

CARACTERES BIOPRODUCTIVOS EN CUATRO VARIEDADES DE PAPAS, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE AEROPONIA, EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE CHOCLOCA – UAJMS

BIOPRODUCTIVE CHARACTERS IN FOUR VARIETIES OF POTATO, USING THE AEROPONICS TECHNIQUE, AT THE CHOCLOCA EXPERIMENTAL CENTER – UAJMS

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Laime Nieves José Lindolfo¹
Hoyos Farfán Germán²

¹Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias, Agrícolas y Forestales
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia del autor: jjlaime23@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

CARACTERES BIOPRODUCTIVOS EN CUATRO VARIETADES DE PAPAS, UTILIZANDO LA TECNICA DE AEROPONIA, EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE CHOCLOCA – UAJMS

²**Hoyos Farfán Germán**

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias, Agrícolas y Forestales

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija – Bolivia

RESUMEN

El presente estudio denominado CARACTERES BIOPRODUCTIVOS EN CUATRO VARIEDADES DE PAPAS, UTILIZANDO LA TECNICA DE AEROPONIA, EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE CHOCLOCA – UAJMS, evaluó el área foliar (AF), el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento relativo (TCR) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en cuatro variedades de papa (Desireé, Jatum Puka, Marcela y Pinker) cultivadas en sistemas de aeroponía y sustrato estéril. La variedad Jatum Puka mostró el mayor desarrollo foliar en ambos sistemas, con un AF de 131,6 cm² en el sistema de aeroponía y 166,9 cm² en sustrato estéril. En cuanto al IAF, Marcela y Pinker destacaron en aeroponía, mientras que Jatum Puka presentó el mayor valor en sustrato estéril. Desireé mostró la mayor TCR, especialmente en sustrato estéril (0,0433 día⁻¹), lo que indica una mayor eficiencia de crecimiento. En aeroponía, Jatum Puka sobresalió en TCC (434 g/m²/día), mientras que en sustrato, Pinker y Desireé lideraron este parámetro. Los resultados sugieren que la variedad Desireé es la más adecuada para aeroponía, alcanzando 760 tubérculos/m²; ésta misma variedad junto a Pinker muestran mejor rendimiento en sustrato estéril. Las diferencias observadas resaltan la importancia de la selección del sistema de cultivo según la variedad para optimizar el rendimiento en la producción de papa.

ABSTRACT

The present study called BIOPRODUCTIVE CHARACTERS IN FOUR VARIETIES OF POTATO, USING THE AEROPONICS TECHNIQUE, AT THE CHOCLOCA EXPERIMENTAL CENTER – UAJMS, evaluated the leaf area (AF), the leaf area index (IAF), the relative growth rate (TCR) and the crop growth rate (TCC) in four potato varieties (Desireé, Jatum Puka, Marcela and Pinker) grown in aeroponic systems and sterile substrate. The Jatum variety Puka showed the greatest leaf development in both systems, with an AF of 131.6 cm² in the aeroponic system and 166.9 cm² in sterile substrate. Regarding the IAF, Marcela and Pinker stood out in aeroponics, while Jatum Puka presented the highest value in sterile substrate. Desireé showed the highest TCR, especially in sterile substrate (0.0433 day⁻¹), indicating higher growth efficiency. In aeroponics, Jatum Puka excelled in TCC (434 g/m²/day), while in substrate, Pinker and Desireé led this parameter. The results suggest that the Desireé variety is the most suitable for aeroponics, reaching 760 tubers/m²; this same variety together with Pinker show better performance in sterile substrate. The differences observed highlight the importance of selecting the cultivation system according to the variety to optimize the yield in potato production.

Palabras Clave: Papa, Aeroponía, Sustrato estéril, Producción de tubérculos, Índices bioproductivos.

Keywords: Potato, Aeroponics, Sterile substrate, Tuber production, Bioproductive indices.

1. INTRODUCCIÓN

Bolivia es uno de los principales centros de origen y diversificación en recursos filogenéticos de papa (*Solanum tuberosum* L.), siendo que es un cultivo tradicional y uno de los más importantes para el agricultor asentado en la zona andina. Las papas nativas se caracterizan por su calidad culinaria, alto contenido de materia seca, contenido elevado de antocianinas y gran diversidad en el color de la pulpa de los tubérculos como blanco, amarillo, rojo, morado con combinaciones vistosas y únicas (Quispe, 2018).

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es fundamental en la seguridad alimentaria mundial, constituye una fuente vital de carbohidratos, vitaminas y minerales. La calidad y rendimiento de las cosechas de papa dependen en gran medida de la calidad de la semilla utilizada. La producción de semilla prebásica de alta calidad es determinante para asegurar una propagación saludable y tolerancia a enfermedades.

La técnica de cultivo aeropónico se ha convertido en una alternativa innovadora y eficiente para la producción de semilla prebásica de papa. Esta técnica, que se diferencia del cultivo tradicional en suelo, involucra el crecimiento de las plantas en un entorno de aire con sus raíces suspendidas y expuestas a una solución nutritiva entregada al sistema radicular a través de nebulización. El cultivo aeropónico ofrece múltiples ventajas, como un control preciso del ambiente radicular, mayor eficiencia en el uso de agua y nutrientes, y una reducción significativa del riesgo de enfermedades transmitidas por el suelo.

En la producción de semilla prebásica, el cultivo aeropónico permite obtener tubérculos de semilla de alta calidad y uniformidad, lo cual es esencial para garantizar un buen desempeño en las etapas posteriores de producción. Además, la técnica aeropó-

nica facilita la multiplicación rápida y eficiente de material genético libre de patógenos, mejorando la disponibilidad y acceso a semillas sanas y vigorosas para los agricultores.

En nuestro medio, el primer trabajo sobre aeroponía se desarrolló en el Centro Experimental de Chocloca, donde se ensayaron cuatro variedades de papas: Desireé, Jatun Puka, Marcela y Pinker, para ello se utilizó material proveniente del laboratorio de cultivo in vitro de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La ejecución del presente trabajo de investigación comprende varias etapas, la primera abarca una fase de preparación y revisión de información, para la búsqueda de material vegetal de las variedades objeto de estudio. La segunda comprende trabajo de laboratorio, para la obtención de brotes laterales y la tercera que comprende el trabajo en caseta antiáfidis.

En la investigación utilizamos la técnica de aeroponía, una técnica relativamente nueva, que permite incrementar los volúmenes de producción en tubérculos prebásicos de papa. Para alcanzar éste propósito fue necesario capacitar a los investigadores en la técnica de aeroponía, aprovechando los avances que ya se tienen en universidades del sistema, como es el caso de UPEA – La Paz

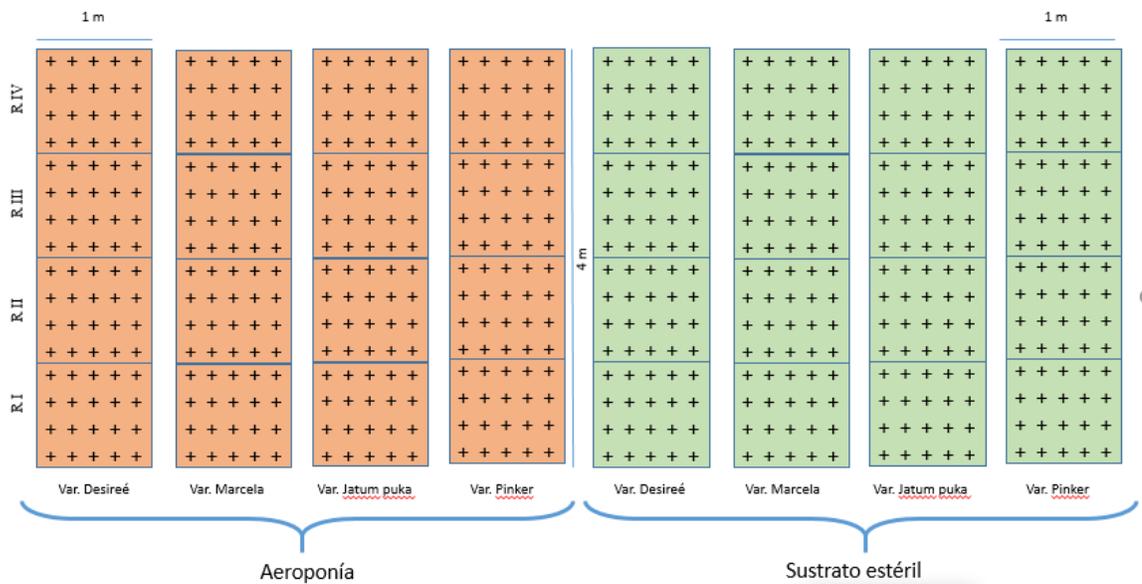
El sistema aeropónico para producir semilla pre básica de papa fue desarrollado inicialmente en Europa (Italia), Asia y en los últimos años en Sudamérica.

2.1. Diseño Experimental

Para llevar adelante la investigación, utilizamos un diseño completamente al azar, para lo cual se construyeron cuatro cajas para aeroponía, teniendo como variables en estudio:

- Altura de planta
- Días a la madurez fisiológica
- Índices de Crecimiento
- Rendimiento total (sustrato estéril y aeroponía)
- Rendimiento por planta
- Número de tubérculos por parcela neta (m²)
- Peso de los tubérculos por escalas en la parcela neta.

Figura 1. Croquis de distribución de unidades experimentales



Dist. p/p = 25 cm
 Dist f/f = 20 cm
 Nº de plantas por unid. Exp. = 20 plantas
 Ancho de cajones = 1 m
 Largo de cajones = 4m
 Nº de plantas/caja = 80
 Total de plantas = 640
 Nº de replicas = 4
 Nº de tratamientos = 8

2.2. Determinación de índices de crecimiento.

Las evaluaciones de los índices biopoductivos se realizaron en distintos momentos durante el ciclo del cultivo a partir de los 30 días de iniciada la aclimatación en invernadero y se determina cada 30 días, en 10 plantas tomadas al azar del área experimental, el número de tallos por planta, el número

de hojas por tallo, la superficie foliar por planta para cada variedad; la masa seca de los diferentes órganos de la planta y el rendimiento por planta, en todos los casos se expresa el resultado como el promedio de una planta.

Para determinar área foliar, parámetro indispensable para el cálculo de los índices biopoductivos se

empleó el software libre imageJ, que nos permite determinar el área foliar, y con él, poder calcular el índice de área foliar del cultivo, dato con el cual se pueden determinar otros índices de crecimiento.

Las determinaciones descritas se aplicaron en ambos sistemas de producción, vale decir, en el sistema que usa sustrato estéril, y en el sistema aeropónico para arribar a los resultados presentados en la presente investigación.

Cuadro 1: Índices de Crecimiento a determinados en el proyecto

Índice de crecimiento	Símbolo	Valor promedio en un intervalo de tiempo (T2 - T1)	Unidades
Área foliar	AF	Software Image J	cm ²
Índice de Área Foliar	IAF	$IAF = \frac{AF}{As}$	Dimensional, según las unidades
Tasa de Crecimiento Relativo	TCR	$TCR = \frac{(\ln w_2 - \ln w_1)}{(T_2 - T_1)}$	g/(g día)
Tasa de Crecimiento del Cultivo	TCC	$TCC = \frac{1}{As} \times \frac{(w_2 - w_1)}{(T_2 - T_1)}$	g/(cm ² día)

AF= Área Foliar; As= Área del suelo; w= Masa seca; T = Tiempo

Tomado de Plant Growth Analysis (Hunt, 1978).

Es importante señalar que para el caso de sustrato estéril se utilizó la misma cantidad de plantas, a objeto de realizar las observaciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como una primera interpretación de la información obtenida en la determinación de los valores medios del área foliar, se puede observar que la tendencia central lineal en el área foliar para plantas desarrolladas en sustrato estéril es mayor al área foliar de plantas desarrolladas en el sistema de aeroponía.

3.1. Área foliar del cultivo de papa.

Los índices de crecimiento estimados para el sistema de aeroponía, muestran que los valores de área foliar (AF) varían entre las cuatro variedades sometidas al ensayo, donde la variedad Jatum Puka (131,6 cm²) mostró el área foliar más alta y Marcela (74,9 cm²) la más baja. Esto indica que, en el sistema de aeroponía, Jatum Puka tiene un mayor desarrollo

foliar, lo que podría traducirse en una mayor capacidad fotosintética.

En el sistema de sustrato sólido utilizado, la variedad Jatum Puka sigue teniendo el área foliar más alta (166,9 cm²), pero Desireé también mejora significativamente (102,6 cm²), superando a Pinker (92,5 cm²) y Marcela (98,8 cm²). En general, se observa un aumento en el AF en todas las variedades cuando se utiliza sustrato estéril en lugar de aeroponía, lo que podría indicar un mejor desarrollo foliar bajo condiciones de sustrato sólido.

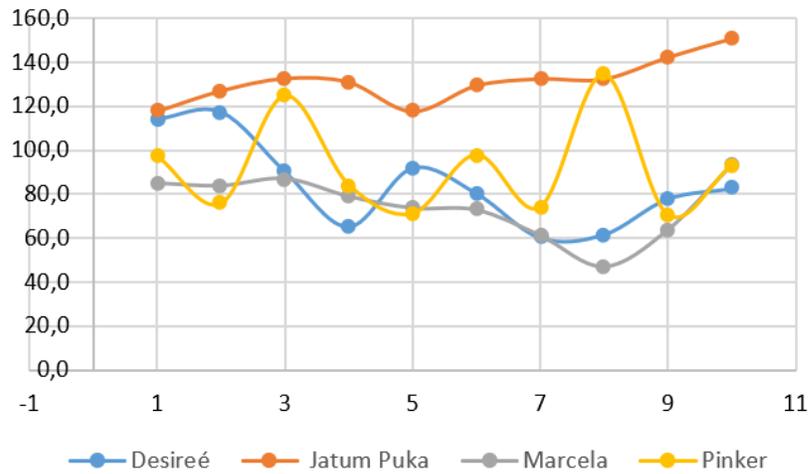
En un estudio de Ritter et al. (2001), que comparó aeroponía e hidroponía en papa, encontraron que los cultivos en aeroponía tienden a desarrollar una mayor área foliar, similar a los valores obtuviste en Jatum Puka. Los resultados indicaron áreas foliares de entre 130 y 160 cm², lo cual está alineado con los resultados para esta variedad.

En sistemas de sustrato sólido, el AF puede ser más alto debido a la mejor retención de agua y estabi-

lidad del entorno radicular, como se refleja en tus resultados, donde el AF en sustrato estéril fue más alto para todas las variedades. Este comportamiento es coherente con estudios de Tovar et al. (2008),

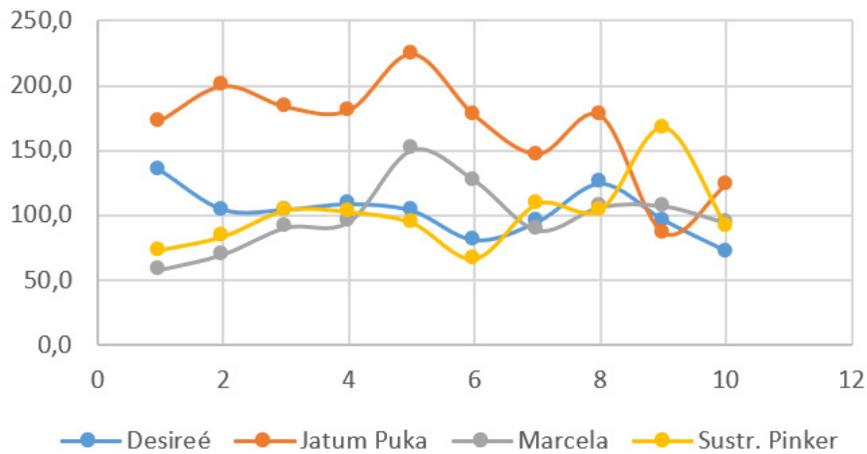
quienes encontraron que las papas cultivadas en sustrato mostraron una mayor expansión foliar debido a una absorción más constante de nutrientes y agua.

Gráfico 1: Área foliar por planta de papa en sistema aerónico



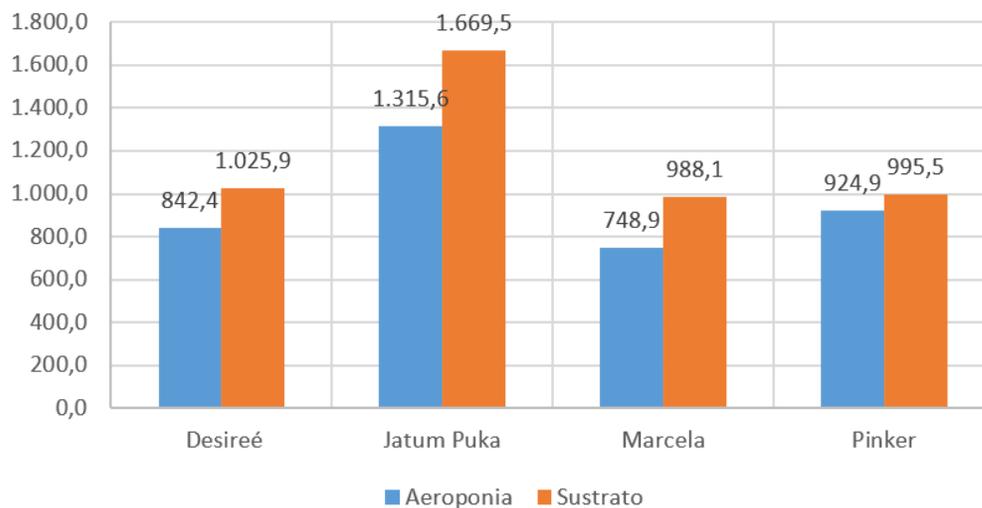
Fuente: Datos del proyecto.

Gráfico 2: Área foliar por planta de papa en sustrato estéril (cm²)



Fuente: Datos del proyecto.

Gráfico 3: Área foliar de papa en aeroponía y sustrato estéril (cm²)



Fuente: Datos del proyecto.

Entre las medidas de dispersión aplicadas a los datos de área foliar determinada para el sistema de aeroponía, en cada una de las variedades objeto de estudio, se analizó la desviación típica o estándar, reflejando que en la variedad Pinker, los datos se aleja de la media $\pm 22,42$ cm² de área foliar, con relación al área promedio de la variedad, lo que se traduce en un coeficiente de variación de 0,24 mostrando que los datos están agrupados entre sí.

Cuadro 2: Medidas de dispersión del área foliar (cm²) de cada variedad en sistema aeropónico

Medida de dispersión	Desireé	Jatum puka	Marcela	Pinker
Media	84,2	131,6	74,9	92,5
Desv. Est.	20,03	9,99	14,08	22,42
C.V.	0,24	0,08	0,19	0,24

Fuente: Datos del proyecto.

Para el análisis de las medidas de dispersión calculadas para el sistema de sustrato estéril, los datos de área foliar determinada por plata en éste sistema, nos muestra que en cada variedades objeto de estudio, la desviación típica o estándar, reflejando

que en la variedad Jatum puka, los datos se alejan de la media $\pm 39,13$ cm² de área foliar, respecto al área promedio de la variedad, lo que se traduce en un coeficiente de variación de 0,23 mostrando agrupación de datos en la variedad.

Cuadro 3: Medidas de dispersión del área foliar de cada variedad en sustrato estéril

Medida de dispersión	Desireé	Jatum puka	Marcela	Pinker
Media	102,6	166,9	98,8	99,6
Desv. Est.	18,51	39,13	26,48	27,59
C.V.	0,18	0,23	0,27	0,28

Fuente: Datos del proyecto.

3.1.1. Índice de área foliar del cultivo de papa

El índice de área foliar (IAF) es una expresión numérica adimensional, es un importante indicador de la capacidad fotosintética de las plantas y permite entender la relación entre acumulación de biomasa y rendimiento bajo condiciones ambientales imperantes del manejo que se aplique al cultivo bajo estudio.

El índice de área foliar en el sistema de aeroponía (Cuadro 4), muestra que las variedades Marcela (786,6) y Pinker (685,1) tienen valores altos de IAF, lo que sugiere que estas variedades tienen una mayor capacidad de cobertura del área disponible, optimizando la captación de luz. La variedad Jatum Puka (437,2) y Desireé (409,3), también en el sistema de aeroponía, tienen índices más bajos, lo que implica que, aunque tienen un área foliar grande, no están cubriendo el espacio de manera tan eficiente como Marcela y Pinker.

En plantas de papa desarrolladas en sustrato estéril, el índice de área foliar para la variedad Jatum Puka sobresale en este sistema con un valor de IAF muy alto (1019,2), lo que refleja una excelente capacidad de cobertura foliar. Pinker (840,8) también muestra un buen IAF en este sistema, mientras que Desireé (372,5) y Marcela (569,8) tienen una menor eficiencia en la cobertura del área de cultivo.

Los estudios de Hack et al. (2017) y Tovar et al. (2008) destacan que el IAF es fundamental para maximizar la intercepción de luz en sistemas hidropónicos, y observaron valores de hasta 9000 en cultivos de papa en sustrato. Esto es similar con el alto IAF de Jatum Puka alcanzado en el proyecto de investigación (1019,2 en sustrato estéril). Lo que refiere que esta variedad es especialmente eficiente en sustrato, reflejando su capacidad de optimizar la captación de luz en este entorno.

3.1.2. Tasa de crecimiento relativo del cultivo

La Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) mide la eficiencia con la que las plantas convierten los recursos disponibles en crecimiento. Un valor más alto de TCR indica un crecimiento más rápido en relación con la biomasa inicial.

La tasa de crecimiento relativo del cultivo (Cuadro 4), determinada en el sistema de Aeroponía para la variedad Desireé (0.0177 día⁻¹) destaca como la variedad con mayor TCR, lo que sugiere que, aunque su área foliar no es la más alta, está creciendo de

manera eficiente. Esto puede indicar una buena adaptación a las condiciones de aeroponía. Jatum Puka (0.0063 día⁻¹), Marcela (0.0016 día⁻¹), y Pinker (0.0029 día⁻¹) tienen TCR menores, lo que indica un crecimiento más lento bajo aeroponía.

Los valores de la tasa de crecimiento relativo del cultivo de papa desarrollado en Sustrato estéril, muestra que la variedad Desireé nuevamente tiene la mayor TCR (0.0433 día⁻¹), destacando como la variedad con mayor eficiencia de crecimiento. Sin embargo, las demás variedades muestran tasas de crecimiento relativo muy bajas, especialmente Jatum Puka (0.0027 día⁻¹), Pinker (0.0020 día⁻¹) y Marcela (0.0014 día⁻¹), lo que podría indicar que estas variedades no se adaptan tan bien al sustrato estéril preparado, en términos de eficiencia de crecimiento.

Estudios realizados por Ritchie et al. (2006), encontraron que la TCR de variedades de papa bajo condiciones de estrés hídrico en sistemas aeropónicos fue significativamente baja, entre 0.002 y 0.008, lo que coincide con los resultados encontrados para Jatum Puka y Marcela en aeroponía. Sin embargo, Desireé en éste estudio destacó con un TCR mucho mayor (0.0177 día⁻¹), lo que podría indicar que esta variedad tiene una mejor adaptación al sistema aeropónico en comparación con otras variedades.

Por otro lado, investigadores como Tovar et al. (2008) encontraron que la TCR en cultivos de papa puede alcanzar valores de hasta 0.05 día⁻¹ en sistemas de sustrato estéril, las variedades que logran una mayor retención de agua y absorción de nutrientes tienden a tener un TCR más alta, lo que explica por qué Desireé también muestra una buena eficiencia en sustrato, sugiriendo que esta variedad es particularmente eficiente en este sistema.

3.1.3. Tasa de crecimiento del cultivo de papa

La Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) mide la acumulación de biomasa total por unidad de área y tiempo. Es un indicador clave del rendimiento productivo del cultivo.

En el proyecto de investigación, la tasa de crecimiento del cultivo determinada para el sistema de Aeroponía (Cuadro 4), reporta que la variedad Jatum Puka (434 g/m²/día) muestra la TCC más alta, lo que indica que acumuló biomasa de manera más eficiente que las otras variedades.

Desireé y Marcela presentaron TCC mucho más bajas, lo que refleja su menor capacidad para acumular biomasa en sistema de manejo aeropónico del cultivo de papa.

La tasa de crecimiento del cultivo calculado para las papas desarrolladas en sustrato estéril, muestra que las variedades Pinker (0.032 g/m²/día) y Desireé (0.029 g/m²/día) tienen las tasas de crecimiento del cultivo más altas, mientras que Marcela (0.005 g/m²/día) y Jatum Puka (0.009 g/m²/día) son consi-

derablemente más bajas. Esto sugiere que Pinker y Desireé tienen un mejor rendimiento bajo condiciones de sustrato estéril.

Comparando los resultados de nuestro estudio con los obtenidos por Hack et al. (2017), quienes encontraron que la TCC en cultivos de papa en aeroponía varía entre 50 y 450 g/m²/día, con las mayores tasas observadas en variedades de crecimiento rápido como 'Kennebec'. Esto es similar a los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde Jatum Puka alcanzó una TCC de 434 en aeroponía, lo que sugiere que esta variedad tiene una tasa de acumulación de biomasa alta en este sistema. En sustrato estéril, la TCC fue mucho más baja, lo que también se ha reportado en estudios previos donde las condiciones de oxigenación en aeroponía favorecen una mayor acumulación de biomasa (Ritter et al., 2001).

Cuadro 4: Índices bioproductivos determinados en sistema aeropónico y sustrato estéril.

Cultivar	AEROPONIA			SUSTRATO		
	IAF	TCR	TCC	IAF	TCR	TCC
Desireé	409,3	0,0177	0,8	372,5	0,0433	2,9
Jatum Puka	437,2	0,063	4,34	1019,2	0,0027	0,09
Marcela	786,6	0,016	0,71	569,8	0,0014	0,05
Pinker	685,1	0,029	1,28	840,8	0,0020	0,32

Fuente: Datos del proyecto.

3.2. Cobertura y longitud de tallos del cultivo de papa en sistema aeropónico

Analizando el comportamiento de las plantas de papa desarrolladas en el sistema aeropónico (Gráfico 4), la variedad Jatum puka se destaca en ambos parámetros, alcanzando una cobertura de 0,30 m² y una longitud de tallo de 1,11 m. Este rendimiento sugiere que Jatum puka se adapta muy bien al sistema aeropónico, maximizando tanto su desarrollo vertical como su capacidad para cubrir el suelo. Esta variedad puede beneficiarse de la alta disponibilidad de nutrientes y agua que el sistema aeropónico proporciona.

Sin embargo, la variedad Desireé presenta una cobertura de 0,21 m² y una longitud de tallo de 0,41 m. Aunque la cobertura es bastante buena, la longitud de tallo es la más baja entre las variedades. Esto podría indicar que Desireé se está enfocando más en el desarrollo de la masa foliar que en el crecimiento vertical, lo que podría ser ventajoso en términos de producción de tuberculillos.

La variedad Pinker, con 0,14 m² de cobertura y 0,62 m de longitud de tallo, presenta un desarrollo más equilibrado en comparación con Desireé. Aunque la cobertura no es la más alta, la longitud de tallo es adecuada, lo que sugiere un crecimiento saludable.

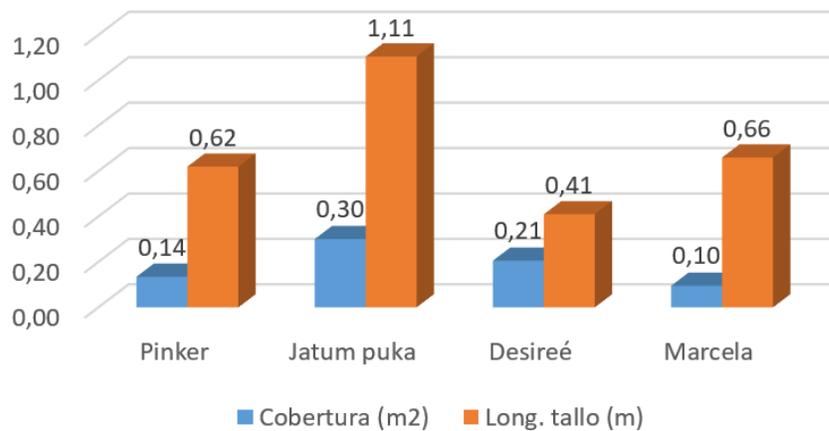
Finalmente, Marcela es la variedad con la menor cobertura, alcanzando solo 0,10 m², aunque su longitud de tallo de 0,66 m es más competitiva. Esto indica que Marcela podría estar experimentando dificultades en la ocupación del suelo, lo que podría limitar su eficiencia en el uso de recursos.

Los estudios sobre cultivos de papa en sistemas aeropónicos indican que las variedades que logran mayor cobertura y crecimiento vertical tienden a tener un rendimiento superior en la producción de tubérculos. Según Zúñiga et al. (2021), las variedades que alcanzan al menos 0,25 m² de cobertura dentro

de las primeras semanas de crecimiento en sistemas aeropónicos muestran un aumento significativo en el rendimiento de tubérculos.

Comparando los datos de las variedades analizadas con la bibliografía, se observa que la variedad Desireé se encuentra dentro del rango óptimo para cobertura, lo que sugiere que es una variedad adecuada para el cultivo. Las variedades Jatun puka y Marcela están al borde de la eficiencia, mientras que Pinker podría requerir ajustes en manejo agronómico para mejorar su cobertura.

Gráfico 4: Cobertura y longitud de tallos de papa en aeroponía



Fuente: Datos del proyecto.

3.3. Cobertura y longitud de tallos del cultivo de papa en sistema de sustrato estéril

La cobertura y la longitud de tallos (Gráfico N° 5), son variables importantes que se utilizan para la determinación de otros parámetros como el Índice de área foliar (IAF), en éste entendido, de acuerdo a la gráfica presentada, se puede inferir que las variedades Pinker, Jatun Puka y Desireé, tiene tallos con longitudes muy cercanas, yendo de 0,74m a 0.6m. En cuanto a cobertura, las variedades Pinker, Jatun Puka y Marcela alcanzan coberturas con un rango de diferencia de 0,05m², siendo el mayor valor registrado en la variedad Desireé cobertura de 0,28 m².

Comparando nuestros resultados con estos hallazgos, Desireé se posiciona favorablemente, mientras que la cobertura de Pinker puede requerir más atención.

Martínez y Torres (2020) examinaron el impacto del cultivo in vitro en el crecimiento de plantas de papa y observaron que las plantas aclimatadas en sustrato estéril presentaron un crecimiento más robusto y una mayor cobertura del suelo. El estudio encontró que las plantas que alcanzaron al menos 0,20 m² de cobertura dentro de las primeras semanas mostraron un desarrollo superior de tuberculillos.

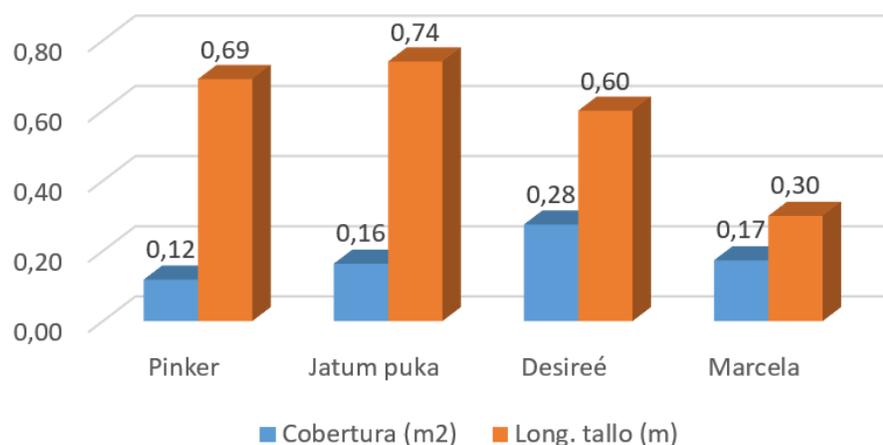
Las coberturas en el rango de 0,2 m² a 0,3 m² son óptimas para la producción de tuberculillos (González et al., 2019).

Por otro lado, López et al. (2021) investigaron el efecto de diferentes sustratos y ambientes controlados en la producción de tuberculillos de papa, determinando que las condiciones controladas, como el uso de casetas antiáfidos, mejoraban significati-

vamente la salud de las plantas y su capacidad para establecer una cobertura adecuada.

Relación con nuestro estudio, Jatum puka (0,74 m) y Pinker (0,69 m) cumplen con esta relación, mostrando que estas variedades podrían ser más resistentes a condiciones adversas, aunque con menor cobertura. La variedad Desireé, aunque tiene una longitud de tallo menor, compensa la variable longitud de brotes con su alta cobertura.

Gráfico 5: Cobertura y longitud de tallos de papa en sustrato estéril



Fuente: Datos del proyecto.

3.4. Número de brotes por planta en sistema aeropónico y sustrato estéril.

Las variedades de papa con las que se trabajó en el proyecto de investigación, sometidas a manejo en aeroponía y en sustrato estéril, mostraron diferencias de amplio rango en cuanto al número de brotes por planta.

El número de brotes generados en cada variedad en el sistema aeropónico, se registró un promedio de 8,1 brotes por planta en la variedad Pinker (Gráfico N° 6), y el menor número de brotes por planta, se obtuvo en la variedad Desireé, con tan solo 3,6 brotes. Sin embargo, en el sistema tradicional que se utiliza en el programa papa, con el sustrato estéril,

la variedad Desireé, contrariamente a lo registrado en el sistema aeropónico, registra una media de 7,2 brotes/planta, y la menor cantidad de brotes/planta se registra en la variedad Pinker con 4,8 brotes, muy similar a la variedad Jatum Puka que registra 4,9 brotes/planta.

Finalmente, la variedad Marcela registra un promedio de 6,6 brotes en el sistema de sustrato estéril, cercano a la variedad Desireé, situación que puede estar relacionada con el rendimiento de cada variedad estudiada en el proyecto de investigación.

Según un estudio por González et al. (2019), el uso de sistemas aeropónicos puede mejorar el desarrollo de brotes en variedades que se adaptan bien a

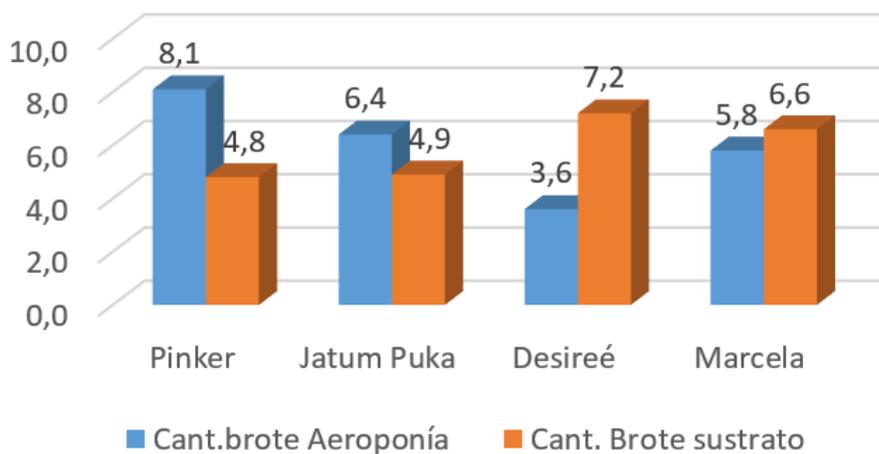
este tipo de cultivo. Esto coincide con los datos obtenidos en el proyecto, donde Pinker demuestra un notable incremento en la producción de brotes en aeroponía.

En un trabajo de investigación realizado por Martínez y Torres (2020), se observa que algunas variedades, como Desireé, pueden mostrar un mejor rendimiento en sustratos que proporcionan un adecuado balance de humedad y nutrientes. Esto expli-

ca el alto número de brotes observados en Desireé en el sistema de sustrato estéril.

Un análisis realizado por Zúñiga et al. (2021), sugiere que la variabilidad en el número de brotes entre diferentes variedades está influenciada tanto por el sistema de cultivo como por las características genéticas de las variedades. Esto se refleja en nuestros resultados, donde se observa un desempeño variado en aeroponía y sustrato estéril.

Gráfico 6: Promedio de brotes por planta



Fuente: Datos del proyecto.

3.5. Rendimiento en N° de tubérculos/m²

En los diferentes estudios realizados, se sugiere que el índice de área foliar tiene estrecha relación con el rendimiento del cultivo, ya sea éste expresado en peso de tuberculillos producidos por planta, o bien por el número de tuberculillos que se obtienen por planta.

En el Gráfico N° 7, presentamos un resumen sobre la cantidad de tuberculillos semilla obtenidas por m², en el cual se puede observar que las variedades de papa sometidas al proceso de prueba, no tienen igual respuesta cada una de ellas. De éste trabajo resaltamos que la variedad Desireé registró la mayor cantidad de tuberculillos por m² con 760 unidades, siendo la variedad que logra una mejor adaptación al manejo en caseta antiáfidos aplicando la técnica

de producción aeropónica, siendo bastante amplio el rango de diferencia de tuberculillos, tomando en cuenta los límites extremos de 760 tuberculillos/m² a 28 tuberculillos/m² registrados en la variedad Jatum Puka. El resto de las variedades como Marcela y Pinker, no mostraron producción expectante de tuberculillos como en el caso de la variedad Desireé.

La bibliografía existente sugiere que, aunque los sistemas aeropónicos pueden ser superiores en ciertos casos, algunas variedades, como Pinker, prefieren las condiciones más tradicionales de un sustrato sólido, lo que proporciona un ambiente más natural para el desarrollo de los tubérculos (González et al., 2019).

Investigadores como Zúñiga et al. (2021), confirmaron que el sistema aeropónico puede aumen-

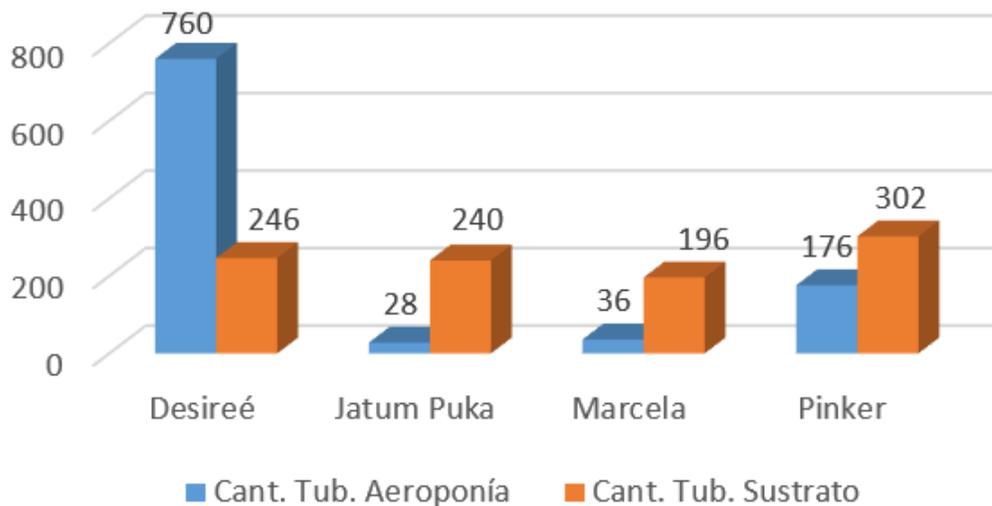
tar el número de tubérculos producidos por metro cuadrado, especialmente en variedades adaptadas, como se observa con Desireé. La alta aireación y la entrega constante de nutrientes en aeroponía permiten una mayor eficiencia en la formación de tubérculos, lo que explica el rendimiento significativamente mayor de esta variedad en este sistema.

Por otro lado, la investigación de Martínez y Torres (2020), destaca que las variedades que no se adaptan bien a sistemas sin suelo, como la aeroponía, pueden tener un rendimiento reducido debido a la incapacidad de desarrollar un sistema radicular efi-

ciente en el aire. Esto explica por qué variedades como Jatum Puka y Marcela tienen un rendimiento mucho menor en aeroponía en comparación con el rendimiento en N° de tubérculos obtenidos en sustrato estéril.

Para el caso de la cantidad de tuberculillos producidos en sistema de sustrato estéril, se puede ver (Gráfico N° 7) que los rangos van desde 302 tuberculillos registrados en la variedad Pinker, hasta 196 tuberculillos/m² obtenidos en la variedad Marcela, siendo éste rango más estrecho que en los tuberculillos producidos en sistema aeropónico.

Gráfico 7: Tuberculillos por m²



Fuente: Datos del proyecto.

3.6. Rendimiento del cultivo de papa en sistema aeropónico y sustrato estéril.

En cuanto a la variable rendimiento, en el Gráfico N° 8, presentamos los pesos de los tuberculillos obtenidos por m² dentro del proyecto.

Si comparamos éste resultado con el Gráfico anterior (Gráfico N° 7) podemos ver que la variedad Desireé registra un peso de 2,1 Kg/m² en el que se contendrían a 760 tuberculillos. Aquí vale aclarar y explicar que los tuberculillos producidos en aeroponía tienen la ventaja de poder definirse el momento

de su cosecha, en relación con el diámetro definido para su extracción. Es así que al estar éstos tuberculillos visible permite poder manejar la variable calibre de tuberculillo, de manera que todos tienen un tamaño similar haciendo más eficiente la producción, alcanzando tres veces más tuberculillos que en el sistema de sustrato estéril, además que la cantidad de plantas es de 20 plantas/m².

La variedad Desireé produjo un alto número de tubérculos en aeroponía (760 tubérculos/m²) en comparación con el sustrato estéril (246 tubérculos/

m²), lo que representa un incremento del 209% en cantidad. Sin embargo, su peso en aeroponía fue inferior al del sustrato (2,1 kg/m² frente a 3,2 kg/m²).

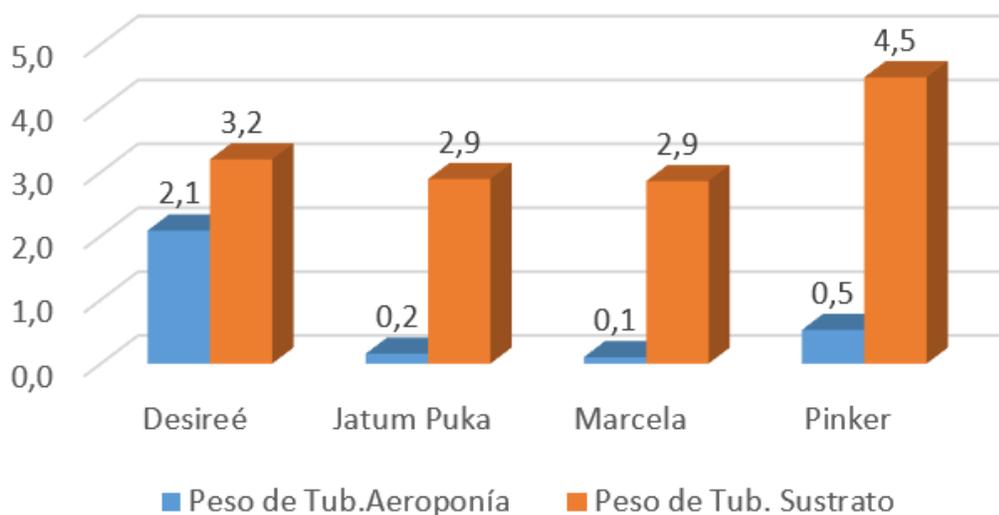
Aunque el sistema aeropónico favorece la producción de un mayor número de mini tubérculos, su tamaño individual es significativamente menor. Esto concuerda con estudios como los de Otazu (2010), donde se observó que la aeroponía favorece el número de tubérculos pero a menudo reduce el tamaño debido a la distribución controlada de nutrientes.

Tanto Jatum Puka como Marcela mostraron un rendimiento muy pobre en aeroponía, con una produc-

ción de solo 28 y 36 tubérculos/m², respectivamente, y pesos aún más bajos (0,2 kg/m² y 0,1 kg/m²).

En el sistema de sustrato estéril, las mismas variedades produjeron alrededor de 240 y 196 tubérculos/m², con un peso de 2,9 kg/m² para ambas. Esto sugiere una baja adaptabilidad de estas variedades al sistema aeropónico. Estudios como los de Mahmoud et al. (2017) refuerzan estos resultados, indicando que algunas variedades requieren un entorno físico más sólido para un desarrollo adecuado de tubérculos.

Gráfico 8: Rendimiento en kg/m²



Fuente: Datos del proyecto.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Hack, H., Naumann, M., Brueck, H., & Dittert, K. (2017). Aeroponic cultivation of potato (*Solanum tuberosum* L.) as a tool for improving nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(1), 36-45. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600189>
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- López, A., Fernández, C., & Rojas, P. (2021). Efecto de ambientes controlados en el crecimiento y producción de tubérculos de papa. *Ciencia y Tecnología Agrícola*, 15(3), 201-215.
- Mahmoud, S. H., Abd El-Rahman, M. A., & El-Desouky, A. M. (2017). Comparison of potato yield in aeroponic and conventional growing systems. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(3), 231-239.

-  Martínez, L. E., & Torres, J. (2020). Efecto del cultivo in vitro en el desarrollo inicial de tubérculos de papa. *Revista de Biotecnología Agrícola*, 22(1), 33-45.
-  Otazu, V. (2010). Manual on quality seed potato production using aeroponics. *International Potato Center (CIP)*, 20-35.
-  Quispe, F. (2018). Bolivia: Centro de origen y diversificación de recursos filogenéticos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista de Agricultura Andina*, 32(1), 45-58.
-  Ritchie, J. T., Basso, B., & Soler, C. (2006). Crop growth and yield models. In J. H. Stewart (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 90, pp. 239-276). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)90006-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)90006-3)
-  Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, C., Reloso, J., & San José, M. C. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44(2), 127-135. <https://doi.org/10.1007/BF02410099>
-  Silva, R. A., & Gómez, A. (2018). Producción y manejo de tuberculillos de papa en condiciones controladas. *Agronomía Tropical*, 12(2), 121-130.
-  Tovar, P., Bryan, J. E., & Barker, W. H. (2008). Influence of temperature and photoperiod on growth and development of potato cultivars grown under hydroponics. *American Journal of Potato Research*, 85(2), 91-104. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9012-x>