8,08	6 0,57	A
V1	S1	6,83	6 0,57	A B
V1	S2	5,70	6 0,57	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5. Resultados de análisis de laboratorio DAS-ELISA



RESULTADOS DEL ANALISIS DE LABORATORIO

Nº de registro: P-24-070

Recepción: 4/11/2024..... Entrega: 29/11/2024

1. Solicitante: ORKIDEA ANDINA

2. Muestra: Follaje de papa

3. Origen de la muestra: La Paz, Bolivia.

4. Tipo de muestras:

Flores () Follaje (X) Ramas () Frutos ()
Plántulas () Tubérculos () Insectos ()

5. Análisis solicitados:

Diagnóstico de virus: PVS, PVA, PVY, PVX, APLV, APMV, PLRV

6. Metodología

Para el diagnóstico de virus se utilizó la técnica de DAS-ELISA con antisueros AGDIA.

7. Resultados.

Los resultados se presentan en el Cuadro a continuación.

	PVX	PVY	PVS	PVA	PLRV	APLV	APMV
Waych'a 1	-	-	-	-	-	-	-
Waych'a 3	-	-	-	-	-	-	-
Waych'a 2	-	-	-	-	-	-	-
Jatun Puka 3	-	-	-	-	-	-	-
Jatun Puka 2	-	-	-	-	-	-	-
Jatun Puka 1	-	-	-	-	-	-	-

Estos resultados corresponden a las muestras analizadas, son emitidos para su conocimiento y fines pertinentes.

Responsable del Laboratorio
Ing. M.Sc. Giovanna Plata

cc. arch

