

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE DOS VARIEDADES DE PAPA CRIOLLA BAJO DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN

Carlos A. Latorre-Araque¹, Enrique Quevedo-García² y Ana Francisca González²

RESUMEN

Colombia es uno de los mayores productores, consumidores y exportadores de papas diploides. Se evaluó el efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización sobre el crecimiento de papa Criolla Colombia y Ocarina. La semilla agronómica se plantó en surcos a 0,5 cm de profundidad y 0,3 m x 1,0 m de distancia (33.333 plantas·ha⁻¹). Los tratamientos fueron la combinación de variedad y fertilizante [15-15-15 (FQA); urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, previo análisis de suelo (FQ); fertilizante orgánico mineral (FOM) y la mezcla de 50 % de los fertilizantes individuales]. Se realizó un muestreo de tres plantas por tratamiento en cada fase fenológica para determinar: desarrollo fenológico (DF), área foliar (AF), peso foliar específico (PFE) y las tasas: asimilación neta (TAN), relativa de crecimiento (TRC) y crecimiento del cultivo (TCC). Se usó un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas y arreglo factorial 2x7, de cuatro repeticiones y 60 m² como unidad experimental, y tres plantas como parcela efectiva. La fertilización sólo afectó DF y AF, con la mayor AF para FQA (115 días después de siembras). TAN, TRC y TCC fue mayor para la variedad Colombia. La reducción de TAN y TRC (110 a 115 dds) coincidió con la floración, y el incremento de TCC y AF (115 dds) con la tuberización. La fertilización sólo afectó el DF y el AF, indistintamente de la variedad. FQA+FQ favoreció el mayor DF y FQA la mayor AF. La variedad Criolla Colombia fue precoz y destacó en crecimiento.

Palabras clave adicionales: Fenología, fertilizantes orgánicos, nutrición mineral, *Solanum phureja*

ABSTRACT

Growth analysis of two creole potato varieties subjected to fertilization.

Colombia is one of the largest producers, consumers, and exporters of diploid potatoes. We evaluated the effect of different sources and doses of fertilization on the growth of potato Criolla Colombia and Ocarina. The seed was planted in furrows 0.5 cm deep and 0.30 m x 1.00 m away (33,333 plants·ha⁻¹). Treatments were the combination of variety and fertilizer [15-15-15 (FQA); urea, diamonic phosphate and potassium chloride, after soil analysis (FQ); organic mineral fertilizer (FOM) and the mixture of 50 % of individual fertilizers]. Sampling of three plants per treatment was performed in each phenological phase to determine: phenological development (PD), leaf area (LA), leaf specific weight (LSW), and rates: net assimilation (NAR), relative growth (RGR) and crop growth (CGR). The design was a 2x7 factorial arrangement of random complete blocks with repeated measurements, four replications, and 60 m² as an experimental unit, with three plants as the effective plot. Fertilization only affected PD and LA, with the highest LA for FQA (115 days after sowing – das). NAR, RGR, and CGR were higher for the Colombia variety. The reduction of NAR and RGR (110 to 115 das) coincided with flowering, and the increase of CGR and LA (115 das) with tuberization. Fertilization only affected PD and LA, regardless of the variety. FQA + FQ favored the greater PD and FQA the greater LA. The Colombia variety was early and stood out on growth.

Additional keywords: Mineral nutrition, organic fertilizers, phenology, *Solanum phureja*

INTRODUCCIÓN

La papa es el tercer cultivo más importante del mundo después del arroz y el trigo. Los principales países productores son China, India, Ucrania, Rusia y Estados Unidos (Vélez, 2021). Sin embargo, Colombia es uno de los mayores productores, consumidores y exportadores de papas diploides (Colombia, 2022), dada su adaptación edafoclimática y la aceptación del

consumidor nacional (Vélez, 2021). En Colombia el área cosechada de papa en el año 2018, fue cercana a 135 mil hectáreas con una producción ligeramente superior a 3 millones de toneladas, con lo que ocupó el segundo lugar del total del grupo tubérculos y papas (DANE, 2018) con el 27,2 %.

Entre los factores que limitan el rendimiento de los cultivos se encuentra la fertilización (Muleta y

Recibido: Mayo 9, 2023

Aceptado: Marzo 22, 2023

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
e-mail: carlos.latorre@unipamplona.edu.co (autor de correspondencia)

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
e-mail: enriquegarcia@unipamplona.edu.co; ana.gonzalez2@unipamplona.edu.co

Aga, 2019), la cual busca suplir los nutrientes extraídos en cada ciclo productivo, con el objetivo de mantener la fertilidad de los suelos (Reetz, 2017), puesto que esta práctica genera la adición al suelo de los diferentes elementos mediante la incorporación de residuos, por enmiendas orgánicas o por fertilizantes (Saavedra et al., 2017).

La gestión eficaz de los nutrientes es fundamental para la producción de papa, porque el rendimiento y la calidad de los tubérculos se ven afectados, directamente, por la cantidad y el momento de aplicación de los éstos. Es una práctica de mucha importancia en la producción de papa, porque mediante ésta se le suministra a la planta los nutrimentos que no le aporta el suelo. A su vez, la papa exige un alto nivel de nutrientes del suelo, en relación con el rendimiento, debido a un sistema radicular relativamente poco desarrollado y profundo (Muleta y Aga, 2019).

En el municipio Pamplona una de las limitaciones en el manejo agronómico del cultivo de papa criolla, es el uso excesivo de fertilizantes químicos, sin el debido análisis previo de los elementos minerales presentes en el suelo; así como el desconocimiento de los niveles críticos de extracción de la especie, situación que incide en los altos costos de producción, la contaminación del medio ambiente y el deterioro de suelos.

También, destaca la escasa información científica de la especie en condiciones de la montaña Santandereana, en relación con el efecto de la fertilización sobre el crecimiento de la planta. El análisis de crecimiento es útil para la comparación del comportamiento de variedades y es definido como el incremento irreversible en las dimensiones de la planta. Los aumentos de volumen (tamaño) a menudo se cuantifican en forma aproximada midiendo la expansión en una o dos direcciones, como longitud (altura del tallo), diámetro (de una rama, tronco) o área (de una hoja); mediciones que pueden ser no destructivas, de modo que es posible medir varias veces la misma planta (Di Benedetto y Tognetti, 2016). De igual manera, puede ser cuantificado con el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas (Hunt, 2003).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como: peso seco (W), área

foliar total (AF), tiempo (T); y medidas derivadas como: la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa de asimilación neta (TAN), calculadas a partir de las medidas directas (Hunt, 2003).

El crecimiento puede estar influenciado por las prácticas agronómicas, como la fertilización, caracterizada por el suministro de elementos minerales esenciales para completar el ciclo vital del cultivo. No obstante, las investigaciones realizadas en Colombia, han estado dirigidas al efecto de la fertilización o de alternativas de esta práctica y la densidad de siembra, sobre el rendimiento de la papa criolla (Núñez y Rodríguez, 2020), con muy pocos estudios sobre el crecimiento de la planta.

En este sentido, se consideró evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral sobre el crecimiento de dos variedades de papa criolla *Solanum phureja* Juz. et Buk, en el municipio Pamplona, Norte de Santander.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la finca Altamira, sector La Lejía, vereda Fontibón del municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia (7°19'15" N, 72°37'10" W, 2.700 msnm.). Los suelos se caracterizan por ser planos con buen drenaje y pertenecen al orden Inceptisol (IGAC, 2006), cuyas condiciones químicas se describen en el Cuadro 1.

Para evaluar el efecto de la fertilización orgánica mineral sobre el crecimiento de la planta de papa (*S. phureja*), se utilizaron las semillas de la variedad Criolla Colombia y Criolla Ocarina, suministradas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2011; Núñez y Rodríguez, 2020) cuyas características más resaltantes se describen en el Cuadro 2.

El terreno se preparó empleando un motocultor. La siembra se realizó a una profundidad de 0,5 cm, en surcos de 10 m, con una distancia de 0,30 m entre plantas y 1,00 m entre hileras, para una densidad de 33.333 plantas·ha⁻¹. Se realizó la aplicación de carbonato de calcio al suelo, a razón de 4,4 t·ha⁻¹ como neutralizante de la acidez (pH: 4,8). Los fertilizantes se aplicaron por planta durante la siembra. El manejo agronómico propio del cultivo

como control de malezas, control fitosanitario y aporque se llevaron a cabo según lo recomendado

para el cultivo comercial de papa en Norte de Santander, Colombia (ICA, 2011).

Cuadro 1. Descripción de las condiciones químicas del suelo, vereda Fontibón del municipio Pamplona. Norte de Santander, Colombia

P	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	pH	MO	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na
mg·kg ⁻¹								%	cmol (+) kg ⁻¹					
31,52	9,70	1.004	<1,00	5,66	3,44	0,50	4,80	9,28	4,27	3,61	2,18	0,47	0,62	<0,41

*Laboratorios de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cuadro 2. Descripción de las características en las variedades de papa diploide Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53)

Variable	Criolla Colombia	Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53)
Parentales	Desconocidos****	Criolla Galeras x Criolla Guaneña***
Hábito de crecimiento	Erecto****	Semi erecto*****
Color del follaje	Verde claro****	
Color de la flor	Lila oscuro****	Rosado intermedio*****
Forma del tubérculo	Redonda****	Redonda***
Profundidad de ojos	Semiprofundos*****	Superficiales***
Color primario de la cáscara	Amarillo intenso****	Amarillo***
Color primario de la pulpa	Amarillo intenso****	Amarillo intenso***
Periodo vegetativo (días)	120****	120 a 130***
Maduración (días)	Temprana (120-125)****	
Adaptación (msnm)	Entre 2.100 y 3.200**	Entre 2.500 y 3.200*
Tizón tardío o gota de la papa (<i>Phytophthora infestans</i>)	Susceptible****	Moderadamente resistente***

*Reporte de registro de cultivar (GIP, 2020), ** (Ñústez, 2011), *** (Ñústez y Rodríguez, 2020), **** (Zapata et al., 2006), ***** (Porras y Herrera, 2015).

La definición de las dosis de fertilizantes se realizó con base en los resultados del análisis de suelo siguiendo la metodología descrita por Castro (1997), así como los requerimientos nutricionales de la papa para el mayor nivel de productividad señalado por Guerrero (1982). Los fertilizantes fueron: T1 – la fertilización química que usualmente utiliza el agricultor y consistió en la aplicación de 1.466,65 kg·ha⁻¹ (15-15-15); T2 – la fertilización química, previo análisis de suelo, fue la aplicación de 733,33 kg·ha⁻¹ de urea (46-0-0), 126,67 kg·ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0) y 320 kg·ha⁻¹ de cloruro de potasio (0-0-60); T3 – la fertilización orgánico mineral (Aboniza), fue la aplicación de 4.566,62 kg·ha⁻¹ de un fertilizante orgánico, elaborado a partir de gallinaza pura, con contenido de nitrógeno (1,5 %), fósforo (P₂O₅) (3,9 %), potasio (K₂O) (3,0 %), carbono orgánico

(24,0 %), cenizas (27,0 %) y relación C/N (15,0). La mezcla de fertilización química y orgánico mineral (del T4 al T6) se correspondió con la aplicación de 50 % de las cantidades de los fertilizantes individuales, considerando que cuando el productor utiliza abono orgánico disminuye la cantidad de fertilizante químico. El tratamiento testigo (T0) no recibió ningún tipo de fertilizante (Cuadro 3).

El muestreo se realizó en cada fase fenológica de *S. phureja* según la escala propuesta por Hack et al. (1993), que corresponde a 0,0-0,9 (brotación–germinación), 1,0-1,9 (desarrollo de hojas), 2,0-2,9 (formación de brotes laterales), 3,0-3,9 (elongación brotes principales), 4,0-4,9 (formación de tubérculo), 5,0-5,9 (aparición de órgano floral), 6,0-6,9 (floración), 7,0-7,9 (desarrollo del fruto), 8,1-8,9 (maduración de

frutos y semillas), 9.0-9,9 (senescencia). El crecimiento vegetativo ocurre a los 40 y 55 dds, floración 70 y 85 dds, fructificación 100 dds, madurez y senescencia 115 dds. Para ello, se realizó un muestreo de tres plantas por tratamiento en los surcos centrales de la parcela experimental.

Las variables medidas fueron masa seca total que incluyó hojas (tallos y estolones), tubérculos, flores y frutos, mediante la medición directa en balanza electrónica de precisión 0,1 g, después de someter las plantas en estufa, a 70 °C, hasta peso constante.

Cuadro 3. Cantidad de nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), suministrados por los fertilizantes evaluados, Pamplona. Norte de Santander, Colombia

Descripción	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg·ha ⁻¹		
T0 Testigo	-	-	-
T1 Fertilización química del agricultor	131,0	154,0	154,0
T2 Fertilización química	202,5	58,6	192,2
T3 Fertilización orgánica mineral	100,0	180,0	127,0
T4 Fertilización química del agricultor (50 %) + Fertilización orgánica mineral (50 %)	115,5	167,0	140,5
T5 Fertilización química del agricultor (50 %) + Fertilización química (50 %)	167,0	106,0	173,0
T6 Fertilización orgánica mineral (50 %) + Fertilización química (50 %)	151,0	167,0	160,0

T0: testigo; T1: fertilización química del agricultor (FQA); T2: fertilización química (FQ); T3: fertilización orgánica mineral (FOM); T4: 50 % FQA + 50 % FOM; T5: 50 % FQA + 50 % FQ; T6: 50 % FOM + 50 % FQ.

El área foliar se determinó en las hojas del tallo principal de tres plantas por parcela, incluyendo hojas extendidas (adultas), del tercio medio y juveniles. Utilizando un dispositivo móvil (iPhone 12 Pro Max) se tomaron imágenes a 50 cm de altura, perpendicular al plano de cada tipo de hoja, para luego calcular el área foliar, mediante el programa ImageJ (González, 2018). El peso foliar específico (PFE), $PFE = (WF/AF)$, donde: WF, es la biomasa seca foliar y AF, es el área foliar.

Los datos promedio registrados en cada muestreo, tanto de la cantidad de biomasa como de la magnitud del área foliar, fueron empleados en el análisis de crecimiento funcional, para calcular los siguientes índices de eficiencia:

La tasa de asimilación neta (TAN), $TAN = [(P_{s2} - P_{s1}) / (AF_2 - AF_1)] * [(Ln AF_2 - Ln AF_1) / (t_2 - t_1)]$, donde: Ln AF₂, es el logaritmo natural del área foliar dos, Ln AF₁, es el logaritmo natural del área foliar uno, P₂, es la biomasa seca dos, P₁, es la biomasa seca uno, AF₂, es el área foliar dos, AF₁, es el área foliar uno, t₂, es el tiempo dos, t₁, es el tiempo uno (Hunt, 2003).

La tasa relativa de crecimiento (TRC), $TRC = [(Ln P_2 - Ln P_1) / (t_2 - t_1)]$, donde Ln P₂ y Ln P₁, representan el logaritmo natural de la cantidad de biomasa final e inicial, de la planta completa u

otros órganos individuales en un intervalo de tiempo, y t₂ y t₁ el momento final e inicial de tal periodo.

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), se calculó mediante la ecuación de Howlader y Hoque (2018), $TCC = [(1/As) * (dW/dt)]$, donde: W, es la biomasa seca total; t, es el tiempo y As, es el área de suelo.

El diseño experimental fue un arreglo factorial 2x7 en un diseño experimental de bloques completos al azar, con 4 repeticiones o bloques. Los factores intersujeto fueron: fertilizantes y variedad de papa, y el factor intrasujeto, el tiempo (días después de la siembra, cuyos niveles varían de acuerdo a la variable respuesta. En medidas repetidas se evaluó el efecto intrasujeto, en este caso el tiempo de medición y sus interacciones, y los efectos intersujeto, formados por los factores fertilización, variedad y su interacción. Los bloques y las parcelas se distribuyeron en el terreno en el sentido perpendicular a la dirección de la pendiente. La unidad experimental estuvo constituida por un área de 60 m² (10 metros de largo y 6 metros de ancho) con tres plantas como parcela efectiva y 0,50 m entre parcelas como bordes externos.

Previo al análisis de los datos, se verificaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks y heterocedasticidad con la prueba de Levene. En aquellas variables donde no hubo normalidad, se utilizó una transformación logarítmica. Se verificó la esfericidad con la prueba de Mauchly antes de realizar el ANOVA correspondiente a cada variable y donde no hubo esfericidad, se utilizó el criterio de ajuste de los grados de libertad de Huynh-Feldt. El efecto intrasujeto, fue el tiempo de medición y sus interacciones, y los efectos intersujeto, la fertilización, la variedad y su interacción. Cuando el ANOVA mostró un efecto intersujeto significativo, se utilizó la prueba de Tukey y para los efectos intrasujeto, la prueba de Bonferroni. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS, v 24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo fenológico se encontró un efecto altamente significativo ($P \leq 0,001$) del fertilizante, variedad y la interacción variedad por tiempo (Cuadro 4). Para el área foliar (AF) se observó un efecto significativo ($P \leq 0,05$) del fertilizante y altamente significativo ($P \leq 0,001$) para tiempo y la interacción fertilizante por tiempo, lo que indicó que hubo respuesta a la fertilización en el tiempo. El peso foliar específico (PFE) sólo presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) por efecto del tiempo, no así para fertilizante y variedad. La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) registró diferencias altamente significativas ($P \leq 0,001$) por efecto de la variedad y el tiempo, pero no por su interacción, indicando que estos factores actuaron de forma independiente. La tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa relativa de crecimiento (TRC) presentaron diferencias significativas por efecto de la variedad ($P \leq 0,05$) y el tiempo ($P \leq 0,001$), mientras que la interacción variedad por tiempo tuvo efecto significativo ($P \leq 0,05$) sobre la TAN y altamente significativo ($P \leq 0,001$) para TRC, indicando que hubo una respuesta diferente en estos dos índices por efecto de la variedad en el tiempo.

Se observaron cambios en la fenología por efecto de la variedad. En la variedad Colombia el periodo de crecimiento vegetativo fue de 40 a 50

días; formación de brotes laterales a los 70 dds; floración a los 85 dds; fructificación a los 110 dds y madurez y senescencia a los 115 dds. De esta manera a los 115 dds la planta de la variedad Colombia aún estaba en crecimiento. En relación con la variedad Ocarina al igual que Colombia, alcanzó la madurez y senescencia a los 115 dds; sin embargo, se observó diferencia en el tiempo necesario para alcanzar las fases fenológicas previas a la floración; Ocarina alcanzó la formación de tubérculos después de los 110 dds, mientras que Colombia entre 85 y 110 dds. El crecimiento en la variedad Colombia fue precoz en comparación con Ocarina (Figura 1A).

La Figura 1B, presenta el DF de las plantas sometidas a las diferentes fuentes y dosis de fertilización, indistintamente de la variedad, observándose un comportamiento similar en el DF con la fertilización durante la evaluación. El mayor DF (desarrollo fenológico) de las plantas se alcanzó con la FQA + FQ.

El AF de las plantas que no recibieron ningún tipo de fertilización (T0; testigo) creció menos que las plantas fertilizadas en comparación con el T1 (Cuadro 5). La mayor AF se observó en el tratamiento de fertilización química del agricultor (FQA) y FQA + fertilización química (FQ), mientras que el menor valor se registró en el tratamiento de la combinación fertilización orgánica mineral (FOM), seguido de FOM + FQ (Cuadro 5).

El municipio de Pamplona se encuentra ubicado sobre la Cordillera Oriental de los Andes, con características de altas precipitaciones y abundante vegetación que favorecen el desarrollo de suelos ácidos (Valenzuela y Visconti, 2018). El suelo de la zona de estudio presentó pH bajo (4,8) (Cuadro 1), aun cuando se realizó la neutralización de la acidez del suelo, esta condición pudo haber limitado la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Rosas et al., 2017) y la concentración en los tejidos (Quinteiro et al., 2013), afectando el desarrollo de las plantas (Baligar et al., 2001). Las fuentes de fertilizantes con mayor aporte de nitrógeno disminuyeron las restricciones para un buen suministro de nutrientes a las plantas. Esto afectó de forma positiva el comportamiento del AF de los tratamientos evaluados (Cuadro 5; Figura 2), asociado posiblemente al mayor aporte de nitrógeno y la combinación de la FQA con la FOM en

comparación con los demás tratamientos; altas concentraciones de nitrógeno favorecen el desarrollo del dosel, sin embargo, alargan el ciclo del cultivo y afectan la tuberización en papa (Flores et al., 2020). Alvarado et al. (2023) observaron mayor expansión foliar en papa (*S. tuberosum*) con los tratamientos de fertilización convencional y mineral donde las plantas obtuvieron mayor tamaño de la hoja.

El AF registrada en la presente investigación (Cuadro 5) se vio favorecida por la fertilización con un incremento progresivo para todos los tratamientos hasta los 115 dds (Figura 2). La mayor AF se observó con la FQA a los 115 dds, con 7.556,15 cm² (Figuras 1A; 2). La tendencia del AF en las plantas tratadas con los diferentes fertilizantes mostró un incremento a medida que transcurrió el tiempo de la evaluación (Figura 2).

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza de los datos de desarrollo fenológico (DF), área foliar (AF), peso foliar específico (PFE), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa relativa de crecimiento (TRC) en variedades de papa (*Solanum phureja*) de las variedades Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53), según la fase fenológica, tratadas con diferentes fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral, en el municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Fuente de variación	gl	Cuadrados Medios (CM)				gl	Cuadrados Medios (CM)	
		DF	AF (cm ²)	PFE (g·cm ⁻²)	TCC (g·m ⁻² ·d ⁻¹)		TAN (g·cm ⁻² ·d ⁻¹)	TRC (g·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
Fertilizante (F)	6	0,978**	2,32x10 ⁷ *	0,032 ns	0,000 ns	6	0,000 ns	0,006 ns
Variedad (V)	1	57,420**	7,56x10 ⁶ ns	0,002 ns	0,005**	1	0,000*	0,118*
FxV	6	0,606	2,93x10 ⁶ ns	0,033 ns	0,001 ns	6	5,79x10 ⁻⁵ ns	0,008 ns
Bloque (B)	3	0,782	6,11x10 ⁶ ns	0,020 ns	0,000 ns	3	4,82x10 ⁻⁵ ns	0,004 ns
Error inter sujeto	39	0,423	1,86x10 ⁶ ns	0,022 ns	0,001 ns	39	7,71x10 ⁻⁵ ns	0,005 ns
Tiempo (T)	5	284,983**	2,17x10 ⁸ **	0,398*	0,028**	4	0,001**	0,415**
TxF	30	0,432**	9,40x10 ⁶ **	0,096 ns	0,001 ns	24	8,76x10 ⁻⁵ ns	0,010 ns
TxV	5	4,162**	1,47x10 ⁶ ns	0,010 ns	0,014 ns	4	0,000*	0,203**
TxFxV	30	0,277	3,73x10 ⁶ ns	0,122 ns	0,001 ns	24	9,86x10 ⁻⁵ ns	0,014 ns
TxB	15	0,335	4,26x10 ⁶ ns	0,074 ns	0,000 ns	12	6,45x10 ⁻⁵ ns	0,025 ns
Error Intra sujeto	195	0,208	3,98x10 ⁶ ns	0,080 ns	0,001 ns	156	0,000 ns	0,016 ns
Total	335					279		
CV (%)			110,77	554,86	139,53		593,32	230,10

gl: grados de libertad, *Diferencias significativas ($P \leq 0,05$), **altamente significativas ($P \leq 0,001$), ns: no significativo. Análisis de la varianza de medidas repetidas, usando el ajuste de los grados de libertad de Huynh y Feldt (1970), de esfericidad o circularidad

Investigaciones realizadas en México, señalaron que la extracción total de nutrientes por parte del cultivo de papa (*S. tuberosum*) de la variedad Fianna, fue 250; 30 y 350 kg·ha⁻¹ de NPK, respectivamente; con un fuerte incremento del contenido de N y K en tejido vegetal, durante el desarrollo de la tuberización (Sifuentes et al., 2013). En la presente investigación la fertilización FQA (1.466,65 kg·ha⁻¹) aportó 131; 154 y 154 kg·ha⁻¹ de NPK, respectivamente (Cuadro 3), valores que pudieron haber favorecido la mayor media de AF (7.556,15 cm²) registrada en las

plantas de papa de la presente investigación (Figura 2).

El comportamiento registrado en el AF de las plantas (40-115 dds) tratadas con FOM, FQA + FOM y FQA + FQ, coincidió con la formación de tubérculos, época en la cual la planta debió acumular mayor cantidad de carbohidratos de reserva para ser utilizados en el crecimiento y desarrollo de la planta, en sus diferentes fases fenológicas (Reyes et al., 2000). Los resultados mostraron que la fuente de fertilización presentó igualmente un efecto marcado sobre el crecimiento del cultivo (Cuadro 5; Figura 2), con

base en lo señalado para cultivos en general por Swift (1987) y para papa por Nyiraneza y Snapp (2007), sobre la mejor eficiencia en el uso del nitrógeno cuando se combinan los fertilizantes orgánicos con fertilizantes minerales.

Las variedades estudiadas no mostraron una interacción con las fuentes y los niveles de fertilización, para las variables de crecimiento (TAN, TRC, TCC) pero sí diferencias entre las variedades (Cuadro 4). Cabe destacar lo señalado por Porras (2015), quien sugirió que la producción de los cultivos depende de varios factores. Uno de ellos es la fertilización, pero no es el único. El material vegetal, las propiedades y el uso del suelo, el clima, la calidad de las semillas y las distancias de siembra también son importantes,

por lo que se consideraron para la explicación en esta investigación. La Figura 3 presenta la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa relativa de crecimiento (TRC) durante la evaluación (Cuadro 5). Los bajos valores de TAN al inicio del ciclo de crecimiento (60 dds) (Figura 3A) podrían atribuirse al crecimiento lento de hojas y brotes laterales para captar radiación fotosintéticamente activa, lo que resulta en una menor actividad fotosintética. La menor actividad fotosintética se asoció con la baja eficiencia en la producción de materia seca observada al inicio del ciclo de crecimiento y por ende los bajos valores de TRC obtenidos durante esta fase (Santos et al., 2010) (Figura 3B).

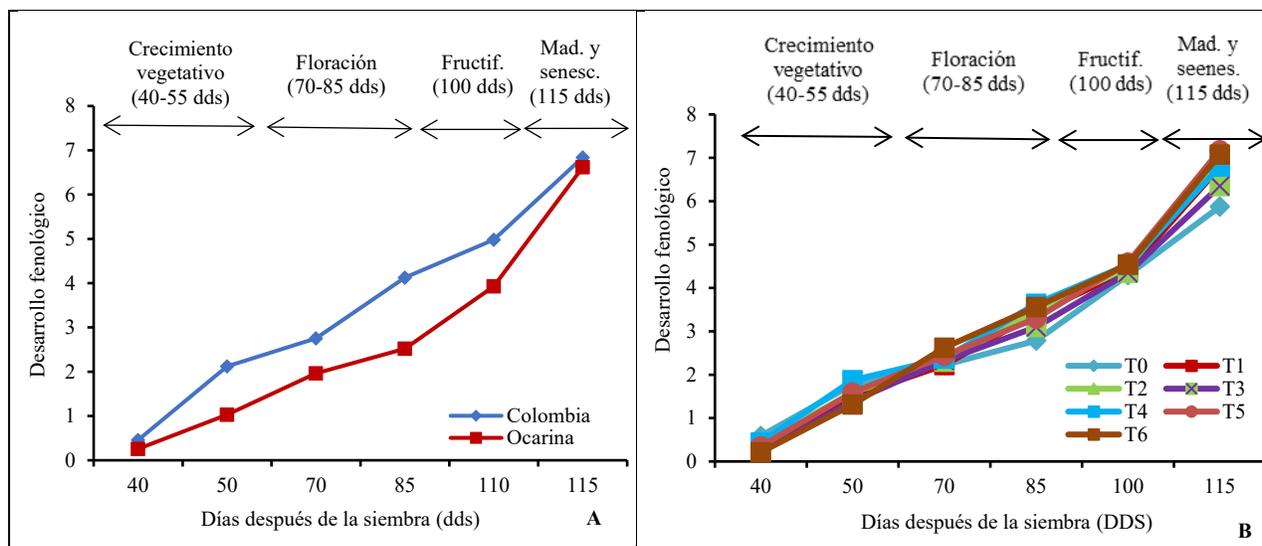


Figura 1. Desarrollo fenológico de papa criolla (*Solanum phureja*) tratada con diferentes fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral en el municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia. A) Variedad Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53). B) Fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral, T0: testigo, T1: fertilización química del agricultor (FQA), T2: fertilización química (FQ), T3: Fertilización orgánica mineral (FOM), T4: 50 % FQA + 50 % FOM, T5: 50 % FQA + 50 % FQ, T6: 50 % FOM + 50 % FQ. Desarrollo fenológico, según la escala de Hack et al. (1993) (ver la sección de Materiales y métodos)

La TAN registró los valores más altos para la variedad Colombia, que se incrementó de 60 a 110 dds (0,00 a 0,01063 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente), para luego descender a 0,00232 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ a los 115 dds (Figura 3A). El incremento de la TAN observado en papa hasta el final del cultivo (110 dds), ha sido señalado por Jerez et al. (2016), quienes refieren que este comportamiento resulta diferente al observado en otras especies vegetales, en vista que la acumulación de reservas ocurre en

los tubérculos y no en la parte aérea de la planta, razón por la cual, dicho índice puede incrementarse al final del ciclo de cultivo, debido a una alta actividad de la demanda (tubérculos).

El incremento progresivo observado en la TAN de 60 a 110 dds, seguido del descenso hasta los 115 dds, indicó que en la medida que las plantas de la variedad Colombia se desarrollaron, la TAN tendió a disminuir (110 a 115 dds) en relación con el tiempo. Esto ha sido señalado por Aguilar et al.

(2005), que estudiaron la TAN en girasol (*Helianthus annuus*) en función de la densidad de plantación, concluyendo que tiende a disminuir con respecto al tiempo, debido a la senescencia de las hojas basales, el fenómeno que también ocurrió en papa (Mora et al., 2005), aun cuando son especies disímiles, cultivadas bajo condiciones agroecológicas diferentes. A su vez,

las disminuciones observadas en la TAN (110 a 115 dds) (Figura 3A), acompañadas de incrementos en el AF durante el mismo período para FQA, FQ y FOM (Figura 2), indicaron una posible baja eficiencia en el uso de la radiación por parte del follaje para la producción de fotoasimilados (Jerez et al., 2016).

Cuadro 5. Medias de área foliar (AF), peso foliar específico (PFE), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa relativa de crecimiento (TRC) en variedades de papa (*Solanum phureja*) Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53) tratadas con diferentes fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral, en el municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia

Factores tratamiento	Medias				
	AF (cm ²)	PFE (g·cm ⁻²)	TCC (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	TAN (g·cm ⁻² ·d ⁻¹)	TRC (g·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
Variedad					
Colombia	2.088,6 a	0,027 a	0,014 b	0,003 b	0,090 b
Ocarina	1.788,6 a	0,031 a	0,011 a	0,001 a	0,049 a
Fertilizante					
T0	1.722,1 ab	0,009 a	0,010 a	8,1x10 ⁻⁵ a	0,059 a
T1	3.345,8 c	0,006 a	0,014 a	0,001 a	0,076 a
T2	1.701,1 ab	0,016 a	0,013 a	0,004 a	0,091 a
T3	1.456,5 a	0,042 a	0,011 a	0,004 a	0,068 a
T4	2.355,5 b	0,007 a	0,013 a	0,002 a	0,070 a
T5	1.572,5 ab	0,070 a	0,012 a	-0,001 a	0,052 a
T6	1.416,8 a	0,053 a	0,012 a	0,003 a	0,071 a

T0: testigo; T1: fertilización química del agricultor (FQA); T2: fertilización química (FQ); T3: Fertilización orgánica mineral (FOM); T4: 50 % FQA + 50 % FOM; T5: 50 % FQA + 50 % FQ; T6: 50 % FOM + 50 % FQ. Medias con al menos una letra en común para cada factor tratamiento (variedad y fertilizante) indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

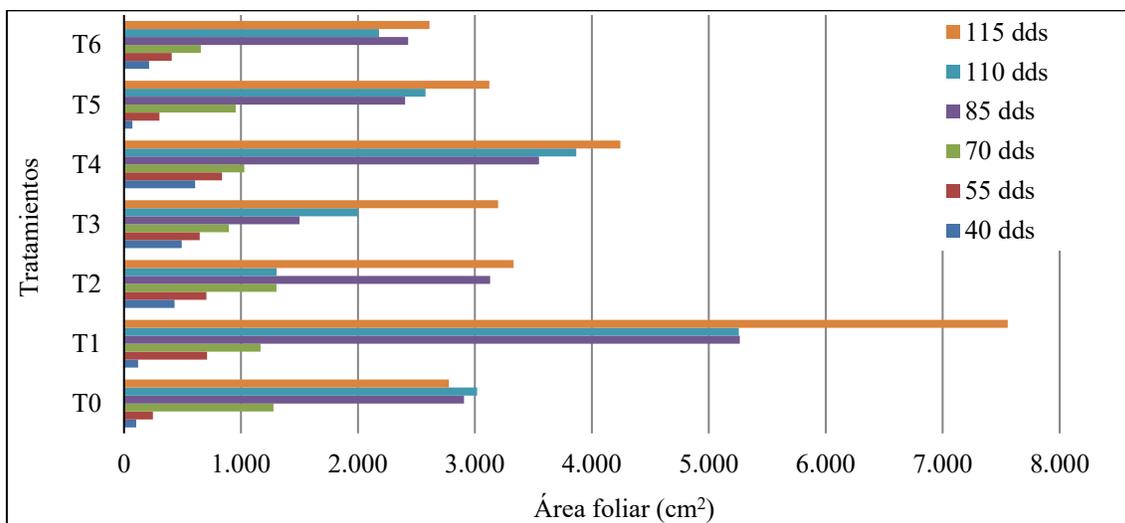


Figura 2. Área foliar en papa (*Solanum phureja*) de las variedades Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53), según la fase fenológica, tratadas con diferentes fuentes y dosis de fertilización orgánica mineral, en el municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia. T0: testigo; T1: fertilización química del agricultor (FQA); T2: fertilización química (FQ); T3: fertilización orgánica mineral (FOM); T4: 50 % FQA + 50 % FOM; T5: 50 % FQA + 50 % FQ; T6: 50 % FOM + 50 % FQ

La tasa relativa de crecimiento (TRC) registró la mayor media para la variedad Colombia, mientras que el menor valor lo registró la variedad Ocarina. La FQ registró la mayor media de TRC que no fue diferente al resto de la fertilización, sin embargo, la menor media fue para la combinación 50 % FQA + 50 % FQ (Cuadro 4). En la figura 3B, se presenta la TRC durante el tiempo de la evaluación para la variedad Colombia y Ocarina,

donde se observa que la variedad Colombia superó a Ocarina, sin embargo, el comportamiento de esta variable mostró un patrón similar para las dos variedades: incrementos al inicio del ciclo del cultivo seguidos de descensos en algún momento de la evaluación, según la fase fenológica del cultivo y su demanda por fotoasimilados (da Silva et al., 2020; Jerez et al., 2016).

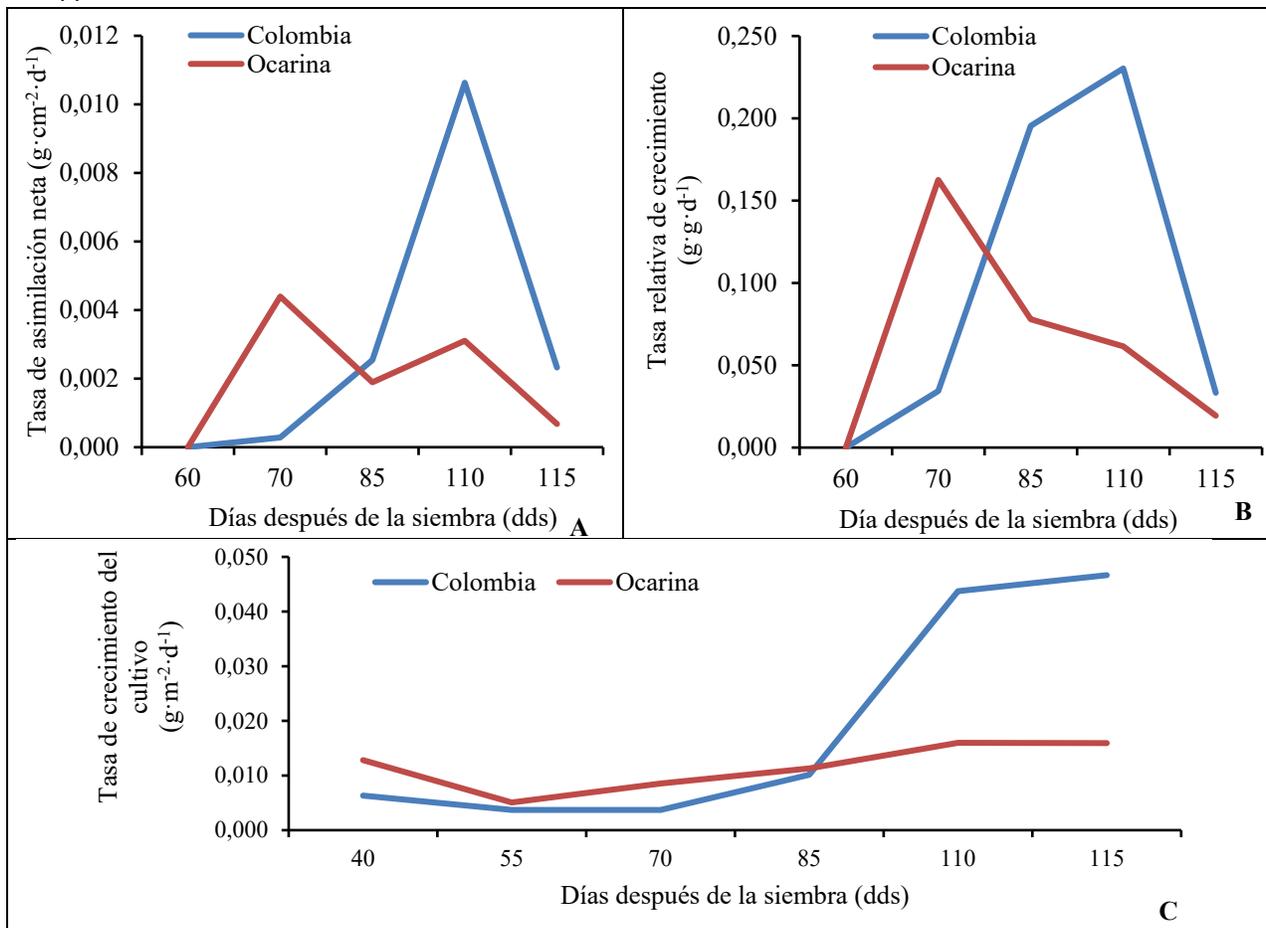


Figura 3. A) Tasa de asimilación neta, B) tasa relativa de crecimiento y C) tasa de crecimiento del cultivo en papa (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia y Criolla Ocarina (ICA: PAP-15-53), según la fase fenológica, en el municipio Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

La variedad Colombia registró un incremento sostenido de la TRC en el periodo de 60 a 110 dds, correspondiente a los periodos de formación y desarrollo de tubérculos, seguido de un descenso sostenido hasta los 115 dds, durante la fase fenológica de madurez y senescencia. Mientras que la variedad Ocarina, presentó un incremento sostenido de 60 a 70 dds, en la fase de crecimiento vegetativo, seguido de un descenso hasta los 85

dds (floración) que fue menos acelerado hasta los 110 dds (fructificación) y continuó en descenso hasta los 115 dds, con el inicio de la fase de tuberización.

Sin embargo, las dos variedades alcanzaron el menor valor de TRC a los 115 dds, lo que indicó que las plantas aún estaban creciendo en el momento de la cosecha (Marulanda et al., 2023), valores que fueron superiores a los reportados en

el estudio sobre el análisis de crecimiento funcional de los cultivares diploides de papa Colombia y Latina, realizado por Saldaña y Cotes (2020) quienes señalaron TRC de 0,054 y 3,3 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente.

El incremento y posterior disminución de las curvas de crecimiento (Figura 3B) representan los procesos de cese de la acumulación de biomasa y translocación de nutrientes a los órganos sumidero. Este proceso comienza en la formación de los tubérculos donde los fotoasimilados se almacenan en forma de almidón (da Silva et al., 2020) y tiende a acelerarse con el desarrollo del cultivo, disminuyendo gradualmente al final del ciclo de crecimiento y termina con la senescencia de la planta (Fernandes et al., 2010). Los resultados coinciden con los de Soto et al. (2018) según el modelo de simulación Substor del programa DSSAT 3.5 en el que la planta redistribuyó los nutrientes, a través de la translocación de estos hacia los órganos de almacenamiento, lo que explica que al final del ciclo se produjo una disminución en la cantidad de biomasa. Igualmente con los de Alvarado et al. (2023), en su estudio para incrementar el rendimiento y la calidad de *S. tuberosum* grupo phureja, mediante la aplicación de materia orgánica (gallinaza) y la fertilización convencional, con la acumulación de biomasa durante la tuberización, seguido de la disminución en la cantidad de biomasa al final del ciclo.

En relación con la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la media resultó mayor para la variedad Colombia, mientras que la menor fue para la variedad Ocarina con diferencias significativas entre variedades (Cuadro 5). Para la fertilización no se observaron diferencias significativas, sin embargo la mayor media se registró para la FQA (Cuadro 4). En la figura 3, se presenta el comportamiento registrado entre las variedades y el tiempo de la evaluación (Figura 3C) para la TCC que representa la productividad agrícola (Jerez et al., 2016) sobre la tasa de producción de materia seca (Parwada et al., 2020), con la mayor media para la variedad Colombia ($0,047 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) que superó a Ocarina en 65,96 %. La tendencia en el comportamiento de la variable en el tiempo presentó pequeñas variaciones. El incremento de la TCC para la variedad Colombia comenzó después de los 70 dds y hasta los 115 dds (tuberización), cuando

alcanzó el 92,13 % del total acumulado a la fecha (Figura 3C).

El incremento de la TCC a los 115 dds, se correspondió con la mayor área foliar observada en todos los tratamientos de fertilización, indistintamente de la variedad evaluada, en comparación con el testigo (Figura 2). Este comportamiento se asemejó al reportado por Howlader y Hoque (2018) en el cultivo de papa (*S. tuberosum*), donde los valores de la TCC se asociaron al mayor índice de área foliar (IAF) entre 50 y 60 dds. Así mismo, coincidió con el mayor rendimiento del cultivo obtenido en la presente investigación (datos no presentados), lo cual puede estar relacionado al mayor suministro de elementos minerales de los fertilizantes FQ ($453,37 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), FQA + FQ ($446 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y la mezcla de fertilizantes FOM + FQ ($478 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Marcillo et al., 2022).

En la opinión de Kundu et al. (2019), entre otros factores, los elementos minerales nitrógeno y potasio son de vital importancia en la producción de papa. Sin embargo, Muleta y Aga (2019) afirmaron que el N es el nutriente más limitante en la producción de cultivos y el de mayor concentración que todos los otros nutrientes minerales en la mayoría de las plantas. Así mismo, señalaron que en la producción de papa (*S. tuberosum*), el N se aplica con más frecuencia y en mayores cantidades que cualquier otro nutriente. Esto indica que el N es un nutriente esencial para el crecimiento de los cultivos, y en el cultivo de la papa la demanda de N es relativamente alta.

CONCLUSIONES

La aplicación de las diferentes fuentes y dosis de fertilización afectó el desarrollo fenológico (DF) y el área foliar (AF) de las plantas, indistintamente de la variedad evaluada. La fertilización química del agricultor + fertilización química (FQA + FQ) favoreció el mayor DF (desarrollo fenológico) de las plantas, mientras que la FQA la mayor área foliar.

Las variedades evaluadas respondieron de manera diferente, en relación con el DF en el tiempo y las tasas de asimilación neta (TAN) y relativa de crecimiento (TRC). La variedad Colombia desatacó en DF, TAN, TRC, TCC y fue precoz en comparación con la variedad Ocarina.

La variedad Colombia presentó la mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC). El comportamiento de dicho índice reflejó una tendencia hacia el incremento con ligeras variaciones en el tiempo al igual que el AF que se correspondió con el mayor valor observado con la FQA.

LITERATURA CITADA

1. Aguilar-García, L., J. Escalante-Estrada, L. Fucikovsky-Zak, L. Tijerina-Chávez y E. Mark Engleman. 2005. Leaf area, net assimilation rate, yield and population density in sunflower. *Terra Latinoamericana* 23(3): 303-310.
2. Alvarado-Barrera, J.A., M.A. Ramírez-Avellaneda, H. Chaparro y F.J. Peña Baracaldo. 2023. Response of 'criolla' potato (*Solanum tuberosum*) cultivar Colombia to mineral organic fertilization. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 26(1): 1-8.
3. Baligar, V.C., N.K. Fageria y Z.L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32(7-8): 921-950.
4. Castro, H.E. 1997. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual técnico. Tunja, Colombia: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
5. Colombia. 2022. Ministerio de Agricultura. Cadena de la papa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, Bogotá.
6. da Silva, G.O., F.Q. Azevedo, C.F. Ragassi, A.D.F.D. Carvalho, G.E. Pereira y A.D.S. Pereira. 2020. Growth analysis of potato genotypes. *Revista Ceres* 67: 207-215.
7. DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2013. El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum*. Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial.
8. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2018. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA).
9. Di Benedetto, A. y J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 42(3): 258-282.
10. Fernandes, A.M., R.P. Soratto y L.S.R. Beatrice. 2010. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 2039-2056.
11. Flores-López, R., M. Casimiro-Marín, E. Sotelo-Ruiz, O. Rubio-Covarrubias y H. López-Delgado. 2020. Fertilización NPK, distribución de biomasa y número de minitubérculos de papa en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(8): 1827-1838.
12. Grupo de investigación en papa (GIP). (2020). Variedades de papa liberadas por la Universidad Nacional de Colombia, Variedades diploides. Universidad Nacional de Colombia.
13. González, A. 2018. Image J: una herramienta indispensable para medir el mundo biológico. En: P. Demaio (ed.). *Folium Relatos botánicos*. Sociedad Argentina de Botánica. Córdoba, Argentina. pp. 6-17.
14. Guerrero, R. 1982. La fertilización de la papa en Colombia. Monómeros Colombo-Venezolanos S.A. Colección Punto Verde 2. Bogotá.
15. Hack, V., H. Gall, Th. Klemke, R. Klose, U. Meier, R. Stauß y A. Witzemberger. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 45(1): 11-19.
16. Howlader, O. y M. Hoque. 2018. Growth analysis and yield performance of four potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 43(2): 267-280.
17. Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* 2: 579-588.
18. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2011. Manejo fitosanitario del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* subsp. Andigena y *S. phureja*). Produmedios. <https://n9.cl/7b4eh>
19. IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Estudio General de Suelos y

- Zonificación de Tierras: Del Departamento de Norte de Santander. IGAC, Bogotá, Colombia.
19. Jerez, E.I., R. Martín Martín, D. Morales Guevara y Y. Díaz Hernández. 2016. Análisis clásico del crecimiento en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales* 37(2): 79-87.
 20. Kundu, C.K., P.S. Bera, A. Giri, S. Das, M.K. Datta y P. Bandopadhyay. 2019. Effect of different doses of nitrogen and potassium on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) under new alluvial zone of west Bengal. *Current Journal Applied Science and Technology* 36(2): 1-5.
 21. Marcillo-Paguay, C.A., C.A. Benavides-Cardona, H.S. Ramos-Zambrano y J.V. Romero. 2022. Respuesta agronómica y económica de papa (*Solanum tuberosum* subsp. andigena) a la fertilización diferencial en cuatro ambientes de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 16(2): e13559.
 22. Marulanda-Zapata, D.F., C.F. Barrera-Sánchez y O de J. Córdoba-Gaona. 2023. Análisis funcional del crecimiento de variedades de papa diploide (*Solanum tuberosum* grupo Phureja). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 17(2): e15831.
 23. Mora-Aguilar, R., J. Ortiz-Cereceres, A. Rivera-Peña, M.C. Mendoza-Castillo, Ma. T. Colinas-León, H. Lozoya-Saldaña y J.E. Rodríguez-Pérez. 2005. Comportamiento de la acumulación y distribución de biomasa en genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 135-142.
 24. Muleta, H.D. y M.C. Aga. 2019. Role of nitrogen on potato production: a review. *Journal of Plant Sciences* 7(2): 36-42.
 25. Nyiraneza, J. y S. Snapp. 2007. Integrated management of inorganic and organic nitrogen and efficiency in potato systems. *Soil Science Society of America Journal* 71(5): 1508-1515.
 26. Nústez, C. 2011. Variedades colombianas de papa. Universidad Nacional de Colombia.
 27. Nústez, C. y L. Rodríguez. 2020. Papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca.
 28. Parwada, C., V. Chigiya, W. Ngezimana y J. Chipomho. 2020. Growth and performance of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under different organic fertilizers. *International Journal of Agronomy* 2020(8843906): 1-6.
 29. Porras, P. 2015. Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro. Colombia: Corpoica.
 30. Porras, P.D. y C.A. Herrera. 2015. Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Colombia: Agrosavia.
 31. Quinteiro, M., A. Furtado, M. Schramm, F. Pinto, M. Viana y V.C. Baligar. 2013. Aluminum effects on growth photosynthesis and mineral nutrition of cacao genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 36(8): 1161-1179.
 32. Reetz, H.F. 2017. Fertilizantes e seu uso eficiente. In *International Fertilizer Industry Association (IFA)*.
 33. Reyes-Santamaría, M., Á. Villegas-Monter, M. Colinas-León y G. Calderón-Zavala. 2000. Peso específico, contenido de proteína y clorofila en hojas de naranjo y tangerino. *Agrociencia* 34: 49-55.
 34. Rosas-Patiño, G., Y.J. Puentes-Páramo y J.C. Menjivar-Flores. 2017. Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes para cacau num entissol da Amazônia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 18(3): 529-541.
 35. Saavedra, G., F. Corradini, A. Antúnez, S. Felmer, P. Estay y P. Sepúlveda. 2017. Manual de producción de lechuga. In *Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.
 36. Saldaña-Villota, T. y J. Cotes-Torres. 2020. Functional growth analysis of diploid potato cultivars (*Solanum phureja* Juz. et Buk.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 14(3): 402-415.
 37. Santos, M., M. Segura y C.E. Nústez. 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.
38. Sifuentes, E., W. Ojeda Bustamante, C. Mendoza Pérez, J. Macías Cervantes, J.D.R. Rúelas Islas y M.A. Inzunza Ibarra. 2013. Nutrition of potato crop (*Solanum tuberosum* L.) under climate variability in "Valle del Fuerte", Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(4): 585-597.
 39. Soto, A.M., J.M. Cotes Torres y D. Rodríguez Caicedo. 2018. Growth and development simulation model of potato. Ciencia en Desarrollo 9(1): 9-20.
 40. Swift, M. 1987. Tropical soil biology and Fertility. Inter-Regional Research Planning Workshop. Paris. Special Issue 13: 28-34.
 41. Valenzuela, I.G. y E.F. Visconti. 2018. Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 12(1): 233-243.
 42. Vélez, A.F. 2021 Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. La papa en Colombia. Bonn (Alemania): Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 102.
 43. Zapata, J., G. Navas, A. Tamayo y C. Díaz. 2006. Manejo agronómico de la papa criolla para el procesamiento industrial. Boletín Técnico 19: 44. CORPOICA.

