



Respuesta del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) cultivar “Colombiana” al suministro de nitrógeno y potasio por fertirriego

Response of sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss) cultivar “Colombiana” to the supply of nitrogen and potassium through fertirrigation

Pablo Gaona-Gonzaga^{1,3}; Laura Vásquez-Rojas²; Sandy Aguayo-Pacas²; William Viera-Arroyo^{3,*}; Pablo Viteri-Díaz³; Andrea Sotomayor-Correa³; Lorena Medina-Rivera¹; Paúl Mejía-Bonilla⁴; Yamil Cartagena-Ayala³

1 Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Pichincha, Quito, Ecuador.

2 Universidad Central del Ecuador (UCE) Facultad de Ciencias Agrícolas, Pichincha, Quito, Ecuador.

3 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Pichincha, Quito, Ecuador.

4 Especialista en fruticultura, Consultor Independiente, Pichincha, Quito, Ecuador.

*Autor corresponsal: william.viera@iniap.gob.ec (W. Viera).

ID ORCID de los autores

P. Gaona-Gonzaga  <https://orcid.org/0000-0002-0606-5855>

W. Viera-Arroyo  <https://orcid.org/0000-0003-4472-4126>

P. Viteri-Díaz:  <https://orcid.org/0000-0003-3119-5798>

A. Sotomayor-Correa  <https://orcid.org/0000-0003-3075-1609>

P. Mejía-Bonilla  <https://orcid.org/0000-0002-6772-8608>

RESUMEN

En la actualidad el cultivo de la granadilla ha tomado importancia en la zona norte del Ecuador; sin embargo, la información en el manejo nutricional de este frutal es escasa, ocasionando problemas como bajos rendimientos y calidad de la fruta. Debido a la alta demanda de nitrógeno y potasio de este cultivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos niveles de estos nutrientes en la fase de crecimiento. Se utilizaron plantas de granadilla cultivar “Colombiana”, los tratamientos se aplicaron mediante fertirrigación. El experimento se desarrolló en la Granja Experimental Tumbaco del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), bajo un diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 2 por 2, teniendo cuatro tratamientos resultado de la interacción de los niveles de nitrógeno y potasio. Los resultados obtenidos mostraron que las dosis altas de nitrógeno y potasio (200 kg ha⁻¹) y su interacción tuvieron los valores más altos en las variables: altura de planta (1,74 m), índice de verdor (59,07 SPAD), área foliar (151,03 cm²) y concentración foliar de nutrientes (4,13% N y 4,10 %K).

Palabras clave: granadilla; nitrógeno; potasio; fertirriego; desarrollo vegetativo.

ABSTRACT

The cultivation of sweet passion fruit is currently becoming important in the North Zone of Ecuador, however there is little information on the nutritional management of this fruit, which leads to problems of low yield and poor fruit quality. Due to the high demand for nitrogen and potassium from the crop, this research aimed to study two levels of these nutrients in the growth phase. Plants of “Colombian” cultivar will be used, and the treatments will be applied through a fertirrigation system. The experiment was carried out in the Tumbaco Experimental Farm of Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), using a completely random design (DCA) in a 2 x 2 factorial arrangement, having four treatments resulting from the interaction of the levels of nitrogen and potassium with four replications. Results detected that high doses of nitrogen and potassium (200 kg ha⁻¹) and their interaction had the highest values in the analyzed variables: plant height (1.74 m), index of greenery (59.07 SPAD), leaf area (151.03 cm²) and foliar concentration of nutrients (4.13% N and 4.10% K).

Keywords: sweet passion fruit; nitrogen; potassium; fertirrigation; vegetative growth.

Recibido: 04-02-2020.

Aceptado: 21-03-2020.

INTRODUCCIÓN

La granadilla (*P. ligularis* J.) pertenece a la familia Passifloraceae, género *Passiflora* que incluye más de 525 especies distribuidas especialmente en la región neotropical (Silva y Souza, 2020). Esta especie es originaria de los Andes tropicales, ubicándose en altitudes entre 1500 y 2600 msnm (Arias et al., 2015). Esta especie es la segunda de importancia económica del género *Passiflora*, después del maracuyá (*P. edulis* Sim f. *Flavicarpa Degene*), debido a que se comercializa en mercados nacionales e internacionales por su agradable sabor y valor nutricional (Yockteng et al., 2011; Arias et al., 2016). Los principales productores a nivel global son Colombia, Perú y Ecuador, donde es cultivada por pequeños campesinos en zonas de ladera y cultivos no superiores a 1,5 ha en promedio (Parra, 2013; Gutiérrez y Klein, 2018). En Ecuador, la granadilla se cultiva en zonas de clima frío moderado, con temperaturas medias anuales entre 15 y 20°C. Requiere suelos de una profundidad de al menos 80 cm, bien drenados, texturas franco, franco arenoso o franco arcilloso con buen contenido de materia orgánica y un pH entre 6 y 6,5. Se cultiva en zonas ubicadas entre los 800 y 2600 msnm, en las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Azuay y Loja (Villavicencio y Vásquez, 2008). La demanda hídrica de la granadilla varía entre 1500 y 3200 mm bien distribuidos durante todo el año (Villavicencio y Vásquez, 2008; Melgarejo, 2015).

De acuerdo a la investigación realizada por Navarrete (2017), la granadilla en la provincia de Imbabura alcanza una producción anual 4,5 a 6,0 t ha⁻¹, considerada baja, puesto que en Colombia se reportan rendimientos entre 10 y 14 t ha⁻¹ (Ocampo et al., 2015), siendo una de las principales causas de bajos rendimientos en Pasifloráceas el escaso conocimiento e inadecuado manejo nutricional (Moura et al., 2017). De acuerdo a investigaciones, los requerimientos nutricionales de pasifloráceas, para *Passiflora edulis* (maracuyá) son de 100 – 150 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P y 120 – 160 kg ha⁻¹ de K (Valarezo et al., 2014) en *Passiflora mollissima* (curuba) de 205 kg ha⁻¹ de N, 18 kg ha⁻¹ de P, 184 kg ha⁻¹ de K y 25 kg ha⁻¹ de S (Melgarejo, et al., 2019) y en *Passiflora ligularis* (granadilla) de 160 kg ha⁻¹ N, 18 kg ha⁻¹ de P, 170 kg ha⁻¹ de K (Guerrero et al., 2001), lo que concuerda con lo señalado por Rivera (2002), en que los requerimientos de la granadilla en orden decreciente son: K, N, Ca, S, Mg, P y de los micronutrientes Fe, B, Mn, Zn, Cu.

Complementariamente a lo descrito, en Ecuador el uso de fertirriego en granadilla es una tecnología poco aplicada, siendo importante determinar sus beneficios en el manejo racional de agua, fertilizantes y mano de obra mediante la investigación; y de esta manera fomentar su uso. Con base a lo señalado, esta investigación permitió definir las dosis de N y K necesarias para un adecuado desarrollo inicial de huertos de granadilla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

La investigación se desarrolló en la Granja Experimental Tumbaco del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con coordenadas: latitud 0° 12' 57" Sur, longitud 78° 24' 43" Oeste y una altitud de 2348 msnm. Las precipitaciones anuales son de aproximadamente 800 mm, concentrándose las lluvias en dos periodos: febrero a mayo (aprox. 416 mm) y octubre a noviembre (aprox. 200 mm), la temperatura media es de 17 °C y humedad relativa promedio de 75% (INAMHI, 2019).

Material Vegetal

Para el establecimiento del ensayo se usaron plántulas de granadilla provenientes de semilla, de un mes de edad, con un tamaño promedio de 0,20 m, del cultivar "Colombiana". Para compensar el déficit hídrico aproximado de 1000 mm al año, se proporcionó 2 L diarios de agua (aprox.), ajustados de acuerdo a las condiciones climáticas (lluvias, viento, brillo solar), fraccionados en dos ciclos de riego (1 L en la mañana y 1 L en la tarde), mediante un sistema de riego automatizado, constituido por 4 bombas de 0,5 HP, 4 tanques de 500 L de capacidad, se usaron 5 filtros uno principal y 4 secundarios, doble línea de riego con goteros de 1,6 L h⁻¹ de caudal, separados 0,30 m entre goteros.

Implementación de la parcela experimental

Previo a la implementación del ensayo, se realizaron análisis de suelo (profundidades de muestreo: 0,10, 0,20, 0,30 m), las muestras fueron analizadas en el laboratorio Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina-INIAP (EESC). Se trasplantó en hoyos de 0,40 m de profundidad, con un marco de plantación de 3 x 3 m. Las plantas fueron tutoradas en un sistema de emparrado y una cuerda plástica como guía hasta que el sistema de conducción sea alcanzado; además, se realizaron monitoreos constantes para identificar problemas fitosanitarios, con la finalidad de realizar controles en caso de ser requeridos.

Tratamientos en estudio

La preparación de los distintos tratamientos se realizó por disolución de los fertilizantes en un volumen de 15 litros de agua, para posteriormente ser incorporados a los diferentes tanques (500 L) según cada uno de los tratamientos. La fertirrigación se hizo tres días por semana con ciclos de riego de 18 minutos, siendo determinado de acuerdo a la lámina de riego proporcionada (3 mm). Se realizaron riegos complementarios solo con agua según el requerimiento y estado del cultivo. Se monitoreo la humedad volumétrica

mediante 5 sensores (marca Meter, modelo ECH2O EC-5) y datalogers, instalados con una separación de 10 cm entre ellos e intervalo de tiempo de 5 minutos.

Como fuentes de cada elemento nutritivo se usaron los fertilizantes: nitratos de amonio, calcio, magnesio y potasio; además de, sulfatos de potasio y magnesio, adicionalmente se usó ácido fosfórico. Los factores en estudio fueron seleccionados en base a las necesidades nutricionales propias de la granadilla y otras pasifloráceas (alta demanda de N y K) y a la disponibilidad de los elementos en el suelo. Es así que, los factores seleccionados fueron: a) elementos minerales: nitrógeno (N) y potasio (K) y b) dos dosis compuestas de fertilización que consistieron en 100 kg ha⁻¹ de N más 100 kg ha⁻¹ K y 200 kg ha⁻¹ de N más 200 kg ha⁻¹ K. Las dosis de nitrógeno y potasio más elevadas (200 kg ha⁻¹), correspondieron a las recomendaciones nutricionales reportadas para este cultivo; además se corrigieron las concentraciones en consideración de la mayor eficiencia de absorción de nutrientes mediante fertirriego. Los tratamientos resultaron de la interacción de los factores en estudio con sus respectivos niveles (Tabla 1).

Tabla 1

Tratamientos en la evaluación del efecto de dosis de nitrógeno y potasio aplicados por fertirriego en granadilla var. 'Colombiana'

Tratamiento	Códigos	N K	
		(kg ha ⁻¹)	
1	n1xk1	100	100
2	n1xk2	100	200
3	n2xk1	200	100
4	n2xk2	200	200

Las dosis de los restantes macro y microelementos correspondieron a los requerimientos reportados para este cultivo (Guerrero *et al.*, 2001; Villavicencio y Vásquez, 2008; Melgarejo, 2015), y además las dosis permanecieron fijas en todos los tratamientos (P: 50 kg ha⁻¹; Ca: 50 kg ha⁻¹; Mg: 15 kg ha⁻¹; S: 5 kg ha⁻¹; Fe: 0,8 kg ha⁻¹; B: 0,2 kg ha⁻¹; Mn: 0,4 kg ha⁻¹; Zn: 0,1 kg ha⁻¹ y Cu: 0,08 kg ha⁻¹).

Diseño del experimento

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 2 con cuatro tratamientos y cuatro observaciones. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza, para determinar diferencias entre tratamientos se

utilizó una comparación de medias (DMS) con un $p \leq 0.05$ y se empleó el software estadístico Infostat versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

El ensayo estuvo constituido por 16 unidades experimentales y cada unidad experimental por 6 plantas, de las cuales se tomaron 3 plantas al azar para el registro de datos, en cada tratamiento se realizó 4 observaciones, obteniendo un total de 24 plantas por tratamiento y 96 plantas en total.

Variables evaluadas

Las variables fueron evaluadas durante un periodo de nueve meses, siendo estas:

Altura de planta (cm): se evaluó a partir de 80 hasta 230 días después del trasplante (ddt) con un intervalo de 30 días entre cada medición. Las mediciones (cinta métrica) se hicieron desde el cuello de la planta hasta el ápice de la hoja nueva.

Diámetro de tallo (mm): se evaluó a partir de 80 hasta 230 ddt, cada 30 días. La medida fue tomada a 0,10 m del nivel suelo. Se usó un calibrador digital (Mitutoyo, modelo Vernier 500-159-30).

Índice de verdor (SPAD): se evaluó a partir de los 80 hasta los 230 ddt, cada 30 días. Se empleó un medidor de clorofila modelo SPAD-502, para ello se seleccionaron 3 hojas recientemente maduras y totalmente extendidas, ubicadas entre la quinta y séptima hoja desde el ápice de la planta, las cuales fueron marcadas con una etiqueta plástica. Las hojas fueron remplazadas cada dos meses, debido al envejecimiento de las hojas inicialmente seleccionadas.

Área foliar (cm²): fue evaluada a partir de los 80 hasta 230 ddt, con un intervalo de 30 días entre cada medición. Se usó el equipo denominado Medidor de Área Foliar Portátil modelo LI-COR LI3000A. Fueron evaluadas las mismas hojas usadas para el índice de verdor.

Concentración foliar de nutrientes (% y ppm): Los macronutrientes analizados fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S); mientras que los micronutrientes fueron boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn). Se recolectaron 150 gramos de material vegetal fresco. Las muestras recolectadas se ubicaron a partir de la quinta hasta la séptima hoja de la parte apical del eje de la planta. Las muestras fueron enviadas al laboratorio del Departamento de Suelos y Aguas de la EESC. Esta variable se determinó a los 180 y 270 ddt.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez que las variables cumplieron los supuestos de normalidad de error y homogeneidad de varianzas, se continuó con un análisis de varianza ($p \leq 0,05$) para datos paramétricos.

Altura de planta

El análisis de varianza evidenció significancia estadística en la interacción N x K, en las diferentes fechas de monitoreo. La prueba DMS al 5% evidenció que la combinación de las dosis altas (n2 x k2) de nitrógeno (200 kg ha⁻¹) y potasio (200 kg ha⁻¹) generaron un mayor efecto sobre el

crecimiento de la planta en relación al resto de tratamientos (Tabla 2). Debido al efecto del nitrógeno sobre el desarrollo de paredes celulares (Cruz, 2003; Rodríguez, 2010) y a la gran cantidad y diversidad de moléculas orgánicas (proteínas, ácidos nucleicos, hormonas, purinas, etc) de las que forma parte, este elemento es uno de los nutrientes más demandados en el período de crecimiento vegetativo (Barker y Pilbeam, 2007).

Adicionalmente, el potasio actúa sinérgicamente sobre los reguladores estimulando el crecimiento e

interviene como transportador de nitrógeno en el interior del xilema incrementando entre 75-90% la absorción de ambos elementos (Rufty et al., 1982; Soriano, 2011). Según Jones (2008) el potasio cumple con funciones osmóticas, síntesis de azúcares, almidones y formación de ellos, complementando al nitrógeno. El incremento en altura, de acuerdo con Freitas et al. (2009) y Lucas et al. (2012), se debe al mayor volumen de raíces que está asociado a la actividad sinérgica entre el nitrógeno y potasio. En concordancia con los resultados obtenidos en el presente trabajo, Rodríguez-Yzquierdo et al. (2020) al ensayar distintas concentraciones de nitrógeno en *Passiflora edulis* D. registraron mayor altura de plantas en los tratamientos con mayores concentraciones de N (200 y 300 g por planta). Lizarazo et al. (2013) en estudios realizados en *Passiflora tripartita* var. *mollissima*, reportó un mayor desarrollo vegetativo (materia seca y número de hojas) en plantas tratadas con dosis más altas de nitrógeno y dosis adecuadas de potasio.

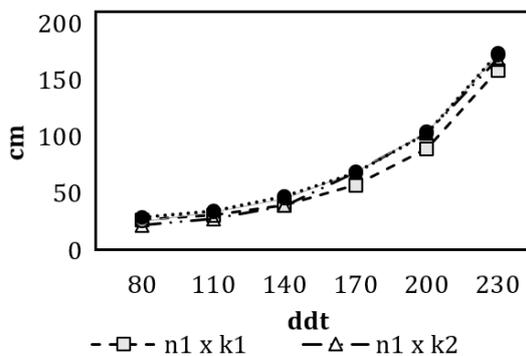


Figura 1. Curvas de crecimiento de planta de granadilla en los distintos tratamientos evaluados en función de los días después del trasplante (ddt).

Además, estos resultados concuerdan con la investigación de Cabezas y Sánchez (2008), en la que evaluaron varios programas de fertilización con elementos ausentes versus un plan completo de nutrientes en el cultivo de *Passiflora mollissima* Bailey, en dicho estudio se obtuvieron plantas de mayor desarrollo vegetativo en el programa que suministraba cantidades óptimas de nitrógeno y potasio.

En los monitoreos realizados a los 80 (21,99 cm), 110 (27,78 cm) y 140 ddt (39,30 cm), la dosis más alta de K (200 kg) junto a la dosis más baja de N, registraron menor altura de plantas en comparación al resto de tratamientos, lo que concuerda con varios resultados obtenidos por Lizarazo et al.

Tabla 2

Prueba DMS al 5%, altura de planta (cm) en la evaluación del efecto de dosis e interacciones de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla cultivar "Colombiana"

Trat	Altura de planta (cm)											
	80 ddt		110 ddt		140 ddt		170 ddt		200 ddt		230 ddt	
n1 x k1	27,03	ab	30,94	b	39,97	b	57,24	b	89,76	b	158,60	b
n1 x k2	21,99	c	27,78	c	39,30	b	68,59	a	103,36	a	168,38	ab
n2 x k1	25,79	b	33,82	a	45,92	a	69,21	a	104,29	a	172,54	a
n2 x k2	28,76	a	34,86	a	47,54	a	68,30	a	103,16	a	174,06	a

(2013) al obtener plantas (*P. edulis*) con menor desarrollo con altas dosis de potasio y se explicaría en el desbalance de nutrientes ocasionando un exceso de K lo que según Barker y Pilbeam (2007) deprimiría el desarrollo vegetativo.

De acuerdo a la Figura 1, los tratamientos mantienen una tendencia similar de crecimiento, desde los 80 a 140 ddt es leve, pero a partir de esta última lectura la curva del crecimiento muestra una mayor pendiente, lo que implicaría un incremento en la demanda de agua y nutrientes para la formación de biomasa constituyéndose en la base de la fertilización técnica de cultivos (Gutiérrez, 2002).

Diámetro del tallo

Esta variable no registró diferencias significativas para los efectos simple del N y K, ni para la interacción N x K en los diferentes tratamientos, sin embargo los rangos de las medidas variaron entre 4,90 mm - 5,26 mm (80 ddt); 5,82 mm - 6,26 mm (110 ddt); 6,62 mm - 6,95 mm (140 ddt); 7,28 mm - 7,81 mm (170 ddt); 8,36 mm - 9,26 mm (200 ddt) y 9,48 mm - 10,46 mm (240 ddt), Resultados similares fueron obtenidos en investigaciones desarrollada en maracuyá, en las que se ensayaron distintas concentraciones de N (fertirriego) sin tener una respuesta diferencial en el diámetro de tallo entre tratamientos (Aiyelaagbe et al., 2006; Silva et al., 2016).

Índice de verdor

Esta variable registró diferencias significativas en la interacción N x K. La prueba DMS al 5% evidenció que el tratamiento (n2 x k2) con dosis altas de nitrógeno (200 kg ha⁻¹) y potasio (200 kg ha⁻¹) registraron mayores valores SPAD en las lecturas realizadas a los 80, 110, 200, y 230 ddt, mientras que los otros tratamientos destacaron a los 140 y 170 ddt (Tabla 3).

Estos resultados concuerdan con los publicados por Rodríguez-Yzquierdo et al. (2020), en *P. edulis* dichos autores obtuvieron valores SPAD superiores (más de 50) a lo largo del ciclo de crecimiento con los tratamientos de dosis más elevadas de nitrógeno (200 g y 300 g). Rodríguez (2016), evaluó índices de clorofila (*P. edulis*) con buen manejo de riego y fertilización (250 kg ha⁻¹ de N y 400 kg ha⁻¹ de K) y obtuvo valores que oscilaron entre 44 y 46 SPAD en el ciclo del cultivo, valores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo, diferencias que posiblemente se deben a características climáticas (brillo solar y temperatura) de los lugares experimentales.

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0.05$). ddt: Días después del trasplante.

Tabla 3

Prueba DMS al 5%, índice de verdor (SPAD) en la evaluación del efecto de dosis e interacciones de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla cultivar "Colombiana"

Tratamiento	Índice de verdor (SPAD)											
	80 ddt		110 ddt		140 ddt		170 ddt		200 ddt		230 ddt	
n1 x k1	41,48	b	57,05	ab	52,37	ab	60,72	ab	44,27	b	55,06	b
n1 x k2	42,71	b	51,92	b	52,24	ab	61,66	a	47,12	ab	58,38	a
n2 x k1	46,42	b	54,28	ab	53,12	a	61,08	ab	42,36	b	51,70	b
n2 x k2	52,53	a	58,51	a	47,20	b	57,68	b	49,19	a	59,07	a

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0.05$). ddt: Días después del trasplante.

Tabla 4

Prueba DMS al 5% para efectos simples e interacción en la variable área foliar (cm^2) en el efecto de dosis de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla cultivar "Colombiana"

Trat	Área foliar (cm^2)											
	80 ddt		110 ddt		140 ddt		170 ddt		200 ddt		230 ddt	
n1 x k1	57,97	a	62,07	a	46,95	b	75,17	b	78,55	b	131,90	b
n1 x k2	40,46	b	45,15	b	48,17	ab	72,03	a	92,32	a	136,02	b
n2 x k1	55,94	a	65,02	a	56,17	a	75,16	ab	90,49	ab	125,58	b
n2 x k2	54,40	a	60,08	a	53,03	ab	73,06	a	102,48	a	151,03	a

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0.05$). ddt: Días después del trasplante.

En contraposición a estos resultados, Moura *et al.* (2017), en *P. edulis* no detectó variaciones significativas en el índice de verdor ocasionadas por diferentes concentraciones de fertilizaciones nitrogenadas (100 a 500 kg ha^{-1}); adicionalmente Silva *et al.* (2016) reportó valores SPAD entre 43 y 46 SPAD valores similares obtenidos en el presente estudio (80 ddt), pero no existieron diferencias entre tratamientos con distintas concentraciones de nitrógeno.

La Figura 2 muestra el comportamiento en la actividad fotosintética de las hojas entre los periodos de inicio de madurez, plena madurez y senescencia de hojas. En los periodos comprendidos entre los 80 - 140 ddt y 140 - 200 ddt se seleccionaron hojas nuevas como se detalló en la metodología. Es así que se evidencia el cambio en el índice de verdor debido a la madurez progresiva de la hoja hasta llegar a un estado senescente, pues la actividad fotosintética se incrementa hasta plena madurez y decae al llegar al envejecimiento foliar, lo cual está ligado a las tasas de intercambio gaseoso relacionadas con asimilación fotosintética del CO_2 y la transpiración (Gutiérrez, 2002), dichas oscilaciones en la actividad fotosintética a lo largo del ciclo del cultivo también fueron reportadas por Rodríguez-Yzquierdo *et al.* (2020).

3.4 Área foliar

Existió significancia estadística para la interacción N x K (Tabla 4), excepto a los 170 ddt. De manera general se observó que los tratamientos con mayores concentraciones de nitrógeno (200 kg ha^{-1}) tuvieron mayor área foliar a lo largo del estudio, sin embargo, al final del ciclo de desarrollo vegetativo, el tratamiento con mayores dosis de nitrógeno y potasio (200 kg ha^{-1}) despuntó con el mayor valor de área foliar ($151,03 \text{ cm}^2$).

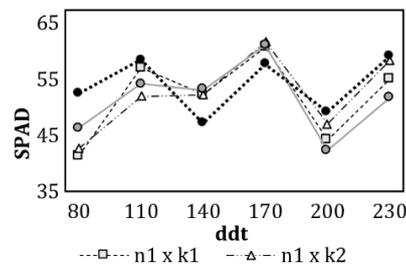


Figura 2. Curvas de evolución de valores SPAD en los distintos tratamientos evaluados en función de los días después del trasplante (ddt).

Bernal y Díaz (2010) y Jungers *et al.* (2015) indicaron que el nitrógeno interviene en diferentes funciones en las plantas, dentro de ellas en el desarrollo de biomasa vegetal tanto de hojas y tallos, esto debido a que este nutriente forma parte de la clorofila permitiendo una mayor tasa fotosintética (Singh *et al.*, 2015). Además, Blanco y Folegatti (2005) señalaron que el tamaño de las hojas puede variar debido a diferentes factores como fertilización adecuada, luz, eficiencia fotosintética, temperatura, nutrición y riego que se suministre a las plantas. De la misma manera González-Dugo *et al.* (2010) sostuvieron que el movimiento del K es similar al del nitrógeno (flujo de masas), debido a que poseen una relación sinérgica, evidenciándose en el incremento de biomasa en asociación de estos elementos. Cabezas y Sánchez (2008), en su investigación encontraron que las plantas de *Passiflora mollissima* Bailey, sometidas a deficiencia de N y K presentaron área foliar reducida hasta en 50% en comparación a aquéllas que recibieron dosis completas de estos elementos.

El área foliar del tratamiento n1xk2, en varias observaciones (80, 110, 230 ddt) tuvo valores inferiores, debido posiblemente a un desequilibrio causado por una menor concentración de nitrógeno que llevo a que la dosis de potasio haya caído en una categoría de exceso y de esta manera

haya afectado el área foliar. Estos resultados irían en concordancia con lo reportado por Lizarazo *et al.* (2013), en *P. tripartita* observaron que el área foliar se redujo en plantas tratadas con sobre dosificación de potasio, mientras que los tratamientos con fertilizaciones óptimas de potasio para esta especie exhibieron el mayor desarrollo de área foliar.

Concentración foliar de nutrientes

Se observó que no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos en la concentración de nitrógeno foliar (Tabla 5). En el caso del potasio foliar se evidenciaron diferencias estadísticas a los 180 ddt entre tratamientos, observándose mayores concentraciones de potasio foliar con las dosis altas de fertilización nitrogenada, demostrándose el

sinergismo existente entre los iones NO_3^- y K^+ lo que conlleva mayor absorción de estos nutrientes (Navarro y Navarro, 2014). Con respecto a la concentración foliar de los elementos restantes se pueden mencionar que la interacción entre dosis altas de nitrógeno y potasio incrementaron la absorción de fósforo (270 ddt), S (270 ddt), Cu (180 y 270 ddt) y Fe (270 ddt) y al contrario redujeron la absorción de Mn a los 180 ddt (Tabla 6). Los resultados de la concentración foliar de nitrógeno y potasio obtenidos en esta investigación están en concordancia con lo reportado por Recalde *et al.* (2009) que obtuvieron en maracuyá concentraciones foliares de nitrógeno de 5,62%, 6,2%, y 4,58% y potasio de 3,98%, 3,60%, y 3,63% a los 90, 120 y 240 ddt.

Tabla 5

Prueba DMS al 5% para efectos simples e interacción en la variable área foliar (cm^2) en el efecto de dosis de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla cultivar "Colombiana"

Trat	Área foliar (cm^2)											
	80 ddt		110 ddt		140 ddt		170 ddt		200 ddt		230 ddt	
n1 x k1	57,97	a	62,07	a	46,95	b	75,17	b	78,55	b	131,90	b
n1 x k2	40,46	b	45,15	b	48,17	ab	72,03	a	92,32	a	136,02	b
n2 x k1	55,94	a	65,02	a	56,17	a	75,16	ab	90,49	ab	125,58	b
n2 x k2	54,40	a	60,08	a	53,03	ab	73,06	a	102,48	a	151,03	a

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0,05$). ddt: Días después del trasplante.

Tabla 6

Prueba DMS al 5%, concentraciones (%) de macro nutrientes en el efecto de dosis e interacciones de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla var. "Colombiana"

ddt	Trat	Concentraciones foliares (%)					
		N	K	P	Ca	Mg	S
180	n1xk1	5,59	3,14 b	0,44	2,84	0,55	0,44
	n1xk2	4,07	3,39 b	0,46	3,04	0,57	0,48
	n2xk1	4,13	3,45 ab	0,52	2,91	0,54	0,44
	n2xk2	5,19	4,13 a	0,55	2,63	0,54	0,47
270	n1xk1	4,04	3,05	0,45 b	3,29	0,55	0,44 b
	n1xk2	4,08	3,40	0,48 ab	3,71	0,51	0,49 ab
	n2xk1	4,20	3,74	0,56 ab	4,03	0,54	0,52 ab
	n2xk2	4,13	4,10	0,59 a	3,37	0,54	0,60 a

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0,05$). ddt: Días después del trasplante.

Tabla 7

Prueba DMS al 5%, concentraciones (%) de micro nutriente en el efecto de dosis e interacciones nitrógeno y potasio aplicados bajo fertirriego en granadilla var. "Colombiana"

ddt	Trat	Concentraciones foliares (ppm)				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
180	n1xk1	88,95	38,9	3,90 b	98,45	58,05 a
	n1xk2	83,40	52,18	4,58 b	95,28	43,33 ab
	n2xk1	91,05	59,78	4,93ab	97,33	55,60 a
	n2xk2	67,30	64,45	6,93 a	110,68	32,18 b
270	n1xk1	94,03	47,45	2,93 b	91,33 b	69,93
	n1xk2	142,03	78,93	3,00 b	109,20 ab	57,30
	n2xk1	153,28	87,83	3,60 b	116,68 ab	75,28
	n2xk2	107,53	247,9	6,85 a	138,05 a	63,95

Medias con letras distintas en el mismo periodo (ddt) indican diferencias significativas según el test DMS ($p \leq 0,05$). ddt: Días después del trasplante.

Rodríguez *et al.* (2009) reportaron que las concentraciones de potasio en hojas aumentaron por el incremento en la fertilización potásica, lo que coincide con los resultados de este estudio; así también Silva *et al.* (2016) al ensayar varias dosis de nitrógeno en maracuyá, no obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre

tratamientos, es decir el incremento de nitrógeno en fertilización no incrementó su contenido en tejido foliar, como ocurrió en el presente estudio.

En oposición, Moura *et al.* (2017) detectó que las concentraciones foliares de potasio, fósforo y azufre no fueron alteradas por dosis ascendentes de nitrógeno (100 a 500 kg ha^{-1}), mientras que

registraron el incremento en la presencia de nitrógeno en tejido foliar. Rodríguez-Yzquierdo (2020) reportaron mayor contenido de N en hojas (de 3,3% a 5,9%) al incrementar su concentración en 2 programas de fertilización, resultado que es opuesto al del presente estudio ya que el contenido de nitrógeno foliar no fue afectado por los tratamientos.

Las concentraciones de Ca y Mg no fueron influenciadas por los diferentes tratamientos e interacciones (Tabla 7), resultados contrarios a lo reportado por Moura et al. (2017) en *P. edulis*, quienes encontraron que el incremento en la fertilización nitrogenada incrementaba el Mg y reducía el Ca en hojas; además, la concentración de S no fue influenciada por la fertilización.

CONCLUSIONES

Las dosis altas de nitrógeno y potasio (200 kg ha⁻¹) aplicadas en la fase de crecimiento vegetativo, influyeron positivamente en las variables: altura de planta, índice de verdor, área foliar y concentración de potasio foliar. Se evidenció el sinergismo y

equilibrio entre nitrógeno y potasio aplicados en dosis altas, beneficiando el crecimiento integral de las plantas de granadilla en su etapa de crecimiento vegetativo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) por el financiamiento de esta

investigación mediante el proyecto "Productividad y Competitividad Frutícola Andina", ATN/RF-16111-RG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiyelaagbe, O.; Fagbatide, J.; Makinde, A. 2005. Effects of N fertilization on the vegetative growth of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) seedlings. *Journal of food agriculture and Environmental* 3(1): 62-64.
- Arias, J.; Ocampo, J.; Urrea, R. 2016. Sistemas de polinización en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) como base para estudios genéticos y de conservación. *Acta Agronómica* 65(2): 197-203.
- Barker, A.; Pilbeam, D. 2007. *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Boca Ratón, Estados Unidos. 773 pp.
- Bernal, J. 2010. El cultivo de granadilla. Corpoica. Disponible en: <https://es.slideshare.net/cristianperezperez56/cultivo-de-la-granadilla>
- Blanco, F.; Folegatti, M. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Revista Science Agricultural* 62(4): 305-309.
- Cabezas, M.; Sánchez, C. 2008. Effect of nutrient elements deficiencies on the dry matter partitioning in nursery plants of curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Agronomía Colombiana* 26(2): 197-204.
- Cruz, N. 2003. Fertilización en plántulas de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham. y *Pinus ayacahuite* ehre in vivero. Tesis pregrado, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco. México. 101 pp.
- Freitas, C.; Costa, C.; Bezerra, F.; Montenegro, A.; Teixeira, A. 2009. Root system of passion fruit plant irrigated submitted at different potassium levels. *Journal of Scientia Agraria* 1(3): 175-183.
- González-Dugo, V.; Jean-Louis D.; Gastal. F. 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(3): 529-544.
- Guerrero, R.; Clavijo, J.; Malavolta, E.; Zapata, R.; Espinoza, J.; Amézquita, E.; León, F.; Muñoz, R.; Burbano, E. 2001. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 528 pp.
- Gutiérrez, M. 2002. Mecanismos de absorción de nutrimentos por el follaje. Fertilización foliar: Principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 145 pp.
- Gutiérrez, C.; Klein A. 2018. Floral Larceny by the stingless bee *Trigona almalhea* on grandadilla (*Passiflora ligularis* Juss). *Journal of Pollination Ecology* 22(8): 75-81.
- Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI). 2019. Precipitación, humedad relativa. Reporte anual. Quito, Ecuador. Disponible en: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Lotaip/Planificacion/2019/Noviembre/Plan_Anuual_Terminado_2019.pdf
- Melgarejo, L. (Ed.). 2015. Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss): caracterización ecofisiológica del cultivo. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 304 pp.
- Melgarejo, L. 2019. Gulupa (*Passiflora edulis*), curuba (*Passiflora tripartita*), aguacate (*Persea americana*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 280 pp.
- Moura, R.; Sousa, A.; Santos, E.; Silva, G.; Medeiros, T.; Moreira, E. 2017. Nutritional status of yellow passion fruit submitted to nitrogen sources by fertigation. *Comunicata Scientiae* 8(4): 562-569.
- Jones, W. 2008. Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Agronomía colombiana* 26(2): 197-204.
- Jungers, J.; Sheaffer, C.; Lamb, J. 2015. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on prairie biomass yield, ethanol yield, and nutrient harvest. *BioEnergy Research* 8(1): 279-291.
- Lizarazo, M.Á.; Hernández, C.A.; Fischer, G.; Gómez, M.I. 2013. Response of the banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) to different levels of nitrogen, potassium and magnesium. *Agronomía Colombiana* 31(2): 184-194.
- Lucas, A.; Freizzone, J.; Coelho Filho, M. 2012. Passion fruit crops root distribution characteristics under fertigation. *Irriga Journal* 17(2): 245-250.
- Navarrete, J. 2017. Estudio de la producción y comercialización de la granadilla (*Passiflora ligularis*) en la provincia de Imbabura. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Ecuador. 105 pp.
- Navarro, G.G.; Navarro, G.S. 2014. Fertilizantes, química y acción. Mundi-Prensa. Madrid, España. 241 pp.
- Ocampo, J.; Arias, J.; Urrea, R. 2015. Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9(1): 9-23.
- Parra, M. 2013. Acuerdo de competitividad para la cadena productiva de pasifloras en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia. 173 pp.
- Recalde, M.; Gusqui, L.; Jumbo, J.; López, X. 2009. Determinación de curvas de absorción de macroelementos, durante el primer año de desarrollo del cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis*) en Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista de investigación científica UTE* 1(1): 12-36.
- Rivera, B.; Miranda, D.; Avila, L.; Nieto, A. 2002. Manejo Integral del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). Editorial Litoas. Manizales, Colombia. 130 pp.
- Rodríguez, A.; Cavalcante, L.; Oliveira, A.; Sousa, J.; Meazquita, F. 2009. Produção e nutrição mineral do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizante supermagro e potássio.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13(2): 117-124.
- Rodríguez, F. 2010. Manual de nutrición vegetal. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 105 pp.
- Rodríguez, G. 2016. Evaluación del manejo de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en ciclo anual, con riego deficitario controlado y control biológico de *Fusarium* spp. a base de *Trichoderma* spp. Tesis doctorado, Universidad Central de Venezuela, Caracas. Venezuela. 181 pp.
- Rodríguez-Yzquierdo, G.; Pradenas-Aguila, H.; Basso-de-Figuera, C.; Barrios-García, M.; León-Pacheco, R.; Pérez-Macias, M. 2020. Effect of doses of nitrogen in the agronomy and physiology of yellow passion fruit. *Agronomía mesoamericana* 31(1): 117-128
- Silva, R.; Lucena, I.; Nascimento, A.; Silva, L.; Souza, C.; Silva, T.; Ferreira, L. 2016. Effect of humic substances and nitrogen fertilization on yellow passion fruit cultivation in the Brazilian semiarid region. *African Journal of Agricultural Research* 11(35): 3307-3313.
- Silva, G.; Souza, M. 2020. Origin of the cultivated passion fruit *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* and genomic relationships among species of the subgenera *Decaloba* and *Passiflora*. *Plant Biology*. In press.
- Singh, S.; Reddy, V.; Sharma, M.; Agnihotri, R. 2015. Dynamics of plant nutrients, utilization and uptake, and soil microbial community in crops under ambient and elevated carbon dioxide. En: Rakshit, A.; Singh, H.B.; Sen, A. (Eds). *Nutrient use efficiency: from basics to advances*. Springer. USA. pp 381-399.
- Soriano, A. 2011. Efecto de la fertilización con N, P y K en la calidad de la planta de *P. patula* y *P. devoniana* en vivero. Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Montecillo. México. 44 pp.
- Yockteng, R.; Coppens, G.; Souza, T. 2011. *Passiflora* L. Springer. Verlag, Berlin. 129 pp.
- Villavicencio, A.; Vásquez, W. 2008. Guía Técnica de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. 444 pp.
- Valarezo, C.; Valarezo, C.; Mendoza, A.; Álvarez, P.; Vásquez, C. 2014. El cultivo de maracuyá: Manual técnico para su manejo en el Litoral ecuatoriano. INIAP. Portoviejo, Ecuador. 74 pp.