

INDICADORES FISIOLÓGICOS EN EL RENDIMIENTO DE NUEVE VARIEDADES DE PAPA (*Solanum spp.*) EN LA COMUNIDAD DE IRPUMA IRPA GRANDE DEL MUNICIPIO DE VIACHA

Physiological indicators in the yield of nine varieties of potato (*Solanum spp.*) in the community of Irpuma Irpa grande in the Municipality of Viacha

Ticona Huanca Osbaldo Ruben¹, Quiroga Sossa Brigido Moises²

RESUMEN

El trabajo determinó el efecto de los indicadores fisiológicos en el rendimiento de 9 variedades de papa (Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum puca, Huaycha y Sacampaya), cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa grande perteneciente al municipio de Viacha del departamento de La Paz Bolivia, ubicada geográficamente: 16°51'23"S 68°17'53"W y con una altitud de 4.145 m s.n.m. Se evaluó altura de la planta, área foliar, tasa de crecimiento absoluta, tasa de crecimiento relativa, tasa de asimilación neta, índice de área foliar y rendimiento. La toma de datos para la altura fue una vez por semana después de la siembra, por otro lado, los indicadores fisiológicos se evaluaron durante la producción de tubérculos en la planta. Se obtuvo una altura de: 38,67; 33,67; 30,67; 30,50; 26,00; 24,11; 24,00; 23,58 y 22,00 cm para Piñu, Chiar Imilla, Jatum Puka, Pala, Huaycha, Chocopito, Ajahuri, Piñu Amarillo y Sacampaya respectivamente. Los rangos encontrados para el área foliar fueron: 169,51-74,35 cm²/planta, la tasa de crecimiento absoluta 0,10 – 1,59 g/día, la tasa de crecimiento relativo 0,011 – 0,004 g/g/día, la tasa de asimilación neta 0,018 – 0,002 g/cm²/día, el índice de área foliar fue: 0,106 – 0,040, los rendimientos fueron: 9,47; 9;79; 13,75; 5,65; 11,26; 7,23; 6,74; 7,46 y 7,24 t/ha para las variedades de Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum Puka, Huaycha y Sacampaya. La planta distribuye los fotoasimilados conforme ésta priorice la producción de uno de sus componentes.

Palabras clave: fotosíntesis, fisiología, papa, área foliar.

ABSTRACT

The work determined the effect of physiological indicators on the yield of 9 potato varieties (Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum puca, Huaycha and Sacampaya), cultivated in the town of Irpuma Irpa Grande belonging to the municipality of Viacha. from the department of La Paz Bolivia, geographically located: 16°51'23"S 68°17'53"W and with an altitude of 4.145 m s.n.m. Plant height, leaf area, absolute growth rate, relative growth rate, net assimilation rate, leaf area index and yield were evaluated. The data collection for height was once a week after sowing, on the other hand the physiological indicators were evaluated during the production of tubers in the plant. A height of: 38,67; 33,67; 30,67; 30,50; 26,00; 24,11; 24,00; 23,58 and 22,00 cm was obtained for Piñu, Chiar Imilla, Jatum Puka, Pala, Huaycha, Chocopito, Ajahuri, Piñu Amarillo and Sacampaya respectively. The ranges found for the leaf area were: 169,51-74,35 cm²/plant, the absolute growth rate 0,10 – 1,59 g/day, the relative growth rate 0,011 – 0,004 g/g/day, the net assimilation rate 0,018 – 0,002 g/cm²/day, the leaf area index was: 0,106 – 0,040, the yields were: 9,47; 9;79; 13,75; 5,65; 11,26; 7,23; 6,74; 7,46 and 7,24 t/ha for the varieties of Ajahuri, Chocopito, Piñu, Yellow Pineapple, Chiar Imilla, Pala, Jatum Puka, Huaycha and Sacampaya. The plant distributes the photoassimilates as it prioritizes the production of one of its components.

Keywords: photosynthesis, physiology, potato, foliar area.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/kpdx3621pp88h>

Recibido: 10/05/2023

Aceptado: 20/06/2023

¹ Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. osbaldoruben@gmail.com

² Docente, Carrera Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. bmquiroya@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

La papa, alimento de alto contenido nutricional, libre de grasa, con valores mínimos de azúcares solubles, en comparación con otras fuentes ricas en almidón, aporta pocas calorías a la dieta (Oliver, 2017). Constituida por aproximadamente 2% de cáscara, 75% a 85% de parénquima vascular de almacenamiento y de 14% a 20% de tejido medular (Prada, 2012).

El crecimiento de las plantas, es el incremento cuantitativo de materia seca, tamaño, masa, forma y peso (Santos et al., 2010). Los índices de crecimiento se consideran indicadores de respuesta, a los diversos factores ajenos al vegetal y cualidades de la semilla, que influyen al desarrollo de órganos propios de la planta, incidiendo en el rendimiento del mismo (Hernández y Soto, 2013). Clavijo, (1989) mencionado por Santos et al. (2010), señala que el análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o una población bajo condiciones ambientales naturales o controladas. El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa que utiliza datos básicos para interpretar el crecimiento de las plantas en diferentes ambientes (Hunt, 1978). El desarrollo de la planta y el rendimiento están determinados por diferentes factores a través del seguimiento de la acumulación de materia seca (Gardner et al., 1985). El crecimiento puede ser evaluado con variables directas como: materia seca, área foliar y medidas indirectas como la tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, índice de área foliar, entre otros.

El área foliar está asociada con los procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos (Cabezas-Gutiérrez et al., 2009). Variable fundamental para los estudios agrícolas y fisiológicos involucrados en el crecimiento vegetal, captación de luz, eficiencia fotosintética, respiración, transpiración, respuesta al riego y a la fertilización (Casierra et al., 2008). El índice de área foliar es el total del área de una cara del tejido fotosintético por la unidad de superficie del terreno (Watson, 1947 citado por Nafarrete, 2017). Otra definición de mayor practicidad enuncia: el índice de área foliar expresa la superficie de las hojas sobre la superficie del suelo (Quispe et al., 1997).

La biomasa seca acumulada de una planta se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, lineal y decreciente, lo que se asemeja a una curva sigmoidea (Di Benedetto y Tognetti, 2016). La pendiente de esta curva es la tasa de crecimiento absoluta y para cualquier instante de tiempo, se define como el incremento de peso en relación al tiempo (Morales y Quiroga, 2022). La tasa de crecimiento relativa, es el incremento de peso en un momento dado (Lallana, 2004). Mediante el peso seco, órganos y el área foliar, en intervalos de tiempo, el análisis de crecimiento explica matemáticamente los índices de eficiencia en el crecimiento, o parámetros fisicotécnicos (Borrego et al., 2000). La tasa de asimilación neta mide la eficiencia fotosintética y determina el incremento de peso por unidad de área foliar en una unidad de tiempo (Gómez et al., 1999 mencionado por Roque, 2016). Es una medida de la eficiencia fotosintética promedio como fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca (Morales et al., 2015).

El desarrollo de la planta en este caso papa, depende de elementos propios y externos; estos elementos son los que determinan la productividad del cultivo y por ende, el impacto positivo o negativo a la economía de familias campesinas dedicadas a la producción de papa, por lo que es necesario conocer un factor determinante como la incidencia de los indicadores fisiológicos sobre el desarrollo de la planta, en una zona representativa como el municipio de Viacha para la región andina de Bolivia. El objetivo fue determinar la incidencia de indicadores fisiológicos sobre el rendimiento de 9 variedades de papa (Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum Puca, Huaycha y Sacampaya), cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa grande perteneciente al municipio de Viacha del departamento de La Paz, Bolivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La comunidad de Irpuma Irpa Grande pertenece al municipio de Viacha del departamento de La Paz (Bolivia); se encuentra ubicada geográficamente: 16°51'23"S 68°17'53"W y con una altitud de 4.145 m s.n.m.

Metodología

Siembra y cosecha

Se utilizó tubérculos de Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum Puca, Huaycha y Sacampaya, en el Centro de Investigación de Irpuma Irpa grande del municipio de Viacha, se cultivó a una distancia entre plantas de: 0,40 m y 0,90 m entre surcos; la siembra se realizó el 3 de diciembre del 2021, y la cosecha el 3 de mayo de 2022.

Variables evaluadas

Para el presente trabajo se evaluó: altura de la planta, área foliar, tasa de crecimiento absoluta, tasa de crecimiento relativa, tasa de asimilación neta, índice de área foliar y rendimiento.

Altura de la planta

Se determinó desde la base de la planta hasta el ápice, dicha variable es expresada en cm. El seguimiento y recolección de datos se realizó una vez por semana.

Área foliar

El proceso para determinar el área foliar fue el secado, mediante la relación área-peso. Para obtener el área de la hoja, se pesa el polígono delimitado de la muestra, posteriormente se realizó la relación matemática, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Área foliar} = \frac{\text{área}}{\text{peso}} \times \text{peso total} \quad (1)$$

Tasa de crecimiento absoluta

La presente variable se midió durante la producción del tubérculo y se determinó mediante la siguiente ecuación (Hunt, 1978 citado por Morales, 2019).

$$TCA = \frac{W_2 - W_1}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Donde: TCA = tasa de crecimiento absoluto (g/día); W1 = peso seco inicial; W2 = peso seco final; t2-t1 = intervalo de tiempo transcurrido entre evaluaciones.

Tasa de crecimiento relativa

Se midió durante la etapa de producción del tubérculo. Para la obtención de datos en la tasa de crecimiento relativa, se recurrió a la siguiente ecuación (Santos et al., 2010).

$$TCR = \frac{\ln W2 - \ln W1}{(t2 - t1)} \quad (3)$$

Donde: TCR = tasa de crecimiento relativa (g/g/día); W1 = peso seco inicial; W2 = peso seco final; t2-t1= intervalo de tiempo transcurrido entre evaluaciones; ln = logaritmo natural.

Tasa de asimilación neta

Así como las anteriores variables, ésta también se evaluó durante la maduración del tubérculo. Hunt (1978) propone la siguiente ecuación para la asimilación neta.

$$TAN = \frac{W2 - W1}{A2 - A1} * \frac{\ln A2 - \ln A1}{t2 - t1} \quad (4)$$

Donde: TAN = tasa de asimilación neta (g/cm²/día); W1 = peso seco inicial; W2 = peso seco final; A1 = área foliar inicial; A2 = área foliar final; t2 - t1 = intervalo de tiempo transcurrido entre una evaluación y otra; ln = logaritmo natural.

Índice de área foliar

Esta variable es dependiente del área foliar y se mide de acuerdo a la ecuación planteada por (Santos et al., 2010).

$$IAF = \frac{Ah}{As} \quad (5)$$

Donde: IAF = índice de área foliar; Ah = área foliar; As = área del suelo.

Rendimiento

El rendimiento se midió después de la maduración del tubérculo, mediante una balanza digital de dos dígitos. Estos datos se expresaron g/planta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Altura de la planta

El incremento de biomasa para las variables estudiadas generan una función polinómica de segundo orden (Figura 1). El desarrollo de cada variedad alcanzó un pico de crecimiento, ordenados de la siguiente forma: 38,67; 33,67; 30,67; 30,50; 26,00; 24,11; 24,00; 23,58 y 22,00 cm para Piñu, Chiar Imilla, Jatum Puka, Pala, Huaycha, Chocopito, Ajahuiri, Piñu Amarillo y Sacampaya respectivamente.

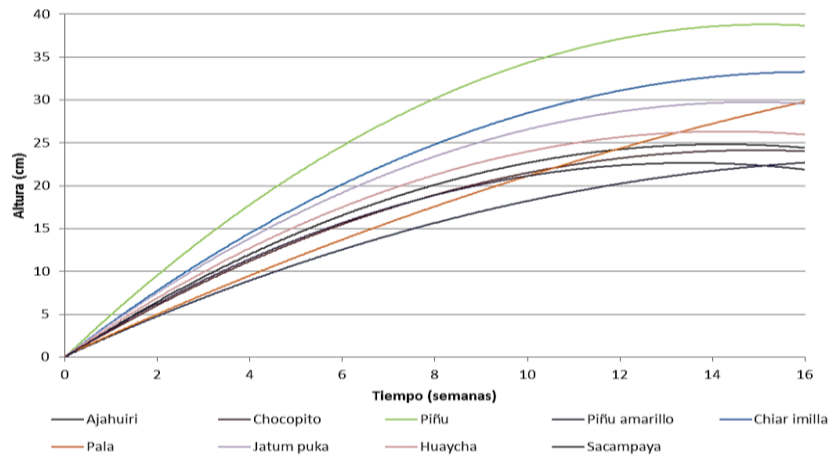


Figura 1. Desarrollo de la altura para 9 variedades de papa en relación al tiempo.

Las variedades estudiadas responden a modelos matemáticos, estos explican la velocidad de crecimiento en relación al tiempo con coeficientes de determinación detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Regresión y coeficientes de determinación en el desarrollo para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa grande del municipio de Viacha.

Variedad	Variable (Y)	Variable (X)	Ecuación de regresión	Coefficiente de determinación
Ajahuiri	Altura	Tiempo	$y = -0,1236x^2 + 3,5065x - 0,0479$	$R^2 = 0,998$
Sacampaya	Altura	Tiempo	$y = -0,124x^2 + 3,3479x + 0,0429$	$R^2 = 0,9935$
Chiar Imilla	Altura	Tiempo	$y = -0,1278x^2 + 4,1213x + 0,0331$	$R^2 = 0,9977$
Chocopito	Altura	Tiempo	$y = -0,108x^2 + 3,2276x + 0,018$	$R^2 = 0,9964$
Huaycha	Altura	Tiempo	$y = -0,129x^2 + 3,6813x + 0,0576$	$R^2 = 0,9954$
Jatum Puka	Altura	Tiempo	$y = -0,1345x^2 + 3,996x + 0,0554$	$R^2 = 0,9948$
Pala	Altura	Tiempo	$y = -0,0406x^2 + 2,5024x + 0,1611$	$R^2 = 0,9773$
Piñu	Altura	Tiempo	$y = -0,1693x^2 + 5,1265x - 0,0116$	$R^2 = 0,9986$
Piñu Amarillo	Altura	Tiempo	$y = -0,0667x^2 + 2,4792x + 0,0809$	$R^2 = 0,9932$

La variación de longitud en relación al tiempo genera velocidades de desarrollo, en tres fases: exponencial, lineal y senescencia (Argüello et al., 2010). El proceso depende de la actividad fisiológica propia de la planta, y es influenciada por las condiciones de campo (Barrera et al., 2010). El proceso de crecimiento comprende de: división, incremento de tamaño y diferenciación esto a nivel celular.

Área foliar

Los resultados correspondientes al área foliar para las variedades de Piñu, Chiar Imilla, Jatum Puka, Pala, Huaycha, Chocopito, Ajahuiri, Piñu Amarillo y Sacampaya fueron: 146,84; 122,20; 169,51; 63,88; 151,09; 74,85; 104,79; 74,35 y 86,78 cm²/planta.

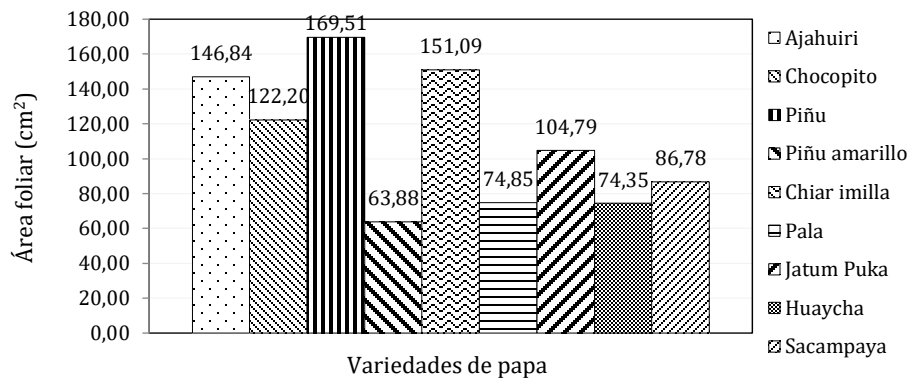


Figura 2. Área foliar para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa Grande del municipio de Viacha.

En una misma especie las diferentes variedades, cultivares o genotipos pueden exhibir diferencias durante la captación de radiación solar y esto depende la estructura espacial de las hojas y el estado fenológico durante su ciclo ontogenético (Boote et al., 2001) citado por (Warnock et al., 2006). Las hojas en la papa no reciben la misma cantidad de luz y la concentración de CO₂ es diferente para cada planta (Jurado y Alvarado, 1977).

Tasa de crecimiento absoluta

Los resultados correspondientes a la tasa de crecimiento absoluta para las 9 variedades estudiadas tienen el siguiente orden: 0,10; 0,11; 0,13; 0,18; 0,27; 0,29; 0,60; 1,11 y 1,59 g/día para Piñu Amarillo, Pala, Jatum Puka, Chocopito, Piñu, Ajahuiri, Huaycha, Sacampaya, Chiar Imilla. El incremento del material vegetal por unidad de tiempo se muestra en la Figura 3.

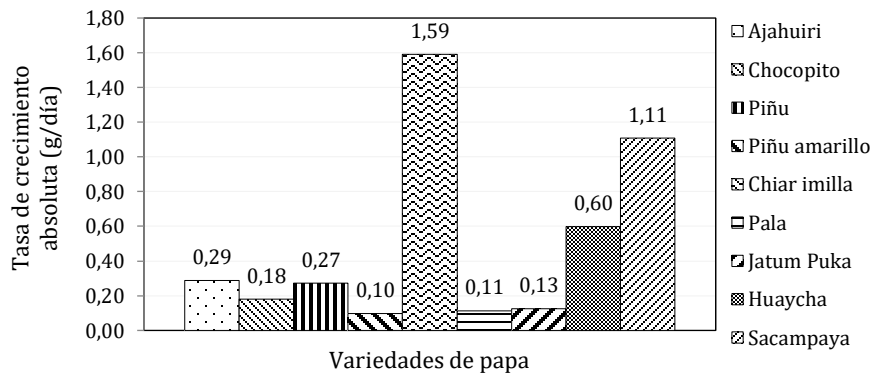


Figura 3. Tasa de crecimiento absoluto para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa Grande del municipio de Viacha.

La ganancia de peso para las plantas tiene efecto en el rendimiento, y determina el carácter morfológico del tubérculo. La planta es influenciada por la disposición hídrica, nutrientes en el área de cultivo y temperatura (Sánchez et al., 2008). Además de ser influenciada por los factores mencionados; la acumulación de la masa vegetal es una cualidad propia y diferenciadora de cada genotipo (Álvaro, 1986 citado por Choque, 2019).

Tasa de crecimiento relativa

La Figura 4 indica la respuesta de las variedades de papas al estudio realizado, destacando la mayor tasa relativa de crecimiento con: 0,011; 0,010; 0,009; 0,007; 0,006; 0,005; 0,005; 0,004 y 0,004 g/g/día para Chiar Imilla, Sacampaya, Huaycha, Ajahuiri, Piñu, Chocopito, Jatum Puka, Pala y Piñu Amarillo.

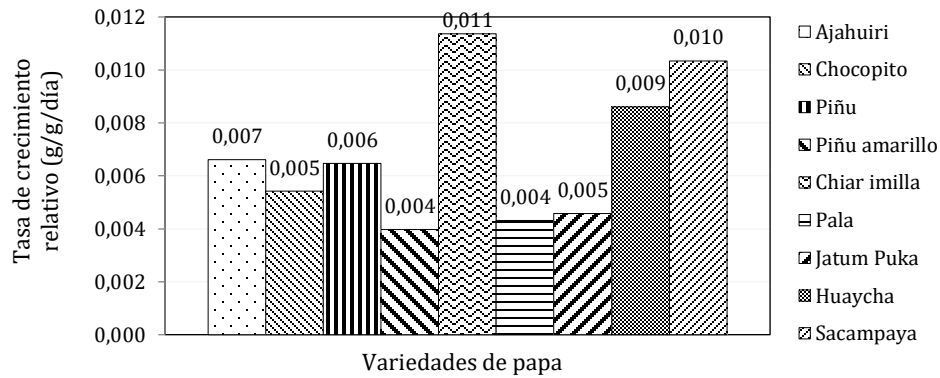


Figura 4. Tasa de crecimiento relativa para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa Grande del municipio de Viacha.

Dada la importancia de la tasa de crecimiento relativo, sobre la eficiencia fotosintética y por ende sobre el rendimiento; los valores registrados son menores comparado al reporte de Moreno et al. (2013) quienes obtuvieron rangos de 0,04 y 0,07 g/g/día y Condori et al. (2008) 0,032 g/g/día. De acuerdo a Di Benedetto y Tognetti (2016), por una baja intensidad de radiación, la inversión en enzimas fotosintéticas no se maximiza las diferencias intrínsecas entre especies, respecto a su capacidad fotosintética no se expresan; por lo que la tasa de crecimiento relativo dentro de una misma especie afecta a la tasa de asimilación neta reduciendo el desarrollo del área foliar.

Tasa de asimilación neta

Los resultados obtenidos para la presente variable son: 0,018; 0,017; 0,011; 0,003; 0,003; 0,002; 0,002; 0,002 y 0,002 g/cm²/día; los valores corresponden a las variedades de Sacampaya, Chiar Imilla, Huaycha, Ajahuiri, Piñu, Chocopito, Pala, Piñu Amarillo y Jatum Puka. Las variedades Sacampaya, Chiar Imilla y Waycha son las que presentan mayor tasa de asimilación neta, en consecuencia, son las que pueden producir mayor cantidad de materia seca. Estos valores se encuentran dentro rangos reportados por otros autores.

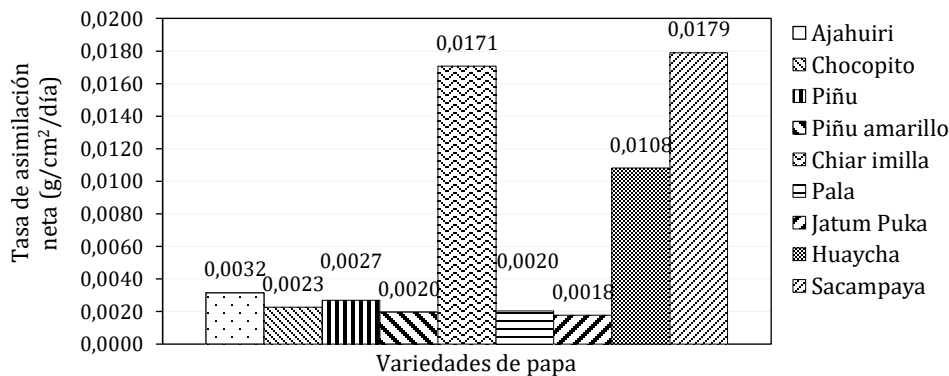


Figura 5. Tasa de asimilación neta para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa Grande del municipio de Viacha.

La tasa de asimilación neta reportada por Condori et al. (2008) obtuvieron rangos de 0,15 y 0,2 g/cm²/día. Para Mora-Aguilar et al. (2006) reporta un rango de la tasa de asimilación neta entre 0,01-0,10 y 0,001-0,017 g/cm²/día. De acuerdo a Aguilar et al. (2000), la fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca es diferente entre cultivos; razón por la cual la tasa de asimilación neta puede incrementar al final del ciclo de cultivo. Gardner et al. (1985) afirma que la tasa de asimilación neta depende de la radiación absorbida

por las hojas jóvenes, ya que poseen una alta tasa de asimilación de CO₂; en contraste, las hojas viejas tienen una baja tasa de asimilación de CO₂ y aportan pocos asimilados. Morales, (2019) reporta 0,31% de materia orgánica y 0,04 % de nitrógeno total para suelos de Irpuma, valores bajos que influyen en la tasa de asimilación neta. Una deficiencia de nitrógeno afecta el contenido de clorofila (Sancllemente, 2007). Taiz y Zieger (1998) un déficit de nitrógeno tiende a disminuir la materia seca, el número de hojas y el área foliar. La tasa de asimilación neta no tiene en cuenta la fotosíntesis no laminar (pecíolos, tallos, vainas e inflorescencias), las cuales pueden contribuir significativamente al rendimiento de los cultivos.

Índice de área foliar

Las siguientes variedades; Piñu, Chiar Imilla, Ajahuri, Chocopito, Jatum Puka, Sacampaya, Pala, Huaycha, Piñu Amarillo poseen como índice: 0,106; 0,094; 0,092; 0,076; 0,065; 0,054; 0,047; 0,046 y 0,040 respectivamente.

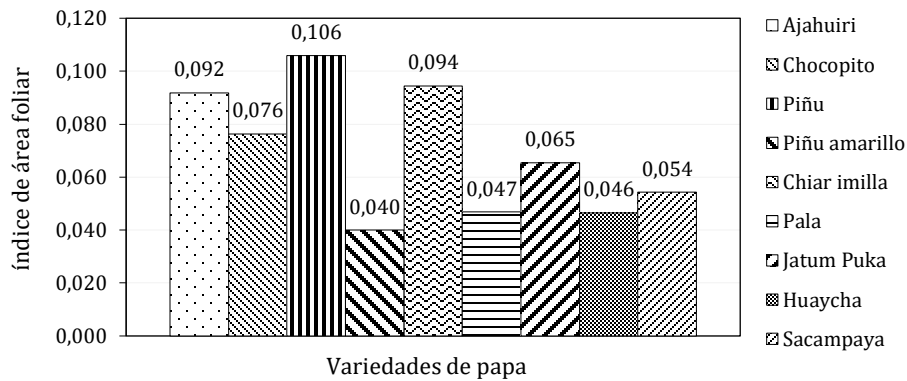


Figura 6. Índice de área foliar para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa grande del municipio de Viacha.

De acuerdo al reporte de Quispe et al. (1997) el área foliar fue 4,5 en la variedad Huaycha, cultivada a 3,450 msnm en la Estación Experimental Toralapa. Para Santos et al. (2010), los rangos obtenidos para papa (*Solanum tuberosum L.*) fueron 1,23 a 2,87. Rodríguez et al. (2003) presentó 2,1 en (*Solanum tuberosum L.*) en la Estación Experimental San Jorge, del departamento de Cundinamarca. Los datos obtenidos, son diferentes a los reportados por los autores mencionados, dicha diferencia se debe a que los datos del presente trabajo fueron tomados en la última etapa fenológica. Posterior a la etapa de tuberización el índice foliar comienza a decrecer hasta alcanzar los valores mínimos (Santos et al., 2010).

Rendimiento

El resultado para las distintas variedades cultivadas en la comunidad Irpuma Irpa grande fueron: 9,47; 9,79; 13,75; 5,65; 11,26; 7,23; 6,74; 7,46 y 7,24 t/ha para las variedades de Ajahuri, Chocopito, Piñu, Piñu Amarillo, Chiar Imilla, Pala, Jatum Puka, Huaycha y Sacampaya.

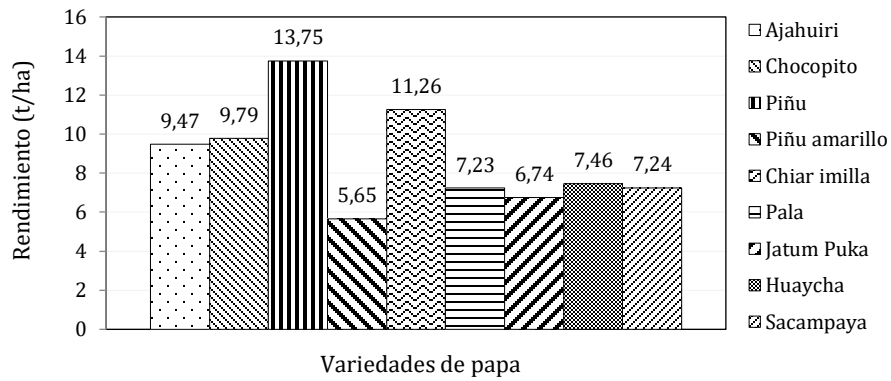


Figura 7. Rendimiento para 9 variedades de papa cultivadas en la localidad de Irpuma Irpa grande del municipio de Viacha.

De acuerdo al reporte de Oliver (2017) quien incorporó tierra negra y fertilizantes a las variedades de Huaycha e Imilla obtuvo rendimientos de 12,79 t/ha y 9,520 t/ha en la Estación Experimental de Cota Cota. El trabajo de investigación realizado por Choque (2019) destaca el rendimiento en las variedades de Sacampaya, Huaycha e Imilla negra con: 7,39; 6,63 y 6,04 t/ha. Por otro lado el trabajo realizado por Orihuela (2018) menciona los siguientes resultados: 1,88 y 3,28 t/ha para las variedades de Chiar Imilla y Ajahuiri.

El rendimiento obtenido, muestra la eficiencia de la planta para la asimilación fotosintética durante la etapa productiva. Jarez y Martín (2012), enuncian que el rendimiento de la papa es dependiente al desarrollo que logre el área foliar, y por consiguiente la cantidad de radiación que las plantas puedan interceptar. En papa, después del inicio de tuberización la tasa fotosintética se incrementa, en dos hasta tres veces, al igual que la proporción de asimilados; la mayoría dirigidos al desarrollo de tubérculos (Santos et al., 2010). A partir de esta etapa, las tasas fotosintéticas varían e incrementan hasta conseguir el máximo y declinan cuando el cultivo alcanza el 60-70% del rendimiento máximo.

Si bien la dependencia del producto de la planta está ligada indiscutiblemente al índice dentro de este, se debe tomar en cuenta la duración y la morfología aérea de la planta; donde es importante evaluar la capacidad de interceptar la radiación a lo largo del tiempo, especialmente en el periodo crítico, donde se define la distribución de los fotoasimilados provenientes de las hojas. Diversos factores como la disminución N_2 en el suelo, estrés hídrico o altas temperaturas acortan el periodo de llenado de los destinos, al afectar la integridad del área foliar fotosintética.

La fotosíntesis impone un límite al crecimiento a la planta y los destinos compiten por una disponibilidad limitada. La distribución de asimilados posee un cambio de conducta cuando desarrolla un nuevo destino, en este caso la tuberización reduce el desarrollo de los anteriores destinos, conforme la planta se desarrolla, muchos órganos se convierten en exportadores de carbohidratos, por otro lado, existen órganos que no pasan nunca a fuente, tal es el caso del tubérculo por lo que se denomina: destino irreversible (Giménez y Beltrano, 2011).

El tallo se convierte en un almacenamiento de fotoasimilados, De acuerdo a Giménez y Beltrano (2011), para el caso de papa un porcentaje del peso final de los tubérculos provienen del material almacenado en el tallo, y este pierde peso rápidamente durante la senectud foliar, y puede proveer desde 20 a 25% del total de materia seca que deposita en el tubérculo, durante ese periodo.

CONCLUSIONES

El análisis de crecimiento permitió detectar las variedades que poseen mayor eficiencia para la generación de biomasa respecto al tiempo en el siguiente orden: 38,67; 33,67; 30,67; 30,50; 26,00; 24,11; 24,00; 23,58 y 22,00 cm para Piñu, Chiar Imilla, Jatum Puka, Pala, Huaycha, Chocopito, Ajahuri, Piñu Amarillo y Sacampaya respectivamente.

La tasa de crecimiento absoluta determina la ganancia de peso y define las propiedades morfológicas de la planta. Esta tasa influye además en el rendimiento debido a la capacidad de absorción de agua, fotoasimilados y nutrientes. Se generó 0,10; 0,11; 0,13; 0,18; 0,27; 0,29; 0,60; 1,11 y 1,59 g/día, para Piñu Amarillo, Pala, Jatum Puka, Chocopito, Piñu, Ajahuri, Huaycha, Sacampaya, Chiar Imilla respectivamente.

El desempeño de la tasa de crecimiento relativa depende de la capacidad fotosintética, disponibilidad hídrica, minerales y factores que alteren el desarrollo de la planta. Se determinó 0,011; 0,010; 0,009; 0,007; 0,006; 0,005; 0,005; 0,004 y 0,004 g/g/día, para Chiar Imilla, Sacampaya, Huaycha, Ajahuri, Piñu, Chocopito, Jatum Puka, Pala y Piñu Amarillo.

La tasa de asimilación neta determinó el trabajo fotosintético y por ende el rendimiento propio de la planta, dado que los fotoasimilados se emplearon en la producción de tubérculos en la última etapa fenológica. 0,018; 0,017; 0,011; 0,003; 0,003; 0,002; 0,002; 0,002 y 0,002 g/cm²/día, son valores para Sacampaya, Chiar Imilla, Huaycha, Ajahuri, Piñu, Chocopito, Pala, Piñu Amarillo y Jatum Puka.

Si bien todos los procesos fisiológicos son dependientes del área foliar; esto no quiere decir que sea la única variable que determine la productividad de una planta, puesto que la actitud de la planta es singular en cada una de ellas, debido al entorno en el que se desarrolla. El rendimiento, es la expresión genética propia de un cultivo a un medio de desarrollo. Por lo que la productividad alcanzada por las diferentes variedades, responden al desarrollo del área foliar logrado por cada planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar Netto, A. D. O., Rodrigues, J. D., & Pinho, S. Z. D. (2000). Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 901-907.
- Argüello, A. D. P. B., Ovalle, A. I., Roncancio, V. J. F., & Cordoba, B. C. (2010). Crecimiento en clavel estándar cv. Nelson, en suelo y en sustratos. *Bragantia*, 69, 1-8.
- Barrera, J., Suárez, D., & Melgarejo, L. M. (2010). II. Análisis de crecimiento en plantas. *Experimentos en fisiología vegetal*. Melgarejo, LM (Ed). *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia, 25-39.
- Borrego, F., Fernández, J. M., López, A., Parga, V. M., Murillo, M., & Carvajal, A. (2000). Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomy Mesoamerican*, 145-149.
- Cabezas-Gutiérrez, M., Peña, F., Duarte, H. W., Colorado, J. F., & Lora Silva, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121-130.
- Casierra, F., Peña, G. R., & Peña, J. E. (2008). Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L. *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) LH Bailey y *Ficus carica* L. *Rev. UDCA Actualidad Científica*, 11(1), 95-102.
- Choque Patty, G. N. (2019). *Evaluación potencial productiva de papas nativas (Solanum spp.) para semilla-tubérculo a partir de brotes en ambiente protegido en dos comunidades del municipio de Tiahuanacu* (Doctoral dissertation).

- Condori, B., Mamani, P., Botello, R., Patiño, F., Devaux, A., & Ledent, J. F. (2008). Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum sp.*), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy*, 28(4), 526-540.
- Choque Patty, G. N. (2019). *Evaluación potencial productiva de papas nativas (Solanum spp.) para semilla-tubérculo a partir de brotes en ambiente protegido en dos comunidades del municipio de Tiahuanacu* (Doctoral dissertation).
- Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Gardner, F. P., Brent Pearce, R., & Mitchel, R. L. (1985). Fijación de Carbono por los cultivos. *Recuperado de http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACIN_DE_CARBONO_P_OR_LOS_CULTIVOS.pdf*.
- Gimenez Daniel & Beltrano Jose (2011). Transporte de sustancias organicas e inorganicas en las plantas. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad Nacional de la Plata.
- Hernández Córdova, N., & Soto Carreño, F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 24-29.
- Hunt, R. (1978). *Plant growth analysis studies on biology*. 96 Edward Arnold Publishers Ltd.
- Jerez Mompies, E., & Martín Martín, R. (2012). Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cultivos tropicales*, 33(4), 53-58.
- Jurado, G. L., & Alvarado, L. F. (1977). Comparación del crecimiento foliar de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum ssp andigena*), en el altiplano de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 7(1 y 2).
- Lallana, L.M. (2004). Unidad temática: Crecimiento. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, Paraná.
- Mora-Aguilar, R., Ortiz-Cereceres, J., Rivera-Peña, A., Mendoza-Castillo, M. C., Colinas-León, M. T., & Lozoya-Saldaña, H. (2006). Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 85-94.
- Morales Alcon, N. V. Dinámica del agua en un suelo arenoso con adición de sábila y penca deshidratadas y su influencia en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris*) en el municipio de Viacha. Tesis de grado. *La Paz. UMSA. Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria*. 2019. 90 p.
- Morales Morales, E. J., Morales-Rosales, E. J., Díaz-López, E., Cruz-Luna, A. J., & Medina-Arias, N. (2015). Tasa de asimilación neta y rendimiento de girasol en función de urea y urea de liberación lenta. *Agrociencia*, 49(2), 163-176.
- Morales, N. V., & Quiroga, M. (2022). Capacidad de retención de agua en un suelo arenoso con adición de hojas de sábila (*Aloe barbadensis Miller*) y pencas de tuna (*Opuntia ficus-indica sp.*) deshidratadas y su influencia en el desarrollo fisiológico de la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*). *CS*, 1(1), 32-40.
- Moreno, Á. P. G., Mogollón, M. P. A. G., López, C. E. Ñ., Villota, T. M. S., & Torres, J. M. C. (2013). Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum subsp. andigena*). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 172-185.
- Nafarrete, J. M. D. (2017). *Estimación directa e indirecta del índice de área foliar (IAF) y su modelación con LiDAR en un bosque tropical seco de Yucatán* (Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán).
- Oliver Cortez, J. C. (2017). Rendimiento de dos variables de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la aplicación de tierra negra y fertilizantes inorgánicos. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2), 56-69.
- Orihuela Nina, E. B. (2018). *Caracterización y evaluación agronomica de papas nativas en la Estacion Experimental de Patacamaya* (Doctoral dissertation).
- Prada Ospina, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa Bogotá, 180-192. *Revista EAN*, (72), 182-192.

- Quispe, C., Devaux, A., Gonzalez, S., Tourneux, C., & Hijmans, R. (1997). Evaluación comparativa del desarrollo y crecimiento de papa, oca e isaño en Cochabamba, Bolivia. *Revista Latinoamericana de la papa*, 9(1), 140-155.
- Roque, M. 2016. Análisis de crecimiento de cuatro hortalizas en sistema de producción orgánico en invernadero urbano-familiar en la ciudad de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Rodríguez, L., Corchuelo, G., & Nústez, C. (2003). Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L. cv. Parda pastusa) bajo dos ambientes contrastantes. *Agronomía Colombiana*, 21(3), 210-219.
- Sánchez-Bernal, E., Ortega-Escobar, M., González-Hernández, V., Camacho-Escobar, M., & Kohashi-Shibata, J. (2008). Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. *Interciencia*, 33(9), 643-650.
- Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., & Nústez López, C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5253-5266.
- Taiz, L., & Zieger, E. (1998). *Plant Physiology*. Estados Unidos: Sinauer Associates.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P., & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de papa¹. *Agronomía tropical*, 56(1), 21-42.