

INTRODUCCIÓN

La papa es una planta suculenta, herbácea que pertenece a la familia Solanácea, su origen es proveniente de América del Sur frontera entre Bolivia y Perú. Las primeras papas cultivadas probablemente fueron seleccionadas entre 6.000 y 10.000 años atrás, al norte del lago Titicaca, en los Andes del sur de Perú. (COLOMBIA, 2010)

La papa *Solanum tuberosum* L., es el cuarto cultivo sembrado en más de 100 países, el cuarto cuando incluimos los cereales, arroz, trigo y maíz. La importancia de la papa en Bolivia es muy grande debido a que gracias a este cultivo se sostiene gran parte de la población del país, las regiones productoras de Bolivia se cultivan de 125.000 a 130.000 hectáreas distribuido en seis departamentos andinos (La Paz, Cochabamba, Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija). En Bolivia la variedad de semilla de papa Desiree en categoría básica produce un volumen de 1.361,85 t. en la categoría registrada tiene un volumen de producción de 4.829,95t. y en la categoría certificada un volumen de producción de 1.383,85 t. dando un total de 7.575,66t. de semilla de papa en general, la variedad Jatun Puka en categoría básica produce un volumen de 89,77 t. en la categoría registrada tiene un volumen de producción de 0,95 t. y en la categoría certificada un volumen de producción de 3,82 t. dando un total de 94,54t. de semilla de papa en general. (INIAF, 2023, pág. 28)

En Bolivia existe una superficie de Semilla Certificada del 2,32%, de las cuales 1.156,39ha son inscritas, 1.129,68ha son aprobadas, 25,33ha son rechazadas y 1,38ha son retiradas, los volúmenes de semilla certificada en Bolivia son de 11.284,44t. el cual llegaría a ser el 12,01%, el cual abarca el volumen de Básica es de 2.109,68t, Registradas son 7.128,73t, Certificadas son 1.632,58t, Certificadas B son 350,60t y de Uso Propio son 62,85t. (INIAF, 2023)

Según la Dirección Nacional de Semillas el registro nacional que existe de la especie Papa *Solanum spp* es de 24 registros de los cuales en el departamento de Cochabamba se encuentran 22 registros por el INIAF y en el departamento de Potosí se encuentran 2 registros por el INIAF. (INIAF, s.f.)

En los últimos años la incrementación de este cultivo fue aumentando en el departamento de Tarija ya que cultivan 10 mil ha. de papa con producción de 61 mil tn. con rendimiento promedio de 6,1 tn/ha. Sin embargo, el mercado de Tarija no abastece con semilla a dicha demanda.

El centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA) reportó que, debido a sequías y heladas durante la campaña agrícola 2022-2023, se perdió aproximadamente el 40% de la producción de papa en el altiplano paceño. (Campesinado, 2023)

La Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) es una enfermedad afecta alrededor de 10,000 hectáreas anualmente en Bolivia, reduciendo los beneficios del productor entre un 25% y 75%. (Campesinado, 2023)

Siendo estos unos de los factores bióticos y abióticos por las cuales existen grandes pérdidas de producción de papa en Bolivia.

PROBLEMA

En Bolivia el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye una gran actividad de gran importancia económica particularmente en las zonas andinas. Sin embargo, a pesar de ser uno de los países con más variedades de papas y que en los últimos años se haya incrementado la producción de papa en el país regiones como el departamento de Tarija tiene como obstáculo la carencia de semillas certificada de calidad.

Según datos del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Forestal y Agrícola (INIAF, 2024) el departamento de Tarija los productores registrados para la producción de semillas certificada son muy pocos lo que obliga a los agricultores a recurrir a una compra de semillas de otros departamentos o en muchos casos a la compra de semilla no certificada con bajo potencial genético y fitosanitario; siendo esta una limitante que compromete la productividad y la incidencia de plagas y enfermedades.

Frente a esta problemática surge la necesidad de establecer alternativas viables para la producción local de semilla de papa de alta calidad, en este caso con

la aplicación de tecnologías de fertilización inorgánica y biológicos para mejorar el rendimiento y los atributos agronómicos del cultivo en condiciones controladas en el centro experimental de Chocloca. Con el fin de generar semillas pre básica en condiciones que cumplan con los requisitos establecidos por el INIAF para la certificación.

JUSTIFICACIÓN

La producción de semilla prebásica de papa de alta calidad, cumpliendo con las normas establecidas por el INIAF, permite mejorar el rendimiento y la sanidad del cultivo, constituyendo un factor clave en los sistemas de producción.

En este sentido, el estudio adquiere relevancia al evaluar cómo la fertilización inorgánica y biológica potencia el desarrollo de las variedades Desiree y Jatun Puka en un sustrato controlado, permitiendo estandarizar un manejo nutricional eficiente para la obtención de semilla de alta categoría.

Asimismo, la investigación permite generar información técnica sobre el manejo de la fertilización en la producción de semilla prebásica, contribuyendo al conocimiento de estudiantes, investigadores y técnicos, especialmente en contextos donde existe limitada información sobre este tipo de sistemas de producción.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento agronómico de las variedades de papa Desiree y Jatun Puka, mediante la aplicación de fertilización inorgánica, biológicos y la combinación de ambas con el fin de optimizar la producción de semilla prebásica en condiciones controladas en CECH.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la fertilización inorgánica y biológica sobre el desarrollo vegetativo de las variedades Desiree y Jatun Puka.
- Evaluar los componentes de rendimiento de las variedades Desiree y Jatun Puka a las estrategias de fertilización aplicados.

-Realizar un análisis económico del ensayo para determinar la relación Beneficio Costo.

HIPÓTESIS

Hipótesis Nula (H0)

La aplicación de fertilización inorgánica y biológicos o su combinación no genera diferencias significativas en el desarrollo vegetativo, el rendimiento ni los costos de producción de las variedades de papa Desiree y Jatun Puka, bajo condiciones controladas.

Hipótesis Alternativa (H1)

La aplicación de fertilización inorgánica y biológicos o su combinación influye significativamente en el desarrollo vegetativo, el rendimiento y los costos de producción de las variedades de papa Desiree y Jatun Puka, bajo condiciones controladas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

La historia de la papa comienza hace unos 8 000 años, cerca del lago Titicaca, que está a 3 800 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, América del Sur, en la frontera de Bolivia y Perú. Ahí, según revela la investigación, las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur del continente por lo menos unos 7.000 años antes, comenzaron a domesticar las plantas silvestres de la papa que se daban en abundancia en los alrededores del lago. En el continente americano hay unas 200 especies de papas silvestres, pero fue en los Andes centrales donde los agricultores lograron seleccionar y mejorar el primero de lo que habría de convertirse, en los milenios siguientes, una asombrosa variedad de cultivos del tubérculo. En realidad, lo que hoy se conoce como "papa" (*Solanum tuberosum* L.) contiene apenas un fragmento de la diversidad genética de las siete especies reconocidas de papa y las 5.000 variedades que se siguen cultivando en los Andes (FAO, 2008). (SARACHO, 2020)

La papa es una buena fuente de calorías y también tiene algunos micronutrientes, así como un gran contenido de proteínas en comparación con otras raíces y tubérculos. La papa contiene una cantidad moderada de hierro, pero el gran contenido de vitamina C fomenta la absorción de este mineral. Asimismo, aporta vitaminas B1, B3 y B6, y minerales como potasio, fósforo y magnesio, también folato, ácido pantoténico y riboflavina. (MEXICO, 2019)

TAXONOMÍA

Tabla 1.
Clasificación taxonómica de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

Reino	Vegetal
Phylum	Thelemophytae
División	Tracheophytae
Sud división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub Clase	Dicotyledoneae
Grado evolutivo	Metachlamydeae
Grupo de Ordenes	Tetraciclicos
Orden	Polemoniales
Familia	Solanaceae
Nombre científico	<i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> L.
Nombre común	Papa

Nota. (Herbario Universitario T.B., 2020)

MORFOLOGÍA

RAÍZ

Las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de una semilla o de un tubérculo. Cuando crecen a partir de una semilla, forman una delicada raíz axonomorfa con ramificaciones laterales. Cuando crecen de tubérculos, primero forman raíces adventicias en la base de cada brote y luego encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo. Ocasionalmente se forman raíces también en los estolones.

En comparación con otros cultivos, la papa tiene un sistema radicular débil, por lo cual necesita un suelo de muy buenas condiciones físicas y químicas para su desarrollo. El tipo de sistema radicular varía de delicado y superficial a fibroso y profundo. (MORALES, 2021)

TALLO

El sistema consta de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen solo un tallo principal, mientras que las provenientes de tubérculos-semilla pueden producir varios tallos. Los tallos laterales son ramas de los tallos principales. En el corte transversal, los tallos de papa presentan formas entre circulares y angulares. A menudo, en los márgenes angulares se forman alas o costillas. Las alas pueden ser rectas, onduladas o dentadas. El tallo generalmente es de color verde y algunas veces puede ser de color marrón-rojizo o morado. Los tallos pueden ser sólidos o parcialmente tubulares debido a la desintegración de las células de la médula. Las yemas que se forman en el tallo a la altura de las axilas de las hojas pueden desarrollarse para llegar a formar tallos laterales, estolones, inflorescencias y, a veces, tubérculos aéreos. (MORALES, 2021)

ESTOLONES

Son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo, a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Pueden formar tubérculos mediante un agrandamiento de su extremo terminal. Sin embargo, un estolón no cubierto con suelo, puede desarrollar un tallo vertical con follaje normal. (MARTINEZ., 2023)

TUBÉRCULOS

Los tubérculos de papa son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: el basal, o extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo expuesto, que se llama extremo apical o distal 106. Los ojos se distribuyen sobre la superficie del tubérculo siguiendo una espiral, se concentran hacia el extremo apical y están ubicados en las axilas de hojas escamosas llamadas “cejas”. Dependiendo de la variedad, las cejas pueden ser elevadas, superficiales o profundas. Cada ojo contiene varias yemas 106. Los ojos del tubérculo de papa corresponden a los nudos de los tallos; las cejas representan las hojas, y las yemas del ojo representan las yemas axilares. Las yemas de los ojos pueden llegar a desarrollarse para formar un nuevo sistema de tallos principales, tallos laterales y estolones. Generalmente, cuando el tubérculo ha

madurado, las yemas de los ojos están en un estado de reposo y, por ello, no pueden desarrollarse. (MORALES, 2021)

HOJAS

Las hojas están distribuidas en espiral sobre el tallo. Normalmente, las hojas son compuestas, es decir, tienen un raquis central y varios folíolos. Cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal. La parte del raquis debajo del par inferior de folíolos primarios se llama pecíolo. Cada folíolo puede estar unido al raquis por un pequeño pecíolo llamado peciólulo, o puede estar unido directamente, sin peciólulo, y en este caso se llama folíolo sésil. (MORALES, 2021)

BROTES

Los brotes crecen de las yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo y el color es una característica varietal importante. Los brotes pueden ser blancos, parcialmente coloreados en la base o el ápice, o casi totalmente coloreados. Los brotes blancos, cuando se exponen indirectamente a la luz, se tornan verdes. El extremo basal del brote forma normalmente la parte subterránea del tallo y se caracteriza por la presencia de lenticelas. Después de la siembra, esta parte rápidamente produce raíces y luego estolones o tallos laterales. El extremo apical del brote da origen a las hojas y representa la parte del tallo donde tiene lugar el crecimiento del mismo. (INOSTROZA F.)

INFLORESCENCIA, FLOR

El pedúnculo de la inflorescencia está dividido generalmente en dos ramas, cada una de las cuales se subdivide en otras dos ramas. De esta manera se forma una inflorescencia llamada cimosa. De las ramas de las inflorescencias salen los pedicelos, en cuyas puntas superiores se encuentran los calices. Cada pedicelo tiene una coyuntura o articulación en la cual se desprenden del tallo las flores o los frutos. Esta articulación es pigmentada en algunas variedades cultivadas. Las flores de la papa son bisexuales (tienen ambos sexos), y poseen las cuatro partes esenciales de una flor: cáliz, corola, estambres y pistilo. (INOSTROZA F.)

FRUTO, SEMILLA

Al ser fertilizado, el ovario se desarrolla para convertirse en un fruto llamado baya, que contiene numerosas semillas. El fruto generalmente es esférico, pero en algunas variedades son ovoides o cónicos. Normalmente, el fruto es de color verde, y en algunas variedades cultivadas tienen puntos blancos o pigmentados, o franjas o áreas pigmentadas. El número de semillas por fruto llega a más de 200 según la fertilidad de cada cultivar. Las semillas son planas, ovaladas y pequeñas (1.000- 1.500 semillas/gramo). Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa que protege al embrión y un tejido nutritivo de reserva llamado endosperma. Las semillas son también conocidas como semilla verdadera o botánicas, para distinguirlas de los tubérculos-semillas, usados para la producción. (MORALES, 2021)

ASPECTOS AGRONÓMICOS

La planta de la papa produce un sistema radicular fibroso. Las raíces no miden más de 60cm de largo normalmente. Así que las papas tienen raíces de poca profundidad comparado con cereales que puedan tener raíces que llegan a 120cm de profundidad. Como resultado, las papas no tienen mucha facilidad para aprovechar los nutrientes y la humedad en las profundidades de un perfil de suelo.

Mientras el crecimiento de las raíces ocurre con temperaturas entre 10 y 35°C, el desarrollo más activo tendrá lugar a temperaturas entre 15 y 20°C.

Crecimiento del follaje ocurre a temperaturas entre 7 y 30°C, pero la temperatura óptima está entre 20 y 25°C. Las temperaturas óptimas para los estolones son similares.

El tubérculo de la papa es una porción ampliada del estolón. El proceso de iniciación del tubérculo está dirigido por hormonas y en algunas variedades (las tardías) por fotoperiodismo. Suelos fríos da mejor iniciación de tubérculos y en mayor cantidad. La temperatura óptima para la iniciación de tubérculos está entre 15 y 20°C.

Bajo estas condiciones, la planta tendrá estolones y brotes cortos. En las variedades tardías, los días más largos retrasan la iniciación de tubérculos y fomentan el desarrollo de estolones y brotes.

Bajo nivel de nitrógeno y alto contenido de sacarosa en la planta favorecen la formación de más tubérculos. Una vez iniciadas, los tubérculos muestran un rápido crecimiento, llegando a 1400 kg/ha/día en climas templados. Variedades tardías tienden a ser más sensitivos a días largos o temperaturas altas. (YARA, 2025)

CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD JATUN PUKA

La variedad Jatun Puka es una variedad mejorada por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), caracterizada por presentar tubérculos de forma ovalada, con piel roja y pulpa blanca. Se destaca por su alto rendimiento productivo y buena calidad culinaria, siendo apta tanto para consumo fresco como para su uso en la industria. Asimismo, presenta resistencia a enfermedades de importancia económica como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), el nematodo dorado (*Globodera spp.*) y el virus Y de la papa (TIERRAS, 2023).

Desde el punto de vista agronómico, esta variedad presenta un buen vigor vegetativo, con adecuada emisión de tallos y capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, especialmente en zonas de valles interandinos. Su comportamiento productivo está asociado a una eficiente formación y desarrollo de tubérculos, lo cual la convierte en una alternativa viable para sistemas de producción intensiva y programas de producción de semilla (INIAF, s.f.).

El alto potencial de rendimiento de la variedad Jatun Puka se encuentra estrechamente relacionado con su capacidad de acumulación de biomasa en los tubérculos, proceso que depende directamente de la disponibilidad y equilibrio de nutrientes en el suelo. En este sentido, el potasio (K) juega un rol fundamental, ya que favorece el llenado de los tubérculos, mejora su tamaño, calidad y resistencia a enfermedades. De acuerdo con (Valverde, 1998), una adecuada nutrición potásica

incrementa el rendimiento y la calidad de los tubérculos, siendo un factor clave en variedades de alto potencial productivo.

Asimismo, la respuesta de esta variedad a la fertilización, tanto inorgánica como biológica, está influenciada por las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo cual resalta la importancia de realizar un manejo adecuado de la fertilización basado en análisis de suelo, con el fin de optimizar la producción y calidad de la semilla prebásica.

CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD DESIREE

La variedad Desiree es de origen holandés, caracterizada por presentar tubérculos de forma ovalada, con piel roja y pulpa amarilla. Se distingue por su alto rendimiento y buena calidad culinaria, siendo ampliamente utilizada tanto para consumo fresco como para la industria. Asimismo, presenta resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y al virus del enrollamiento de la hoja, aunque es susceptible al nematodo dorado (*Globodera spp.*) y al virus Y de la papa (TIERRAS, 2023).

Desde el punto de vista agronómico, la variedad Desiree presenta un crecimiento vigoroso y una buena adaptación a diversas condiciones agroecológicas, lo que ha favorecido su amplia difusión en sistemas productivos. Se caracteriza por su alta capacidad de tuberización, es decir, la formación de un mayor número de tubérculos por planta, lo cual representa una ventaja importante en sistemas de producción de semilla (INIAF, s.f.).

El comportamiento productivo de esta variedad está estrechamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes en el suelo, especialmente fósforo (P), el cual juega un papel fundamental en la formación de raíces, la iniciación de tubérculos y el desarrollo temprano del cultivo. De acuerdo con (Valverde, 1998), una adecuada nutrición fosfatada favorece la tuberización, incrementando el número de tubérculos y mejorando el rendimiento del cultivo.

En este contexto, la respuesta de la variedad Desiree a las estrategias de fertilización, tanto inorgánica como biológica, depende en gran medida del equilibrio

nutricional del suelo, siendo fundamental el manejo adecuado de la fertilización basado en análisis de suelo, con el objetivo de optimizar el rendimiento y la calidad de la producción de semilla prebásica.

REQUERIMIENTO DEL CULTIVO

SUELO

El cultivo de la papa se beneficia enormemente de suelos bien estructurados, fértiles y ricos en materia orgánica. Los suelos ideales para este cultivo son los francos y francos arenosos, que permiten una buena aireación y un drenaje adecuado. Estas características son fundamentales para evitar la acumulación de agua y prevenir enfermedades fúngicas que pueden afectar a los tubérculos.

Además, la estructura suelta de estos suelos facilita el crecimiento y la expansión de los tubérculos, lo que resulta en una mejor cosecha. Un pH ligeramente ácido a neutro, en el rango de 5.5 a 6.5, es considerado óptimo para el cultivo de la papa, ya que ayuda a minimizar el riesgo de ciertas enfermedades del suelo.

Otro aspecto importante es el contenido de nutrientes del suelo. Las papas requieren una buena cantidad de nutrientes para su desarrollo, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio.

Sin embargo, un equilibrio adecuado es crucial, ya que un exceso de nitrógeno puede favorecer el crecimiento del follaje en detrimento de la formación de los tubérculos. Por otro lado, el fósforo es esencial para el desarrollo temprano de las raíces y el potasio contribuye a la calidad general del tubérculo.

La materia orgánica no solo mejora la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo, sino que también aporta nutrientes y favorece la actividad microbiana beneficiosa.

El manejo del suelo es un factor crítico en la producción de papa. Prácticas como la rotación de cultivos, la labranza adecuada y la gestión de residuos vegetales son esenciales para mantener la salud del suelo. (Agricultura, 2025)

TEMPERATURA

El cultivo de la papa requiere condiciones climáticas específicas para su óptimo desarrollo. El clima ideal para la papa es el templado, con temperaturas que oscilan entre los 10-20 °C.

Las papas se desarrollan mejor en un ambiente donde las temperaturas diurnas no son excesivamente altas, ya que temperaturas superiores a los 25 °C pueden afectar negativamente su crecimiento. Las noches frescas son especialmente beneficiosas durante la etapa de tuberización, ya que favorecen la acumulación de almidón en los tubérculos. (Agricultura, 2025)

PENDIENTE DEL TERRENO

La pendiente tiene una relación muy estrecha con la retención y captación de agua, además de la profundidad del suelo y acceso de maquinaria. Para una buena productividad del cultivo se recomienda una pendiente de 0.0 a 4.0 %, pendientes mayores a 4.1 % ocasionan que disminuya la producción del tubérculo. Una manera de manejar las fuertes pendientes es mediante el surcado en curvas a nivel o mediante terrazas. (ARGENPAPA, EL PORTAL DE LA PAPA, 2021)

ALTITUD

La altitud puede variar, pues el cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa. (ARGENPAPA, EL PORTAL DE LA PAPA, 2021)

VIENTO

Los vientos tienen que ser moderados, con velocidades no mayores a 20 km/h, ya que las plantas de papa pueden sufrir daños y reducciones en su rendimiento. (ARGENPAPA, EL PORTAL DE LA PAPA, 2021)

AGUA

Los requerimientos hídricos varían entre los 600 a 1000 milímetros por ciclo de producción, lo cual dependerá de las condiciones de temperatura, capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad. Las mayores demandas existen en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos secundarios en los períodos más críticos del cultivo, cuando no se presenta precipitación. (ARGENPAPA, EL PORTAL DE LA PAPA, 2021)

LUZ

Después de la emergencia del tubérculo, el cultivo requiere bastante luminosidad. Además, la luminosidad de las plantas afecta directamente en los procesos fotosintéticos, dando origen a una serie de reacciones secundarias entre las que intervienen agua y CO₂, los cuales ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares, que a su vez forman parte de los tubérculos. La cantidad de luz necesaria varía según la temperatura, por lo que, para una óptima producción, la papa requiere de periodos aproximadamente de 8 a 12 e incluso 16 horas de luminosidad (20,000 a 50,000 Lux) según la variedad cultivada. La cantidad de luz tiene gran influencia en la tuberización de la papa y duración del crecimiento vegetativo. Días cortos favorecen el inicio de la tuberización y acortan el ciclo vegetativo, en cambio días largos tienen el efecto inverso. (ARGENPAPA, EL PORTAL DE LA PAPA, 2021)

FERTILIZACIÓN INORGÁNICA EN LA PAPA

La papa es uno de los cultivos con mayor exigencia nutricional, por lo cual la fertilización inorgánica es fundamental para alcanzar altos rendimientos y calidad adecuada de semilla.

Nitrógeno (N) favorece al desarrollo vegetativo, número de tallos y área foliar. Sin embargo, el exceso de nitrógeno puede retrasar la tuberización y generar tubérculos grandes, pero pocos lo cual es desfavorable para la semilla.

Fósforo (P) es fundamental en las etapas tempranas del cultivo aumenta el número de tubérculos, acelera la tuberización y mejora la emergencia uniforme de la siguiente generación.

Potasio (K) aumenta el peso de los tubérculos la firmes, el contenido de materia seca y la resistencia al estrés hídrico, es crucial para la calidad de la semilla.

Calcio (Ca) mejora la integridad de las membranas reduce desórdenes fisiológicos y aumenta la vida útil de almacenamiento.

Magnesio (Mg) componente esencial de la clorofila. Su deficiencia reduce la fotosíntesis y limita el tamaño del tubérculo. (ARGENPAPA, 2019)

El INAF Establece que la fertilización debe basarse en análisis de suelo considerando pH, N, P, K, Ca y Mg para ajustar dosis en función de la fertilidad real del terreno especialmente en la producción de semillas certificada.

El plan nacional de fertilización y nutrición vegetal (2019-2025) orienta el uso racional de fertilizantes químicos para cultivos estratégicos, incluyendo papa y señala que las recomendaciones deben adaptarse a cada zona agro ecológica de Bolivia (altiplano, Valles y trópico).

FERTILIZANTES BIOLÓGICOS Y BIOESTIMULANTES EN LA PAPA

Los fertilizantes biológicos o bio fertilizantes son productos basados en microorganismos (bacterias, hongos) que promueven el crecimiento vegetal mediante mecanismos como fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, producción de fitohormonas, o mejora de la salud radicular.

FERTILIZANTES BIOLÓGICOS

RHODOPSEUDOMONAS PALUSTRIS

Es una bacteria fotosintética púrpura, utiliza luz, compuestos inorgánicos u orgánicos para producir su propia energía muy beneficiosa para el cultivo por su

capacidad de transformar compuestos orgánicos e inorgánicos en nutrientes disponibles.

La cual produce una fitohormona llamada citoquinina la cual ayuda en la etapa de la floración, fructificación y ayuda a regular algún estrés que sufra la planta.

El efecto que produce en la papa es que aumenta la eficiencia fotosintética y mejora la uniformidad y tamaño del tubérculo semilla. (FRONTIERS, 2023)

BACILLUS AMYLILIQUEFACIENS

Es una bacteria versátil y beneficiosa, de gran importancia en diversas industrias gracias a su capacidad para producir una variedad de enzimas y compuestos antimicrobianos. Es un agente de biocontrol en la agricultura, promoviendo el crecimiento vegetal y protegiendo los cultivos de patógenos, produciendo antibióticos que controlan hongos (*Rhizoctonia*, *Alternaria*).

En el cultivo favorece al crecimiento inicial, reducción de enfermedades en la raíz. (CENTRAL, 2023)

BACILLUS SUBTILIS

Es una bacteria Gram positiva, catalasa-positiva, aerobio comúnmente encontrado en el suelo. Miembro del género *Bacillus*, *B. subtilis* tiene la habilidad para formar una resistente endospora protectora, permitiéndole tolerar condiciones ambientalmente extremas.

es un importante agente de biocontrol, debido a su capacidad en la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana, por lo que puede inhibir el desarrollo de los fitopatógenos.

Estudios ya realizados muestran que desarrollo de los fitopatógenos en papas post-cosecha. en combinación con el ácido salicílico, aportó una vida útil prolongada y un aspecto fresco del tubérculo, según (LASTOCHKINA ET AL).

FERTILIZANTES BIOESTIMULANTES

ÁCIDOS HÚMICOS

Son los ácidos orgánicos presentes en el suelo, derivados de la descomposición de materia vegetal y animal. Son cruciales para mejorar la calidad física, química y biológica del suelo, ya que aumentan la retención de agua y nutrientes, mejoran la estructura del suelo y estimulan la actividad microbiana. Esto se traduce en beneficios para las plantas, como una mayor absorción de nutrientes, mejor desarrollo radicular y mayor vigor. (FERTILAB, 2020)

ÁCIDOS FÚLVICOS

Es uno de los componentes principales del humus, son moléculas pequeñas y livianas que desempeñan un papel crucial en la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Forman parte de un grupo de sustancias conocidas como sustancias húmicas, que se forman a través de la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo.

Sus beneficios en la agricultura es que ayuda a la absorción y transporte de nutrientes ya que tiene una alta capacidad de intercambio catiónico lo que significa que puede retener nutrientes y trasportarlos a través del suelo hasta las raíces de las plantas, las investigaciones han demostrado que los ácidos fúlvicos pueden estimular el crecimiento de las raíces e influyen en los procesos fisiológicos de las plantas, incluida la fotosíntesis. Se ha descubierto que mejoran la producción y actividad de la clorofila, lo que conduce a tasas más altas de fotosíntesis y, en consecuencia, a un mayor crecimiento y rendimiento de las plantas. (BRISENO, 2024)

PLAGAS Y ENFERMEDADES

TRIPS (FRANKLINIELLA SP. Y THRIPS SP.)

Los trips son pequeños insectos plaga que raspan y succionan la savia de las hojas de papa, produciendo manchas plateadas o necróticas, retraso en el crecimiento y transmisión de virus. (CORTEVA, 2024)

PULGÓN (AULACORTHUM SOLANI)

Es una plaga grave que debilita la planta al succionar savia y transmite virus peligrosos, reduciendo drásticamente el rendimiento, las altas poblaciones de pulgones de la papa pueden deformar hojas y tallos , retrasar el crecimiento de las plantas y causar manchas necróticas en las hojas. Estos pulgones también secretan una gran cantidad de melaza que favorece el desarrollo de moho negro en el follaje y los frutos. (CORTEVA, 2024)

MOSCA BLANCA (BEMISIA TABACI)

Los daños que causa son el debilitamiento de la planta por la extracción de nutrientes, aprovechando su aparato bucal succionadora alimentándose de la clorofila causando en la hoja la clorosis empezando a perder sus nutrientes y generando perdida de color en las partes afectadas, las altas poblaciones alimentándose en el follaje pueden afectar los procesos fisiológicos de las plantas produciendo debilitamiento, amarillamiento, deformación del follaje y hasta defoliación. (REYES, 2020)

MARCHITES BACTERIANA (RALSTONIA SOLANACEARUM)

El síntoma típico de esta enfermedad es la marchitez a nivel de follaje, similar a la planta con falta de agua, el cual puede darse en cualquier momento del desarrollo del cultivo. Esta marchitez se debe al taponamiento de los haces vasculares de la planta presentándose de una manera muy rápida el marchitamiento; otro signo claro de esta enfermedad es la presencia de gotitas brillantes de color castaño grisáceo que exudan de la xilema cuando se hace un corte transversal al tallo. (INIA, 2021)

TIZÓN TARDÍO (PHYTOPHTHORA INFESTANS).

Es causado por un hongo y es la enfermedad más común de la papa a nivel mundial, los primeros síntomas en el campo son pequeñas manchas acuosas, de color verde claro a oscuro, circulares o de forma irregular. Estas lesiones suelen aparecer primero en las hojas inferiores. A menudo, las lesiones comienzan a desarrollarse cerca de las puntas o los bordes de las hojas, donde el rocío se retiene durante más tiempo, durante el clima fresco y húmedo, estas lesiones se expanden rápidamente y se

convierten en lesiones grandes, de color marrón oscuro o negro. También es visible en el tallo apareciendo manchas oscuras. (UNIVERSITY, 2022)

VERRUGA (*SYNCHYTRIUM ENDOBIOTICUM*)

La verruga en la papa, o sarna negra de la papa, es causada por el hongo patógeno *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival, un organismo que infecta los tubérculos y produce protuberancias o agallas, afectando gravemente el rendimiento y la calidad del cultivo, y requiere medidas de manejo estrictas debido a su persistencia en el suelo. (CABI, 2021)

CARBÓN (*THECAPHORA SOLANI*)

Esta enfermedad es producida por un hongo que se transmite por las semillas y suelo infectados. En el suelo puede permanecer viable por hasta 7 años, también se puede contagiar por agua y herramientas contaminadas.

Produce agallas o tumores en tallos, tubérculos y estolones. Al cortar las agallas se nota el tejido de aspecto granuloso y color negruzco, no se observan síntomas ni en el follaje, ni en las raíces.

En los tubérculos los daños pueden ser tumores que cubren una buena parte de la superficie del tubérculo o como crecimiento secundario, pero también pueden aparecer como pequeños sobrecrecimientos o tumores que se desarrollan en la superficie de los tubérculos. (SOTO, 2023)

PLAGAS Y ENFERMEDADES NO PERMISIBLES EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA PREBÁSICA DE PAPA

Tabla 2.

Plagas y enfermedades no permisibles en campo y almacén para la producción de semilla prebásica de papa

Nombre de la Plaga/enfermedad	No permisible en campo:	No permisibles en Almacén:
Marchitez Bacteriana (<i>Ralstonia Solanacearum</i>).	X	X
Verruga (<i>Sinchytrium endobioticum</i>)	X	X
Carbon (<i>Thecaphora Solani</i>)	X	X
Nematodos del nódulo (<i>Meloidogyne incognita</i>)	X	X
Nematodo del quiste (<i>Globodera pallida rostochiensis</i>)		X

Nota. (INIAF, 2019)

CERTIFICACIÓN DE SEMILLA

Para certificar semilla de papa en Bolivia se debe cumplir con los siguientes requisitos según el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal – INIAF:

- Registrar la variedad de papa que se va a certificar, demostrando que es distinta, estable y homogénea, y que tiene valor agronómico.
- Solicitar la inscripción del campo de producción de semilla ante el INIAF, presentando la documentación requerida y el pago correspondiente.
- Cumplir con las normas técnicas de producción de semilla de papa, que establecen los requisitos mínimos de calidad, sanidad, aislamiento, rotación y manejo del cultivo. • Permitir las inspecciones y muestreos que realice el INIAF durante el ciclo de producción de la semilla, para verificar el cumplimiento de las normas técnicas.
- Solicitar el análisis de calidad física y sanitaria de la semilla en un laboratorio autorizado por el INIAF, presentando una muestra representativa del lote de semilla.
- Obtener el certificado de calidad de la semilla emitido por el INIAF, que acredita que la semilla cumple con los estándares establecidos para su categoría (básica, registrada o certificada).

- Etiquetar y sellar los envases de la semilla con la información correspondiente a la variedad, categoría, lote, peso y productor. (INIAF, 2023)

CLASIFICACIÓN EN DIFERENTES CATEGORÍAS

- Semilla prebásica: Es la semilla que proviene de cultivos *in vitro* o de aeroponía, que son sistemas que permiten obtener semilla libre de plagas y enfermedades. Esta semilla se produce en laboratorios o centros especializados, como el Centro Nacional de Innovación en Papa (CNIP) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

- Semilla básica: Es la semilla que deriva de la semilla prebásica y se produce bajo condiciones controladas en campo, con un estricto seguimiento fitosanitario y genético. Esta semilla se certifica por el INIAF y se identifica con una etiqueta blanca.

- Semilla registrada: Es la semilla que resulta de la multiplicación de la semilla básica y se produce bajo condiciones normales de campo, con un manejo adecuado y un control fitosanitario periódico. Esta semilla se certifica por el INIAF y se identifica con una etiqueta roja.

- Semilla certificada: Es la semilla que proviene de la multiplicación de la semilla registrada y se produce bajo condiciones normales de campo, con un manejo adecuado y un control fitosanitario periódico. Esta semilla se certifica por el INIAF y se identifica con una etiqueta azul.

- 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. La producción de semilla de papa a partir de una cosecha por productores bolivianos implica el uso de semilla comercial o propia, que se obtiene al seleccionar los mejores tubérculos para usarlos como semilla en la siguiente siembra. Esta práctica tiene algunas ventajas, como el bajo costo, la adaptación local y la disponibilidad inmediata; pero también tiene algunos inconvenientes, como el riesgo de transmitir

plagas y enfermedades, la pérdida de vigor y rendimiento, y la degeneración. (INIAF, 2023)

CALIBRACIÓN DEL TAMAÑO DE LA SEMILLA.

La selección consiste en separar los tubérculos cosechados según su tamaño, forma, color y sanidad. La selección permite clasificar el producto según su destino y su valor comercial. Se debe descartar cualquier tubérculo que presente defectos, daños o enfermedades que puedan afectar su calidad o su conservación. Se puede usar tamices, cintas transportadoras o mesas de selección para facilitar el trabajo y mejorar la eficiencia.

Tabla 3.
Clasificación por calibres para la categorización de semilla de papa

CALIBRE	MEDIDA
II	>40mm
III	30-40mm
IV	20-30mm
V	10-20mm
VI	<10mm

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de tesis se llevará a cabo en la jaula antiáfidos del Centro Experimental de Chocloca (CECH), el cual depende de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

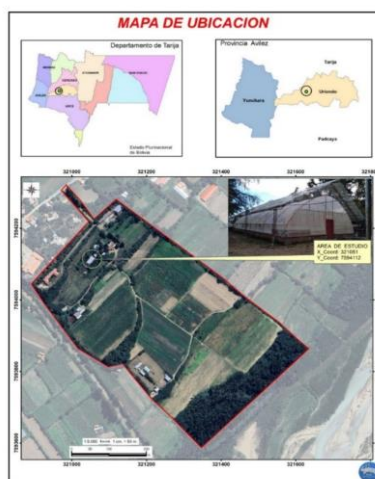
El CECH abarca una superficie de 25,8 hectáreas y está ubicado a 36 kilómetros al sur de la ciudad de Tarija, capital de dicho departamento, en la comunidad de Chocloca.

Al margen izquierdo y en la parte baja se encuentran el río Camacho y la subcuenca de la quebrada El Huayco, pertenece a la provincia Avilés, dentro del municipio de Uriondo. La comunidad de Chocloca cuenta con una población aproximada de 424 habitantes.

UBICACIÓN

Geográficamente, se sitúa en las coordenadas $21^{\circ} 45'$ de latitud sur y $64^{\circ} 44'$ de longitud oeste, a una altitud de 1806 metros sobre el nivel del mar (5925 pies).

Figura 1.
Mapa de ubicación y coordenadas geográficas del Centro Experimental Chocloca



Nota. Elaborado por gabinete (SIG).

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

FACTORES AGRO CLIMÁTICOS DE LA ZONA

En Chocloca, Tarija, el clima es típicamente cálido y húmedo, especialmente durante la temporada de lluvias (verano). La temperatura es de 29°C y una mínima de 8 C.

La precipitación es más probable en las tardes y noches, es de 635,4 mm.

Estación seca: De mayo a julio, con poca lluvia.

Estación lluviosa: De diciembre a marzo, con máximos de precipitación en enero y febrero.

Temperaturas: El promedio de temperaturas en Chocloca oscila entre los 19°C y 23°C, siendo las zonas con temperaturas más bajas las de mayor altitud y latitud. (Tarija, 2025)

Humedad: La humedad puede ser considerable, especialmente durante la temporada de lluvias.

Nubosidad: Se esperan algunas áreas de nubosidad, con la posibilidad de lluvias en las tardes y noches. (AccuWeather)

VEGETACIÓN NATURAL DE LA ZONA

La vegetación natural de la zona corresponde al tipo de vegetación de matorrales xerofíticos de los valles interandinos, que tienen su mayor expresión en las colinas bajas y las pendientes inferiores de las serranías circundantes. Entre las especies dominantes y características, podemos mencionar: el churqui (*Acacia cavenia*) y la tusca (*Acacia aroma*), formando matorrales generalmente puros. También se encuentran especies arbóreas típicas del dominio chaqueño como algarrobo blanco.

(*Prosopis alba*) algarrobo negro (*Prosopis nigra*) y chañar (*geoffroea decorticans*). (ZONICSIG, 2001)

ACTIVIDAD AGROPECUARIA DE LA COMUNIDAD

Chocloca es una de las zonas productoras de leche, la misma que cuenta con más de 55 productores que se dedican a este rubro, esta es recibida en el centro de acopio que se encuentra en la comunidad para luego ser trasladada a la ciudad de Tarija a instalaciones de la fábrica de lácteos “PIL Tarija”. (Sur, 2020)

La principal actividad económica que desarrollan las familias de esta comunidad, es la agricultura tradicional, entre los principales cultivos de la zona se tiene: maíz, papa, cebolla, arveja, frutales, alfalfa, etc. (Saracho)

Los productores de hortalizas y frutales comercializan sus productos en el mercado local del departamento de Tarija y en el interior del país.

SUELOS

Los suelos en Chocloca, son de origen aluvial y fluvio - lacustre, presentan como relieve tres terrazas aluviales, los primeros son generalmente profundos, de textura media a fina. En cambio, los suelos de la zona de las colonias son de origen solo fluvio - lacustre mismos que tienen profundidades variables y de texturas finas o texturas medias con contenidos de grava susceptibles a procesos de erosión. (Segovia, 2016)

MATERIALES

MATERIAL VEGETAL

Para el desarrollo de este trabajo se obtuvieron plantas de cultivo *in vitro* en dos variedades de papa una de ellas Desiree y la otra Jatun Puka provenientes del Laboratorio de Fitopatología y Cultivo *In Vitro* de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS.

MATERIAL DE CAMPO

- Mochila pulverizadora.
- Regla para trazos.

- Malla milimétrica.
- Manta térmica.
- Pala.
- Rastrillo.
- Manguera.
- Carretilla.
- Baldes.
- Garrafa.

MATERIAL DE REGISTRO

- Libreta de datos.
- Cámara fotográfica.
- Laptop.

EQUIPOS

- Caldera desinfección.
- Balanza.
- Termómetro.
- Jaula antiáfidos.

INSUMOS

- Plantas *in vitro* Jatun Puka.

Figura 2.
Plántulas de papa variedad Jatun Puka obtenidas mediante cultivo in vitro.



Nota. Elaboración propia.

- Plantas *in vitro* Desiree.

Figura 3.
Plántulas de papa variedad Desiree obtenidas mediante cultivo in vitro.



Nota. Elaboración propia.

- Fertilizante inorgánico: Fosfato diamónico (DAP 18-46-0).

Figura 4.
Fertilizante inorgánico utilizado en el ensayo: fosfato diamónico (DAP 18-46-0)
CONTIENE NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y POTASIO (K).



Nota. Elaboración propia.

- Fertilizante biológico: ACF-SR PLUS (consorcio de microorganismos benéficos).

Figura 5.
Fertilizante biológico ACF-SR PLUS (consorcio de microorganismos benéficos)
(Rhodopseudomonas palustris, Bacillus subtilis, Bacillus subtilis, ÁCIDOS
HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS).



Nota. Elaboración propia.

METODOLOGÍA

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizará un estudio bifactorial 2×3 (dos variedades y tres estrategias de fertilización) bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA).

El ensayo estará conformado por 24 unidades experimentales (bandejas o camas), distribuidas en 12 unidades para la variedad Desiree y 12 para la variedad Jatun Puka. Cada unidad experimental consistirá en una cama de cultivo de 2 m², con una densidad de 100 plantas obtenidas mediante cultivo *in vitro*.

FACTORES EN ESTUDIO

Factor A. Variedades

- Desiree.
- Jatun Puka.

Factor B: Fertilización

- F1: Fertilización inorgánica (18-46-0).
- F2: Fertilización mixta (inorgánica + biológica) ACF-SR PLUS.
- F3: Fertilización biológica (microorganismos) ACF-SR PLUS.

TRATAMIENTOS EVALUADOS

El experimento se estableció bajo un arreglo factorial 2×3 , generando un total de seis tratamientos con cuatro repeticiones cada uno.

Tabla 4.
Descripción de los tratamientos y esquema de repeticiones.

Variedad (Factor A)	Tipo de fertilización (Factor B)	Tratamiento	R1	R2	R3	R4
Jatun Puka	F1: Inorgánica (18-46-0)	T1				
	F2: Mixta (inorgánica + biológica) (ACF-SR PLUS)	T2				
	F3: Biológica (microorganismos) (ACF-SR PLUS)	T3				
Desiree	F1: Inorgánica (18-46-0)	T4				
	F2: Mixta (inorgánica + biológica) (ACF-SR PLUS)	T5				

	F3: Biológica (microorganismos) (ACF-SR PLUS)	T6				
--	---	----	--	--	--	--

Nota: Elaboración propia.

MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico lineal que representa el ensayo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Valor observado de la variable de respuesta.

μ : Media general.

A_i : Efecto del Factor A (Variedad).

B_j : Efecto del Factor B (Fertilización).

$(AB)_{ij}$: Efecto de la interacción entre variedad y fertilización.

e_{ijk} : Error experimental.

Se realizará un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los factores variedad (A), estrategias de fertilización (B) y su interacción (AB) sobre las variables de estudio. En caso de encontrarse diferencias significativas, se aplicará la prueba de Tukey al 5% de significancia.

VARIABLES

VARIABLES DE ESTUDIO

Variedad de papa (Desiree y Jatun Puka), esta variable es cualitativa e independiente.

Dosis de fertilizante inorgánico, cantidad aplicada kg/ha según al tratamiento correspondiente.

Dosis de fertilizante biológico cantidad aplicada ml/cama según el tratamiento correspondiente.

Contenido de nutrientes del sustrato prueba de laboratorio para medir el pH, C.E, M.O, nitrógeno, fósforo y potasio.

VARIABLES DE RESPUESTA

Porcentaje de aclimatación, se realizará un conteo de plantas 7 días pos trasplante.

Numero de tallos por planta, se evaluará 60 días después del trasplante o posterior al inicio de la floración, mediante el conteo directo de tallos principales en 10 plantas seleccionadas al azar por repetición.

Número de tubérculos por planta, esta variable se evaluará al finalizar el ciclo del cultivo, mediante el muestreo de plantas seleccionadas al azar por unidad experimental, procurando no afectar significativamente la densidad del cultivo. En cada planta se registrará el número total de tubérculos.

Medir el calibre de los tuberculillos utilizando una muestra representativa de tubérculos por unidad experimental para promediar su valor.

Evaluar el peso del tubérculo por planta utilizando una balanza electrónica, a partir de 10 plantas muestreadas por repetición.

Calcular el rendimiento por m² en kilogramos (kg), se realizará al terminar el ciclo del cultivo, pesando los tubérculos cosechados en el área neta útil de cada parcela experimental.

Determinar los días a la cosecha contabilizando los días transcurridos desde el trasplante hasta completar el ciclo del cultivo.

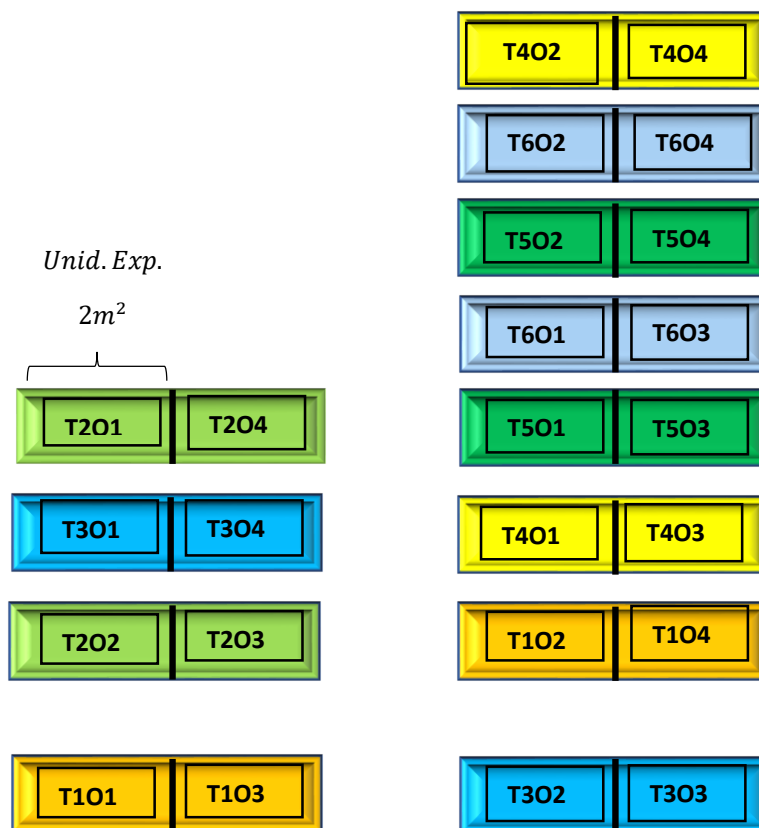
Costo de producción, se llevarán las cuentas a lo largo del cultivo en moneda boliviana.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CAMPO

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) en las 24 camas de estudio, 12 de la variedad Jatun Puka y 12 de la variedad Desiree cada una con sus respectivos tratamientos los cuales fueron destinados al azar.

Cada cama tiene una medida de $4m^2$ se trabajarán con 12 camas las cuales están divididas a $2m^2$, haciendo un total de 24 camas con 6 tratamientos distintos y cada tratamiento con 4 repeticiones; En cada tratamiento existe un numero de 100 plantas por $2m^2$ de estudio.

Figura 6.
Croquis de campo



Nota. Elaboración propia.

PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO

SUSTRATO

La preparación del sustrato se realizó el 21 de marzo de 2025, fecha en que se extrajeron de las camas todos los residuos vegetales, sustrato y materiales provenientes de ciclos anteriores. Posteriormente se procedió al lavado completo del galpón y de cada cama de cultivo.

El sustrato estuvo compuesto por una mezcla de tierra vegetal (8 Tn) y limo (2 Tn), el cual fue sometido a esterilización mediante una caldera de vapor seco que opera a partir de 10 bares de presión. El sustrato se mantuvo en las cajas de esterilización entre 50 y 60 minutos, a temperaturas de 90°C a 98°C, condiciones suficientes para eliminar hongos, parásitos y microorganismos de ciclos anteriores. Antes de ser trasladado a las camas, se verificó la temperatura del sustrato con termómetro en distintos puntos de la caja.

Con el objetivo de conocer las condiciones de fertilidad inicial del sustrato esterilizado y fundamentar las dosis de fertilización aplicadas, se realizó un análisis químico y físico del suelo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS. Los parámetros evaluados fueron: pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P - Bray I), potasio intercambiable (K), calcio intercambiable (Ca) y magnesio intercambiable (Mg). Los resultados obtenidos y su interpretación según los niveles críticos del laboratorio (UAJMS, 2025) se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5.
Resultados e interpretación del análisis químico del sustrato esterilizado
utilizado en el ensayo, CECH 2025.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO DEL SUSTRATO — CECH, 2025					
Parámetro	Valor	Unidad	Nivel crítico	Interpretación	pH Óptimo papa
pH	6,8	—	6,51 – 7,10	Neutro ✓	5,5–6,5
Conductividad eléctrica	0,45	mmhos/cm	< 0,60	Normal — Sin salinidad ✓	
Materia orgánica	1,85	%	0,9–3,3	Bajo–Medio	
Nitrógeno total	0,316	%	0,20–0,30	Alto ✓	
Fósforo (Bray I)	13,93	mg/kg	12–25 (tex. media)	Medio ✓	
Potasio intercambiable	163,98	mg/kg	160–350	Alto ✓	
Calcio intercambiable	348,43	mg/kg	400–1002	Bajo	
Magnesio intercambiable	251,56	mg/kg	122–365	Medio ✓	

Nota. Análisis realizado por el Laboratorio de Suelos, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UAJMS (2025). Interpretación basada en los niveles críticos del Laboratorio de Suelos UAJMS. Ver Anexo F.

Como se observa en la Tabla 5, el pH del sustrato fue de 6,8, valor que se ubica en el rango neutro según los criterios del Laboratorio de Suelos UAJMS (2025), siendo ligeramente superior al óptimo para el cultivo de papa (5,5 a 6,5). No obstante, este valor no representa una limitante significativa para el desarrollo del cultivo, ya que la disponibilidad de macro y micronutrientes en este rango sigue siendo adecuada.

La conductividad eléctrica de 0,45 mmhos/cm se encuentra dentro del rango normal ($< 0,60$ mmhos/cm), descartando problemas de salinidad en el sustrato. El nivel de nitrógeno total (0,316%) se clasifica como alto según los niveles críticos del laboratorio, indicando una elevada presencia del nutriente en el sustrato. Sin embargo, este valor corresponde al nitrógeno total, del cual solo una fracción se encuentra disponible para las plantas, ya que depende de procesos de mineralización, lixiviación, volatilización y de la eficiencia de absorción del cultivo. Diversos estudios indican que el cultivo de papa absorbe únicamente entre 1% y 4% del nitrógeno total presente en el suelo.

En este contexto, la aplicación de fertilización nitrogenada se justifica para asegurar una adecuada disponibilidad del nutriente durante las etapas iniciales del cultivo (FAO, 2019); (Brady, 2017).

En cuanto a los demás nutrientes, el fósforo disponible (13,93 mg/kg) resultó en un nivel medio para suelos de textura media, y el potasio intercambiable (163,98 mg/kg) en un nivel alto. Por su parte, el calcio intercambiable (348,43 mg/kg) resultó bajo y el magnesio (251,56 mg/kg) en nivel medio.

Con base en estos resultados y utilizando la Hoja de Recomendación de Fertilización del Laboratorio de Suelos UAJMS (2025), se determinó que el nutriente con déficit real para el cultivo de papa semilla fue el fósforo (P_2O_5), mientras que el nitrógeno, a pesar de presentar niveles altos en el análisis de suelo, fue complementado mediante fertilización para asegurar su disponibilidad durante el establecimiento del cultivo. La demanda de nutrientes calculada y la fertilización correspondiente se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6.
Demanda de nutrientes y fertilización recomendada para el ensayo de
producción de semilla prebásica, CECH 2025.

Nutriente	Disponib. suelo (kg/ha)	Requerim. cultivo (kg/ha)	Demanda neta (kg/ha)	Observación
Nitrógeno (N)	126,08	750	623,92	Nivel alto en suelo, pero se aplica 50 g DAP/m ² para asegurar disponibilidad inicial
Fósforo (P ₂ O ₅)	37,05	70	32,95	Déficit leve - cubierto mediante la aplicación de DAP (18-46-0) según dosis recomendada
Potasio (K ₂ O)	436,19	390	0 (excedente)	Suelo suficiente - no se aplica K adicional
Calcio (Ca)	926,82	190	0 (excedente)	Suelo suficiente
Magnesio (Mg)	669,15	90	0 (excedente)	Suelo suficiente

Nota. Elaborado a partir de la Hoja de Recomendación de Fertilización del Laboratorio de Suelos, UAJMS (2025). Rendimiento objetivo: producción de semilla prebásica en 48 m². Ver Anexo F.

Estos resultados justifican técnicamente la dosis de fertilización inorgánica seleccionada para el ensayo (50 g de DAP 18-46-00 por m², equivalente a 250 kg/ha), la cual aportó principalmente fósforo y complementó el nitrógeno disponible en el sustrato, asegurando una adecuada nutrición durante las etapas iniciales del cultivo. La suficiencia de Potasio, Calcio y Magnesio en el sustrato confirmó que no era necesaria la aplicación adicional de estos elementos, permitiendo simplificar el plan de fertilización y reducir los costos de producción del ensayo.

PLANTACIÓN

Se realizó la plantación con plantas adquiridas del laboratorio de cultivo *in vitro* de la facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS, Se utilizaron 56 frascos de la variedad Desiree y 53 frascos de la variedad Jatun Puka, cantidad que permitió cubrir la instalación de las 14 camas de cultivo.

Se utilizaron reglas para hacer los surcos con exactitud cada cama estará distribuida con la medida de 4x5 en total 200 platas por cama; después se procedió a lavar cada frasco de las plantas para extraer el agar de las mismas y antes de ser plantadas se aplicó un estimulante anti estrés.

Una vez realizada la plantación, se efectuó el riego inicial y se aplicó el fungicida Kasumin en cada surco, con el objetivo de prevenir enfermedades en la etapa de establecimiento del cultivo. Posteriormente, se colocó la manta térmica sobre cada cama, a fin de proteger las plántulas y favorecer su adaptación.

RIEGO

Se habilitó el sistema de riego por goteo, el cual ya se encontraba instalado dentro de la jaula antiáfidos, permitiendo un control eficiente del suministro hídrico durante todo el ciclo del cultivo.

El agua utilizada provino de la red de abastecimiento local. De acuerdo con un análisis químico de agua realizado en la zona de Chocloca (UAJMS, 2022), esta presenta características adecuadas para su uso en riego agrícola, con un pH cercano a la neutralidad y baja conductividad eléctrica, lo que indica ausencia de problemas de salinidad.

Estas condiciones permitieron un adecuado desarrollo del cultivo, garantizando una aplicación uniforme y eficiente del agua durante todo el periodo vegetativo.

APLICACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN INORGÁNICA Y BIOLÓGICA

La aplicación de fertilización inorgánica, biológica y la combinación de ambas según corresponda cada tratamiento se las realizó entre las dos primeras semanas de los meses de abril, mayo y junio del año 2025.

Se trabajó con 24 camas de $2m^2$ para lo cual el nivel de fertilización según (SRPLUS, 2019). Debe ser:

Tabla 7.
Dosificación y cálculo de fertilizantes biológicos e inorgánicos por unidad experimental

TIPO DE FERTILIZACIÓN	CÁLCULO	CANTIDAD
-Biológica	$\frac{10lt.* 2m^2}{10.000m^2} = 0,002lt \approx 2ml$	$2ml /$ 250ml de H_2O por bandeja de $2m^2$

-Inorgánica	$\frac{250kg.* 2m^2}{10.000m^2} = 0,05kg$ $\approx 50gr$	50gr por bandeja de 2m ²
-Biológica+ Inorgánica	2ml + 50gr	Por bandeja de 2m ²

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. EVALUACIÓN DEL DESARROLLO VEGETATIVO

En esta sección se analizan las variables relacionadas con el crecimiento y establecimiento inicial del cultivo de papa bajo condiciones controladas, considerando el porcentaje de aclimatación y el número de tallos por planta como indicadores del desarrollo vegetativo.

3.1.1. PORCENTAJE DE ACLIMATACIÓN (PRENDIMIENTO)

El porcentaje de aclimatación fue evaluado a los 7 días posteriores al trasplante de las plántulas *in vitro*, con el objetivo de determinar su capacidad de adaptación al sustrato esterilizado bajo condiciones de jaula antiáfidos.

Los datos individuales registrados por unidad experimental se presentan en el ANEXO A.

Tabla 8.
Porcentaje de aclimatación (%) por tratamiento

Tratamiento	Variedad	Tipo de fertilización	R1	R2	R3	R4	Media (%)
T1	Jatun Puka	Fertilización inorgánica únicamente	94	96	95	98	95,75
T2	Jatun Puka	Fertilización inorgánica + biológicos	85	95	93	85	89,50
T3	Jatun Puka	Fertilización biológica únicamente	90	98	96	90	93,50
T4	Desiree	Fertilización inorgánica únicamente	98	95	98	93	96,00
T5	Desiree	Fertilización inorgánica + biológicos	97	90	97	92	94,00
T6	Desiree	Fertilización biológica únicamente	98	94	96	95	95,75

Nota. Elaboración Propia.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que el porcentaje de aclimatación fue elevado en todos los tratamientos, alcanzando un promedio general de 94,08%, lo cual indica un adecuado establecimiento del cultivo bajo las condiciones evaluadas.

Tabla 9.
ANOVA

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
TOTAL	23	329,83				
TRATAMIENTOS	5	122,33	24,47	2,12 NS	2,77	4,25
FACTOR A	1	32,67	32,67	2,83 NS	4,41	8,29
FACTOR B	2	71,58	35,79	3,10 NS	3,55	6,1
INTERACCIÓN A*B	2	18,08	9,04	0,78 NS	3,55	6,1
ERROR	18	207,50	11,53			

Nota. Elaboración Propia. Ver datos de unidades experimentales en ANEXO A.

Como se observa en la Tabla 9, el análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), debido a que el valor de F calculado (2,12) fue menor al valor de F tabulado (2,77). Esto demuestra que el tipo de fertilización no influyó en el porcentaje de aclimatación inicial.

El coeficiente de variación (CV) fue de 3,60%, lo que indica una baja variabilidad experimental y una adecuada precisión en los datos obtenidos.

Sin embargo, al evaluar las medias en la Tabla 8, se evidenció un alto porcentaje de sobrevivencia en todos los tratamientos, alcanzando un promedio general de 94,08%. Este alto nivel de prendimiento se justifica por la calidad del material biológico utilizado; según (RAICES, 2023), el uso de plántulas provenientes de cultivo *in vitro* garantiza material libre de plagas y enfermedades, con alto vigor fisiológico para soportar el estrés del trasplante.

De igual manera, (Agricultura, 2025) señala que, para el cultivo de la papa, contar con un sustrato suelto y con condiciones fitosanitarias óptimas es fundamental para el desarrollo inicial de las raíces y la prevención de enfermedades fúngicas. Por lo tanto, el prendimiento uniforme observado en el ensayo responde directamente a la esterilización del sustrato (90–98 °C) y a la sanidad inicial del material *in vitro*, relegando el efecto de la fertilización a etapas fenológicas posteriores.

3.1.2. NÚMERO DE TALLOS POR PLANTA

El número de tallos por planta fue evaluado a los 60 días después del trasplante, como un indicador del desarrollo vegetativo del cultivo. Esta variable es de gran importancia, ya que cada tallo constituye un eje potencial para la formación de estolones y, por ende, de tubérculos.

Los datos individuales registrados por unidad experimental se presentan en el ANEXO B del documento.

Tabla 10.
Número de tallos por planta según tratamiento

Tratamiento	Variedad	Tipo de fertilización	Media	Tukey (5%)
T2	Jatun Puka	Fertilización inorgánica + biológicos	2,78	a
T3	Jatun Puka	Fertilización biológica únicamente	2,70	a
T1	Jatun Puka	Fertilización inorgánica únicamente	2,60	ab
T6	Desiree	Fertilización biológica únicamente	2,25	b
T4	Desiree	Fertilización inorgánica únicamente	2,23	b
T5	Desiree	Fertilización inorgánica + biológicos	2,20	b

Nota. Elaboración Propia.

Al evaluar las medias (Tabla 10), se observa una clara superioridad en la emisión de tallos por parte de la variedad Jatun Puka, alcanzando hasta 2,78 tallos por planta en el tratamiento T2.

Tabla 11.
ANOVA

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
TOTAL	23	3,22				
TRATAMIENTOS	5	1,37	0,27	2,68	2,77	4,25
FACTOR A	1	1,31	1,31	12,75	4,41	8,29

FACTOR B	2	0,03	0,01	0,13	3,55	6,10
INTERACCIÓN A*B	2	0,04	0,02	0,20	3,55	6,10
ERROR	18	1,84	0,10			

Nota. Elaboración Propia.

Como se detalla en la Tabla 11, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas para el factor variedad ($p < 0,01$), ya que el valor de F calculado (12,75) fue mayor al valor de F tabulado (8,29). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para el factor fertilización ni para la interacción entre factores.

El coeficiente de variación (CV) fue de 12,8%, lo que indica una variabilidad aceptable en los datos experimentales.

Este comportamiento responde a las características genéticas del material. De acuerdo con (TIERRAS, 2023), Jatun Puka es una variedad mejorada que destaca por su alto vigor vegetativo y mayor capacidad de emisión de tallos en comparación con variedades como Desiree.

Adicionalmente, aunque la fertilización no mostró significancia estadística, se observa una tendencia a mayores valores en los tratamientos fertilizados. Según (ARGENPAPA, 2019), la disponibilidad de nitrógeno en etapas tempranas del cultivo favorece el desarrollo vegetativo, incrementando el número de tallos y el área foliar.

3.2. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

En esta sección se evalúan las variables que determinan la capacidad productiva final del cultivo bajo las condiciones controladas de la jaula antiáfidos. Los componentes del rendimiento son indicadores fundamentales para estimar la eficiencia reproductiva, la acumulación de biomasa y la viabilidad técnica de la producción de semilla prebásica. A continuación, se analizan estadísticamente los resultados obtenidos para el número de tubérculos por planta, el peso del tubérculo por planta y el rendimiento volumétrico total por metro cuadrado, detallando la influencia del factor genético (variedad) y los niveles de fertilización.

3.2.1. NÚMERO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA

El número de tubérculos por planta fue evaluado al final del ciclo del cultivo, constituyendo un indicador clave del rendimiento en la producción de semilla prebásica. Esta variable refleja la eficiencia reproductiva del cultivo bajo los diferentes tratamientos de fertilización y variedades evaluadas.

Los datos individuales registrados por unidad experimental se presentan en el ANEXO C.

Tabla 12.
Número de tubérculos por planta según tratamiento

Tratamiento	Variedad	Tipo de fertilización	Media	Tukey (5%)
T4	Desiree	Fertilización inorgánica únicamente	8,15	A
T6	Desiree	Fertilización biológica únicamente	6,63	B
T5	Desiree	Fertilización inorgánica + biológicos	6,40	B
T3	Jatun Puka	Fertilización biológica únicamente	5,63	B
T1	Jatun Puka	Fertilización inorgánica únicamente	5,53	B
T2	Jatun Puka	Fertilización inorgánica + biológicos	5,40	B

Nota. Elaboración Propia.

Al evaluar las medias (Tabla 12), se observa que la variedad Desiree presentó un mayor número de tubérculos por planta, alcanzando una media de 8,15 tubérculos en el tratamiento con fertilización inorgánica (T4).

Tabla 13.
ANOVA

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
TOTAL	23	37,79				
TRATAMIENTOS	5	21,61	4,32	4,81	2,77	4,25
FACTOR A	1	14,26	14,26	15,87	4,41	8,29

FACTOR B	2	3,83	1,92	2,13 NS	3,55	6,10
INTERACCIÓN A*B	2	3,52	1,76	1,96 NS	3,55	6,10
ERROR	18	16,17	0,90			

Nota. Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 13, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas para el factor variedad ($p < 0,01$), ya que el valor de F calculado (15,87) superó al valor de F tabulado (8,29). Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el factor fertilización ni para la interacción entre factores.

El coeficiente de variación (CV) fue de 15,1%, lo que indica una variabilidad aceptable y una adecuada confiabilidad en los datos experimentales.

Este comportamiento es respaldado teóricamente por el (INIAF, s.f.), que describe a la variedad Desiree por su alta capacidad de tuberización y rendimiento numérico. Asimismo, la superioridad observada en el tratamiento T4 concuerda con lo señalado por (ARGENPAPA, 2019), donde se indica que el suministro de fósforo (P), presente en el fosfato diamónico, favorece la formación de tubérculos y acelera el proceso de tuberización en etapas tempranas del cultivo.

3.2.2. PESO DEL TUBÉRCULO POR PLANTA (G)

El peso del tubérculo por planta fue evaluado al final del ciclo del cultivo, constituyendo un indicador fundamental del rendimiento, ya que refleja la capacidad de la planta para el llenado y acumulación de materia seca en los órganos de reserva.

Los datos individuales registrados por unidad experimental se presentan en el ANEXO D.

Tabla 14.
Peso del tubérculo por planta (g) según tratamiento

Tratamiento	Variedad	Tipo de fertilización	Media (g)	Tukey (5%)
T2	Jatun Puka	Fertilización inorgánica + biológicos	114,80	a
T1	Jatun Puka	Fertilización inorgánica únicamente	112,13	a
T3	Jatun Puka	Fertilización biológica únicamente	100,25	a
T4	Desiree	Fertilización inorgánica únicamente	46,83	b
T5	Desiree	Fertilización inorgánica + biológicos	41,83	b
T6	Desiree	Fertilización biológica únicamente	39,83	b

Nota. Elaboración Propia.

Al evaluar las medias (Tabla 14), se observa que la variedad Jatun Puka presentó una clara superioridad frente a Desiree, alcanzando el mayor peso en el tratamiento con fertilización combinada (T2), con un valor de 114,80 g por planta.

Tabla 15.
ANOVA

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
TOTAL	23	30238,22				
TRATAMIENTOS	5	26904,96	5380,99	29,06		
FACTOR A	1	26321,13	26321,13	142,14	4,41	8,29
FACTOR B	2	423,72	211,86	1,14 NS	3,55	6,10
INTERACCIÓN A*B	2	160,12	80,06	0,43 NS	3,55	6,10
ERROR	18	3333,26	185,18			

Nota. Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 15, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas para el factor variedad ($p < 0,01$), ya que el valor de F calculado (142,14) fue mayor al valor de F tabulado (8,29). No se encontraron

diferencias significativas ($p > 0,05$) para el factor fertilización ni para la interacción entre factores.

El coeficiente de variación (CV) fue de **18,1%**, lo que indica una variabilidad aceptable en los datos experimentales.

Este comportamiento genético concuerda con los reportes del (INIAF, s.f.), que destacan a la variedad Jatun Puka por su alta capacidad de acumulación de biomasa en el tubérculo. Asimismo, el mayor rendimiento observado en el tratamiento mixto (T2) se explica por la interacción entre fertilización inorgánica y bioestimulantes.

De acuerdo con (BRISENO, 2024), la aplicación conjunta de fertilizantes y sustancias húmicas mejora la absorción y el transporte de nutrientes, incrementando la actividad fotosintética y favoreciendo el llenado del tubérculo, lo que se traduce en un mayor peso por planta.

3.2.3. RENDIMIENTO DE TUBÉRCULOS POR METRO CUADRADO (KG/M²)

Para determinar la viabilidad productiva del ensayo, se calculó el rendimiento total en kilogramos por metro cuadrado (kg/m²). Esta variable es fundamental para proyectar la rentabilidad del cultivo a mayor escala.

Tabla 16.
Rendimiento total y promedio por metro cuadrado según tratamiento.

Tratamiento	Variedad	Rendimiento Total (kg en 8 m ²)	Rendimiento Promedio (kg/m ²)
T1	Jatun Puka	18,43	2,3
T2	Jatun Puka	18,24	2,28
T3	Jatun Puka	17,18	2,15
T4	Desiree	9,76	1,22
T5	Desiree	8,23	1,03
T6	Desiree	7,73	0,97

Nota. Elaboración Propia.

La variedad Jatun Puka demostró una clara superioridad en la producción de biomasa por unidad de superficie, superando los 2 kg/m² en todos sus tratamientos. Este resultado concuerda con lo establecido por el (INIAF, s.f.), institución que señala que las variedades nativas mejoradas poseen una alta eficiencia fotosintética y capacidad de extracción de nutrientes, traducándose en rendimientos volumétricos superiores frente a genotipos introducidos. Por otro lado, la variedad Desiree presentó rendimientos promedios cercanos a 1 kg/m². El tratamiento T1 (fertilización inorgánica) y T2 (mixta) fueron los de mayor rendimiento volumétrico general; este comportamiento es respaldado por (BRISENO, 2024), quien afirma que el suministro equilibrado de macronutrientes maximiza el transporte de carbohidratos hacia los órganos vertedero, incrementando significativamente la biomasa total en ambientes controlados.

A efectos de contextualizar los rendimientos obtenidos en el ensayo, se realizó una proyección de escala a superficie de una hectárea (10.000 m²), conforme al procedimiento de conversión de unidades utilizado en agronomía experimental. El cálculo se realizó mediante regla de tres simple, partiendo de los rendimientos promedio obtenidos por metro cuadrado en cada variedad (Tabla 17).

Tabla 17.
Proyección referencial del rendimiento a hectárea a partir de los datos del ensayo (48 m²).

Parámetro	Variedad Jatun Puka	Variedad Desiree
Rendimiento en ensayo (kg/m ²)	2,15 – 2,30	0,97 – 1,22
Proyección a 1 ha (kg)	21.500 – 23.000	9.700 – 12.200
Proyección a 1 ha (Tm/ha)	21,5 – 23,0	9,7 – 12,2

Nota. Proyección calculada a partir de los rendimientos promedio por metro cuadrado obtenidos en el ensayo, mediante conversión directa a una superficie de una hectárea (10.000 m²).

Como se observa en la Tabla 17, la variedad Jatun Puka presenta una proyección referencial de rendimiento entre 21,5 y 23,0 Tm/ha, mientras que la variedad Desiree alcanza valores entre 9,7 y 12,2 Tm/ha.

Estos valores corresponden a una estimación bajo condiciones controladas de producción de semilla prebásica, por lo que su comparación con sistemas de producción comercial debe realizarse con cautela. En este sentido, estudios como (Valverde, 1998) reportan rendimientos entre 20 y 60 Tm/ha en condiciones de campo abierto, lo cual sirve únicamente como referencia general.

3.3. DÍAS A LA COSECHA

Se contabilizaron los días transcurridos desde el trasplante hasta la maduración completa y cosecha manual de los tubérculos en la jaula antiáfidos.

Tabla 18.
Días a la cosecha por tratamiento y variedad.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	VARIEDAD	FECHA DE TRASPLANTE	FECHA DE COSECHA	DÍAS A LA COSECHA
T1	R1	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T1	R2	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T1	R3	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T1	R4	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T2	R1	JATUN PUKA	1/4/2025	12/8/2025	134
T2	R2	JATUN PUKA	1/4/2025	12/8/2025	134
T2	R3	JATUN PUKA	1/4/2025	12/8/2025	134
T2	R4	JATUN PUKA	1/4/2025	12/8/2025	134
T3	R1	JATUN PUKA	1/4/2025	14/8/2025	136
T3	R2	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T3	R3	JATUN PUKA	1/4/2025	14/8/2025	136
T3	R4	JATUN PUKA	1/4/2025	13/8/2025	135
T4	R1	DESIREE	1/4/2025	13/8/2025	135
T4	R2	DESIREE	1/4/2025	13/8/2025	135
T4	R3	DESIREE	1/4/2025	13/8/2025	135
T4	R4	DESIREE	1/4/2025	13/8/2025	135
T5	R1	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T5	R2	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T5	R3	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T5	R4	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T6	R1	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T6	R2	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136

T6	R3	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136
T6	R4	DESIREE	1/4/2025	14/8/2025	136

Nota. Elaboración Propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el ciclo total del cultivo para ambas variedades osciló entre 134 y 136 días, evidenciando una duración bastante uniforme entre tratamientos.

No se observaron variaciones relevantes en la duración del ciclo productivo atribuibles al tipo de fertilización aplicada, lo que indica que esta variable estuvo determinada principalmente por el componente genético y las condiciones ambientales controladas del ensayo.

Estos valores se encuentran dentro de los rangos esperados, ya que, según el Centro Internacional de la Papa (CIP, 2022), la producción de semilla prebásica bajo condiciones de jaula antiáfidos y sustrato inerte tiende a uniformizar y, en algunos casos, extender ligeramente los ciclos fisiológicos debido al microclima controlado.

Asimismo, se evidenció que la variedad Desiree presentó una ligera precocidad en las etapas iniciales de desarrollo, lo cual coincide con lo reportado por (ARGENPAPA, 2019), que la clasifica como un genotipo de ciclo semi-temprano. Sin embargo, ambas variedades alcanzaron una madurez fisiológica similar, con una duración aproximada de 4,5 meses, considerada adecuada para la producción de semilla de categoría prebásica.

3.4. CALIBRE DE LOS TUBÉRCULOS

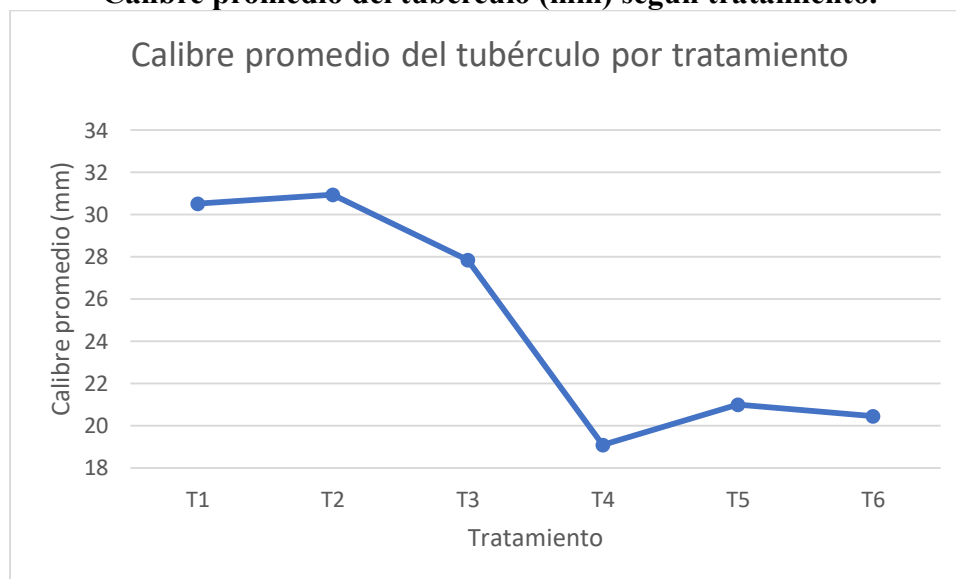
Concluido el ciclo de cultivo, se procedió a la clasificación física de los tubérculos mediante plantillas de calibración. Esta evaluación constituye un indicador final de calidad, ya que el destino de la producción es la obtención de semilla prebásica, la cual se rige por parámetros específicos de tamaño.

Tabla 19.
Calibre del tubérculo (mm) por tratamiento

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	R4	MEDIA
T1	31,7	25,97	32,41	32,09	30,54
T2	31,78	30,9	30,89	30,21	30,95
T3	29,78	22,91	29,03	29,7	27,86
T4	20,25	17,88	17,17	21,08	19,10
T5	22,35	19,07	21,62	20,95	21,00
T6	18,91	18,6	22,85	21,48	20,46

Nota. Elaboración Propia.

Figura 7.
Calibre promedio del tubérculo (mm) según tratamiento.



Nota. Elaboración Propia.

Como se detalla en la Tabla 19 y se ilustra en la Figura 3, el diámetro ecuatorial promedio (calibre) de los tubérculos está influenciado principalmente por el factor genético, presentando además una ligera respuesta al tipo de fertilización.

Se observa una disminución marcada del calibre promedio al pasar de la variedad Jatun Puka a Desiree. Los tratamientos correspondientes a Jatun Puka (T1, T2 y T3) presentan los valores más elevados, con promedios comprendidos entre 27,86 y

30,95 mm, evidenciando su mayor desarrollo volumétrico. En contraste, los tratamientos de la variedad Desiree (T4, T5 y T6) muestran valores menores, estabilizándose en un rango de 19,10 a 21,00 mm, lo que indica una mayor uniformidad en el tamaño de los tubérculos.

De acuerdo con las normativas de certificación del (INIAF, s.f.), estos calibres son adecuados para la producción de semilla prebásica, ya que permiten un mayor número de unidades de propagación por superficie.

Por otra parte, al analizar el comportamiento dentro de cada variedad, se identifican los mayores valores en los tratamientos T2 (30,95 mm) y T5 (21,00 mm), ambos correspondientes a la fertilización combinada (inorgánica + biológica). Este comportamiento sugiere un efecto positivo de la integración de fuentes nutricionales, lo cual es respaldado por (Agricultura, 2025), quien indica que la combinación de fertilización mineral con bioestimulantes mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes y favorece el llenado del tubérculo.

3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO (RELACIÓN BENEFICIO-COSTO)

Con el objetivo de determinar la viabilidad económica del sistema de producción de semilla prebásica de papa bajo condiciones controladas, se realizó un análisis de costos e ingresos para los 48 m² evaluados en la jaula antiáfidos del Centro Experimental de Chocloca (CECH). Los costos fueron registrados en moneda nacional (bolivianos) a lo largo de todo el ciclo productivo, considerando los cinco grandes rubros de inversión del ensayo.

Tabla 20.
Estructura de costos de producción de papa prebásica por rubro (48 m²), gestión 2025.

COSTO DE PRODUCCIÓN DE PAPA PREBÁSICA (48 m²) - GESTIÓN 2025					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Sub Total (Bs.)
I	Preparación de sustrato				3.345,00
	Tierra vegetal	Tn	8	330,00	2.640,00
	Limo	Tn	2	100,00	200,00
	GLP (garrafa 45 kg)	Pieza	4	125,00	500,00

	Agua	Litro	500	0,01	5,00
II	Insumos para trasplante				8.184,40
	Vitroplantas de papa	Unidades	2.400	3,00	7.200,00
	Incafer (18-46-00)	kg	1,2	12,00	14,40
	Mix bacteriano ACF-SR PLUS	litro	1	100,00	100,00
	Nutripak	litro	0,5	100,00	50,00
	Insecticida Hook (250g)	sobre	1	45,00	45,00
	Foliar maduración	kg	0,5	60,00	30,00
	Fungicida Itacur	kg	0,5	150,00	75,00
	Jabón potásico	litro	0,25	120,00	30,00
	Manta térmica	m ²	48	10,00	480,00
	Ridomil	kg	0,5	320,00	160,00
III	Trasplante				200,00
	Obrero para trasplante	jornal	2	100,00	200,00
IV	Labores culturales				1.050,00
	Obreros para desinfección de sustrato	jornales	4	100,00	400,00
	Llenado de bandejas	jornal	4	100,00	400,00
	Aporque	jornal	2	100,00	200,00
	Riegos	m ³	5.000	0,01	50,00
V	Cosecha				450,00
	Obreros para cosecha	jornal	2	100,00	200,00
	Clasificado manual	jornal	2	100,00	200,00
	Traslado a mercado	servicio	1	50,00	50,00
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (48 m²)					13.229,40

Nota. Elaboración propia. Precios vigentes en mercado local de Tarija, gestión 2025.

Como se detalla en la Tabla 20, el costo total de producción para los 48 m² evaluados fue de Bs. 13.229,40. El rubro de mayor peso económico correspondió a los insumos para trasplante, representando el 61,87% del costo total, siendo las vitroplantas de cultivo *in vitro* (Bs. 3,00/unidad × 2.400 unidades = Bs. 7.200,00) el principal componente de este ítem. Este resultado es consistente con lo señalado por (RAICES, 2023), quien indica que el material vegetal de origen *in vitro*, aunque de mayor costo inicial, garantiza plántulas libres de plagas y enfermedades, lo que justifica ampliamente la inversión al tratarse de semilla de categoría prebásica destinada a la certificación.

En segundo lugar, la preparación y desinfección del sustrato representó el 25,28% del costo total (Bs. 3.345,00), valor que refleja la rigurosidad del proceso de esterilización a vapor seco requerido por las normas del INIAF para la producción de

semilla de esta categoría. Las labores culturales (7,94%) y la cosecha (3,40%) constituyeron los rubros de menor incidencia económica, evidenciando la eficiencia del sistema de riego a goteo instalado y la naturaleza controlada del ensayo.

Tabla 21.
Análisis económico y relación Beneficio-Costo del ensayo de producción de semilla prebásica de papa.

ANÁLISIS ECONÓMICO - RELACIÓN BENEFICIO/COSTO	
Concepto	Valor
Superficie evaluada	48 m ²
Rendimiento promedio	2,90 kg/m ²
Producción total del ensayo	139,20 kg/ciclo
Costo total de producción	Bs. 13.229,40
Precio de costo estimado por kg	Bs. 95,04/kg
Precio unitario de venta (semilla prebásica)	Bs. 200,00/kg
Ingreso bruto	Bs. 27.840,00
Ingreso neto	Bs. 14.610,60
Rentabilidad	110,44%
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)	2,10

Nota. Elaboración propia. Precio de venta de semilla prebásica según referencia de mercado (INIAF, s.f.).

Con una producción total de 139,20 kg de semilla prebásica y un precio de venta de mercado de Bs. 200,00/kg — establecido para semilla certificada de alta categoría (INIAF, 2023) — se obtuvo un ingreso bruto de Bs. 27.840,00 y un ingreso neto de Bs. 14.610,60. El precio de costo por kilogramo producido fue de Bs. 95,04, lo que representa un margen comercial significativo frente al precio de venta.

La relación Beneficio-Costo (B/C) calculada fue de 2,10, lo que indica que por cada boliviano invertido en el proceso de producción se obtiene un retorno de Bs. 1,10 de ganancia neta, con una rentabilidad del 110,44%. De acuerdo con los criterios de evaluación de proyectos agropecuarios, un índice B/C mayor a 1,0 confirma la viabilidad y rentabilidad económica del sistema (Baca Urbina, 2013). Este resultado posiciona a la producción de semilla prebásica de papa en jaula antiáfidos como una actividad económicamente atractiva para el departamento de Tarija, especialmente considerando el déficit de semilla certificada de calidad identificado en la problemática de la investigación.

Es importante señalar que el tratamiento con mayor rendimiento volumétrico (T1 - Jatun Puka con fertilización inorgánica: 2,30 kg/m²) y el de mayor peso por tubérculo (T2 - Jatun Puka con fertilización mixta: 114,80 g/planta) contribuyeron de manera diferenciada al ingreso total del ensayo, siendo la variedad Jatun Puka la que aportó mayor biomasa por unidad de superficie, mientras que la variedad Desiree, con mayor número de tubérculos por planta y calibres más pequeños, resulta óptima en términos de unidades de semilla obtenidas por metro cuadrado, aspecto relevante para la multiplicación de material prebásico.

3.6. DISCUSIÓN GENERAL Y CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En base a los resultados obtenidos en la evaluación del desarrollo vegetativo y los componentes de rendimiento, se evidenció que las variables analizadas presentaron comportamientos diferenciados principalmente en función de la variedad de papa utilizada, y en menor medida por el tipo de fertilización aplicada.

En la fase de desarrollo vegetativo, el porcentaje de aclimatación no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo cual indica que esta etapa depende principalmente de las condiciones de manejo y del estado fisiológico de las plántulas, más que del tipo de fertilización aplicada. Sin embargo, en el número de tallos por planta se observaron diferencias significativas atribuibles al factor variedad, destacando la variedad Jatun Puka por su mayor desarrollo vegetativo.

En cuanto a los componentes de rendimiento, el número de tubérculos por planta mostró diferencias significativas en función de la variedad, donde la variedad Desiree presentó una mayor producción de tubérculos. Por otro lado, el peso del tubérculo por planta evidenció un comportamiento inverso, siendo la variedad Jatun Puka la que alcanzó los mayores valores.

Estos resultados permiten identificar una diferenciación en la estrategia productiva entre ambas variedades, donde la variedad Desiree prioriza la cantidad de tubérculos producidos, mientras que la variedad Jatun Puka presenta una mayor capacidad de acumulación de biomasa, generando tubérculos de mayor tamaño.

Asimismo, aunque el factor fertilización no mostró diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas, se observó una tendencia favorable en los tratamientos con fertilización combinada (inorgánica + biológica), lo que sugiere un efecto positivo en el desempeño fisiológico del cultivo bajo condiciones controladas.

Desde el punto de vista técnico, la variedad Jatun Puka presentó mejores resultados en términos de rendimiento por unidad de superficie y peso de tubérculo, mientras que la variedad Desiree destacó por el mayor número de tubérculos por planta. En términos económicos, la mayor producción de biomasa de Jatun Puka contribuyó de manera directa a incrementar el ingreso total del sistema.

En consecuencia, se concluye que la variedad Jatun Puka resulta más conveniente tanto técnica como económicamente bajo las condiciones evaluadas, mientras que la variedad Desiree representa una alternativa viable cuando el objetivo es maximizar el número de unidades de semilla para procesos de multiplicación.

Por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta parcialmente la Hipótesis Alternativa (H_1), debido a que se comprobó que el factor variedad influye significativamente en el desarrollo y rendimiento del cultivo, mientras que el efecto de la fertilización no fue estadísticamente significativo en la mayoría de las variables analizadas.

Finalmente, el éxito agronómico observado se traduce en una viabilidad económica positiva para el productor de semilla prebásica en Tarija. La relación Beneficio-Costo de 2,10 demuestra que, a pesar de los elevados costos iniciales del material in vitro, la producción bajo condiciones controladas presenta un alto potencial de rentabilidad, validando el sistema como una alternativa productiva viable frente a la creciente demanda de semilla certificada en el departamento.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.CONCLUSIONES

- En cuanto al desarrollo vegetativo, el porcentaje de aclimatación no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($F_{\text{calculado}} = 2,12 < F_{\text{tabulado}} = 2,77$), alcanzando un promedio general de 94,08%. Esto demuestra que el tipo de fertilización aplicada no influye en la adaptación inicial de las plántulas *in vitro* al sustrato, siendo este proceso determinado principalmente por la calidad del material biológico y las condiciones fitosanitarias del sustrato esterilizado.
- El número de tallos por planta evidenció diferencias altamente significativas para el Factor A (variedad), con un $F_{\text{calculado}}$ de 12,75 superior al F_{tabulado} de 8,29 al nivel del 1%. La variedad Jatun Puka superó estadísticamente a Desiree en desarrollo vegetativo, alcanzando hasta 2,78 tallos por planta (T2), frente a un máximo de 2,25 tallos en la variedad Desiree (T6). El tipo de fertilización no mostró diferencias significativas sobre esta variable.
- Respecto a los componentes del rendimiento, el número de tubérculos por planta presentó diferencias altamente significativas en función de la variedad ($F_{\text{calculado}} = 15,87$). La variedad Desiree demostró mayor eficiencia reproductiva, alcanzando una media de 8,15 tubérculos por planta bajo fertilización inorgánica (T4), valor estadísticamente superior (Tukey 5%) al resto de tratamientos. Esta característica la posiciona como la variedad más apropiada para la obtención de mayor número de unidades de semilla por planta.
- El peso del tubérculo por planta evidenció las diferencias más marcadas entre variedades ($F_{\text{calculado}} = 142,14$), siendo la variedad Jatun Puka la de mayor acumulación de biomasa, con una media de 114,80 g/planta bajo el tratamiento de fertilización combinada (T2 - inorgánica + biológica). En contraste, la variedad Desiree presentó pesos significativamente menores, con un máximo de 46,83 g/planta (T4). Esto confirma la estrategia productiva diferenciada entre ambas variedades: Jatun Puka prioriza volumen de tubérculo y Desiree prioriza cantidad.

- En cuanto al rendimiento por metro cuadrado, la variedad Jatun Puka superó los 2,00 kg/m² en todos sus tratamientos, con un máximo de 2,30 kg/m² (T1), mientras que la variedad Desiree se mantuvo por debajo de 1,22 kg/m². Ambas variedades se encuentran dentro del rango productivo esperado para semilla prebásica en condiciones de jaula antiáfidos con sustrato inerte.
- Los días a la cosecha oscilaron entre 134 y 136 días para ambas variedades, sin diferencias significativas atribuibles al tipo de fertilización. La duración del ciclo productivo es consistente con los parámetros reportados para la producción de semilla prebásica bajo condiciones controladas, equivaliendo a aproximadamente cuatro meses y medio desde el trasplante.
- Respecto al calibre de los tubérculos, los tratamientos de la variedad Jatun Puka obtuvieron calibres entre 27,86 y 30,95 mm, mientras que la variedad Desiree presentó calibres entre 19,10 y 21,00 mm. Según las normativas del INIAF (2023), los calibres más reducidos de la variedad Desiree resultan óptimos para semilla prebásica, ya que permiten obtener un mayor número de unidades de propagación por kilogramo.
- El análisis económico determinó un costo total de producción de Bs. 13.229,40 para los 48 m² evaluados, con un precio de costo de Bs. 95,04 por kilogramo. Con un precio de venta de Bs. 200,00/kg de semilla prebásica, se obtuvo una relación Beneficio-Costo de 2,10 y una rentabilidad del 110,44%, confirmando la viabilidad económica del sistema de producción de semilla prebásica bajo condiciones de jaula antiáfidos en el CECH.
- En base al análisis integral de los resultados, se rechaza la Hipótesis Nula (H0) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H1), ya que el factor variedad influyó significativamente en el desarrollo vegetativo (número de tallos), en los componentes del rendimiento (número de tubérculos, peso del tubérculo) y en el rendimiento por metro cuadrado. Si bien el factor fertilización no mostró diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las variables, se observó una

tendencia favorable en los tratamientos con fertilización combinada (inorgánica + biológica), especialmente en peso y calibre del tubérculo.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la variedad Jatun Puka cuando el objetivo de producción sea maximizar el rendimiento en biomasa y el tamaño de los tubérculos, dado que demostró consistentemente mayor peso y mayor volumen por metro cuadrado en todas las condiciones de fertilización evaluadas.
- Se recomienda utilizar la variedad Desiree cuando el objetivo sea maximizar el número de unidades de semilla prebásica por planta, ya que produce significativamente más tubérculos por planta con calibres compactos (19-21 mm), ideales para la multiplicación y distribución de material de siembra de alta categoría.
- Se recomienda aplicar la fertilización combinada (inorgánica + biológica, Tratamiento T2) en la variedad Jatun Puka, dado que este tratamiento obtuvo el mayor peso de tubérculo (114,80 g/planta) y el mayor calibre (30,95 mm), superando a la fertilización exclusivamente inorgánica o exclusivamente biológica. La integración de ácidos húmicos y fúlvicos con el fertilizante mineral potencia la eficiencia en la absorción de nutrientes.
- Se recomienda que futuras investigaciones evalúen dosis crecientes del biofertilizante ACF-SR PLUS de manera independiente, con el fin de determinar el nivel de aplicación óptimo que permita reducir la dependencia de fertilización inorgánica sin sacrificar rendimiento, contribuyendo así a sistemas de producción de semilla más sostenibles y de menor costo.
- Se recomienda replicar el ensayo con un mayor número de repeticiones o en condiciones de campo abierto bajo prácticas de aislamiento fitosanitario, con el objetivo de evaluar el comportamiento de ambas variedades y los niveles de

fertilización en superficies de producción comercial, escalando los resultados obtenidos a nivel de hectárea.

- Se recomienda que el Centro Experimental de Chocloca (CECH) y la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS consideren la implementación de un programa continuo de producción de semilla prebásica de papa, priorizando la variedad Jatun Puka con fertilización mixta, dado que la relación Beneficio-Costo de 2,10 y la rentabilidad del 110,44% demuestran su viabilidad económica para contribuir al abastecimiento de semilla certificada en el departamento de Tarija.
- Se recomienda que el INIAF y las instancias académicas competentes realicen estudios de validación de la semilla prebásica producida en el CECH, verificando su comportamiento agronómico en la siguiente generación de multiplicación (semilla básica), para confirmar la conservación de las características varietales y fitosanitarias garantizadas en el presente ensayo.
- Se recomienda incorporar en futuros estudios el análisis estadístico del calibre del tubérculo mediante ANOVA y prueba de Tukey, variable que en el presente ensayo fue analizada de forma descriptiva, con el fin de determinar con mayor precisión la influencia de los factores variedad y fertilización sobre esta variable de calidad de semilla.