

# Determinación de criterios de selección para el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo invernadero

## Determination of Selection Criteria for Tomato (*Solanum Lycopersicum*) Yield under Greenhouse Conditions

José Eladio Monge-Pérez<sup>1\*</sup>  
Michelle Loría-Coto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia. Sabánilla, Costa Rica.

\*Autor de correspondencia: melonescr@yahoo.com.mx

### Resumen

Se establecieron correlaciones de Pearson entre ocho variables para 63 genotipos de tomate producidos bajo invernadero, las variables evaluadas fueron: edad al inicio de la cosecha (EIC), peso del fruto (PF), número de frutos por racimo (NFR), número de lóculos por fruto (NLF), rendimiento (R), firmeza del fruto (F), porcentaje de sólidos solubles totales (SST) y acidez del jugo del fruto (pH). Además, se realizó el análisis de sendero para el rendimiento. El cultivo se manejó con fertirrigación en sustrato de fibra de coco. Se obtuvo una correlación positiva y altamente significativa entre el rendimiento y PF ( $r = 0.59^{**}$ ), F ( $r = 0.54^{**}$ ), NLF ( $r = 0.45^{**}$ ) y EIC ( $r = 0.40^{**}$ ). El principal efecto directo positivo sobre el rendimiento fue ejercido por F (coeficiente de sendero-CS = 0.33), seguido por PF (CS = 0.21), NFR (CS = 0.08) y NLF (CS = 0.06), mientras que los máximos efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron ejercidos por PF (CS = 0.31), EIC (CS = 0.30), F (CS = 0.22) y NLF (CS = 0.22) a través de SST; y por PF (CS =

### Abstract

For 63 tomato genotypes grown under greenhouse conditions the researchers estimated Pearson correlations among eight variables: days to start of harvest (DSH), fruit weight (FW), number of fruits per cluster (NFC), number of locules per fruit (NLF), yield (Y), fruit firmness (F), percentage of total soluble solids (TSS), and fruit juice acidity (pH). Also, path analysis was estimated for yield. The crop was planted on coconut fiber substrate, and managed with fertigation. Yield showed a positive and highly significant correlation with FW ( $r = 0.59^{**}$ ), F ( $r = 0.54^{**}$ ), NLF ( $r = 0.45^{**}$ ) and DSH ( $r = 0.40^{**}$ ). The main positive direct effects on yield were exhibited by F (path coefficient-PC = 0.33), FW (PC = 0.21), NFC (PC = 0.08) and NLF (PC = 0.06), while maximum positive indirect effects on yield were exhibited by FW (PC = 0.31), DSH (PC = 0.30), F (PC = 0.22) and NLF (PC = 0.22) through TSS; and FW (PC = 0.22) and DSH (PC = 0.20) through F. On the other hand, the main negative direct effects on yield were exhibited by TSS (PC = -0.43)

0.22) y EIC (CS = 0.20) a través de F. Por otra parte, las siguientes variables ejercieron un efecto directo negativo sobre el rendimiento SST (CS = -0.43) y EIC (CS = -0.22). Se concluye que F y PF fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento en este ensayo, que son criterios de selección importantes en fitomejoramiento de tomate cultivado bajo invernadero.

### Palabras clave

Calidad, rendimiento, firmeza, peso, fitomejoramiento.

and DSH (PC = -0.22). It is concluded that F and FW were the main yield- contributing variables in these trials, and thus represent important selection criteria for greenhouse tomato breeding.

### Keywords

Quality, yield, fruit firmness, fruit weight, plant breeding.

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo popular que se siembra en el mundo durante todo el año; pertenece a la familia Solanaceae y es originario de la región andina en Suramérica y de México. Esta hortaliza tiene un valor alto, tanto a nivel comercial como nutricional (Bayomi *et al.*, 2020; Rojalin *et al.*, 2018; Meena *et al.*, 2015; Shankar *et al.*, 2014). El tomate es una fuente importante de vitaminas A y C; minerales como Ca, P y Fe, y antioxidantes como el licopeno (Islam *et al.*, 2010; Meena y Bahadur, 2014; Singh *et al.*, 2018).

En el caso del tomate producido bajo invernadero se cultivan principalmente genotipos de crecimiento indeterminado, de diferentes tamaños de fruto: pequeños (*cherry* y *uva*), medianos (*cocktail*), y grandes (gordos, para racimo y *saladette*) (Castellanos, 2009).

El desarrollo de variedades de alto rendimiento requiere del conocimiento detallado de la variabilidad genética presente en el germoplasma del cultivo, la asociación entre los componentes de rendimiento, los insumos requeridos y las prácticas de cultivo (Bayomi *et al.*, 2020).

El rendimiento es un carácter cuantitativo, controlado por muchos genes (Rojalin *et al.*, 2018); es el resultado del efecto combinado de varias características componentes y del ambiente. Un programa de fitomejoramiento que busque el aumento en la productividad de la planta requiere la consideración, no sólo del rendimiento sino también de los componentes que tienen efecto directo o indirecto sobre él (Rajolli *et al.*, 2017). En tomate, el rendimiento es una característica compleja y es resultado de la expresión y asociación de diferentes características altamente influenciadas por el ambiente, por lo que su mejoramiento directo es difícil (Meena *et al.*, 2015).

El grado y dirección de la relación entre dos o más variables puede ser hallado a través de la medida estadística del coeficiente de correlación, el cual ayuda a medir la relación mutua entre varias características de plantas y determina aquellos componentes sobre los que se puede hacer selección para el mejoramiento genético del rendimiento y de los rasgos que contribuyen a la calidad (Bayomi *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2018).

El análisis de correlación indica el patrón de asociación de las características componentes con el rendimiento, aunque representa simplemente la influencia general de una característica particular sobre el rendimiento, pero no provee una relación de causa-efecto. En este sentido, la técnica del análisis del coeficiente de sendero facilita la partición de los coeficientes de correlación en efectos directos e indirectos de varias características sobre el rendimiento (Rojalin *et al.*, 2018; Rajolli *et al.*, 2017). Esta técnica mide la influencia directa de una variable sobre otra y es útil para formular una estrategia de fitomejoramiento (Meena *et al.*, 2015; Anuradha *et al.*, 2018; Hasan *et al.*, 2016). Por lo tanto, los estudios de correlación, en conjunto con el análisis de coeficiente de sendero, revelan un mejor panorama de la relación causa-efecto de diferentes atributos (Singh *et al.*, 2018).

La información obtenida del análisis de sendero, ayuda a dar un peso apropiado a las diferentes características de la selección para que el mejoramiento de las características deseadas se pueda llevar a cabo efectivamente (Hasan *et al.*, 2016).

Las características que muestran un efecto directo alto sobre el rendimiento, indican que la selección directa puede ser efectiva y que puede mejorar el rendimiento (Meena y Bahadur, 2015). Hay investigaciones sobre correlaciones entre características en tomate (Hernández-Bautista *et al.*, 2016; Causse *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2006; Bayomi *et al.*, 2020) y de análisis de sendero en tomate (Islam *et al.*, 2010; Meena y Bahadur, 2014; Meena y Bahadur, 2015; Singh *et al.*, 2018; Meitei *et al.*, 2014; Shankar *et al.*, 2014; Saleem *et al.*, 2013; Mustafa *et al.*, 2018; Meena *et al.*, 2015; Buhroy *et al.*, 2017; Hasan *et al.*, 2016; Rojalin *et al.*, 2018).

El objetivo de esta investigación fue cuantificar las relaciones entre ocho variables, y obtener el análisis de sendero para el rendimiento en 63 genotipos de tomate cultivados bajo ambiente protegido.

## Materiales y métodos

Se sembraron 63 genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), correspondientes a seis tipos diferentes: *cherry*, *cocktail*, gordo, marmande, uva y en forma de pera (cuadro 1).

La siembra se realizó en condiciones hidropónicas en el invernadero de hortalizas de la Estación Experimental Agrícola “Fabio Baudrit Moreno” (EEAFBM), localizada en Barrio San José de Alajuela, Costa Rica, a una altitud de 883 msnm, y situada a 10°1' latitud Norte y 84°16' longitud Oeste (Monge-Pérez y Loría-Coto, 2019).

El semillero se sembró en bandejas de germinación de 8 x 16 alveólos y se utilizó como sustrato una mezcla de fibra de coco molida y abono orgánico marca Juan Viñas, en proporción 1:1. El trasplante se realizó el 25 de septiembre de 2012 y la cosecha inició el 16 de noviembre de 2012 (52 días después del trasplante-ddt); la evaluación de los frutos se llevó a cabo hasta el 22 de enero de 2013 (119 ddt), para un total de 10 cortes (cosechas). Es importante indicar que la fructificación se extendió más allá del período evaluado, pero no fue posible cuantificar dicha producción adicional.

Durante el desarrollo del ensayo, las condiciones ambientales en el interior del invernadero fueron las siguientes: la temperatura diurna promedio varió entre 23 y 31

°C, la temperatura nocturna promedio varió entre 17 y 22 °C, la humedad relativa diurna promedio varió entre 30 y 94 % y la humedad relativa nocturna promedio varió entre 64 y 100%.

El cultivo se realizó en sacos plásticos rellenos con fibra de coco, de 1 m de largo, 20 cm de ancho y 15 cm de alto. La distancia de siembra fue de 25 cm entre plantas y 1.54 m entre hileras para una densidad de 2.60 plantas/m<sup>2</sup>. Las plantas se sujetaron a través de dos mallas plásticas, ubicadas una a cada lado de las hileras de plantas. Todas las plantas se manejaron a un solo tallo, eliminando los tallos secundarios.

**Cuadro 1**  
**Genotipos de tomate utilizados en la investigación**

Tipo de tomate	Genotipos
Cherry (n = 25)	Tangerino (United Genetics), 8263 (Nirit), Amarillo (DP Seeds), Mini Charm (DP Seeds), Mini Star (DP Seeds), Cherry 1 (Green Seeds), Cherry 2 (Green Seeds), Cherry 3 (Green Seeds), Cherry 4 (Green Seeds), Baby Cakes (DP Seeds), Grande Charm (DP Seeds), Sweet Cherry (Western Hybrid), BHN-624 (Johnny's), BHN-968 (Johnny's), Black Cherry (Johnny's), Favorita (Johnny's), Gold Nugget (Johnny's), Matt's Wild Cherry (Johnny's), Sakura (Johnny's), Sun Cherry (Johnny's), Sun Gold (Johnny's), Tomatoberry Garden (Johnny's), Washington Cherry (Johnny's), White Cherry (Johnny's), Yellow Mini (Johnny's)
Cocktail (n = 3)	72919 (Nirit), Giovanni (Nirit), Z-484 (Nirit)
Gordo (n = 17)	Endeavour (Rijk Zwaan), 68-39-179 (Pandía), 68-39-177 (Pandía), VT-4 (Namdhari), Furia (Green Seeds), Aida (Nirit), Metropol (Nirit), Otelo (Nirit), Tatiana (Nirit), 7026 (Nirit), NP-498 (Tan Nong Phat), IT-01-27 (DP Seeds), Pamela (DP Seeds), Sacramento (DP Seeds), NS-537 (Namdhari), Tropic (Green Seeds), Criollo (Rijk Zwaan)
Marmande (n = 2)	Grandma's Little Girl (DP Seeds), Grandma's Pick (DP Seeds)
Forma de pera (n = 1)	Yellow Pear (Johnny's)
Uva (n = 15)	Grappolino (Nirit), Lunico (Nirit), Hy Brix (DP Seeds), Pink Beauty (DP Seeds), Red Grape (DP Seeds), Uva Roja (DP Seeds), Zuchello (DP Seeds), Dolce Vita (DP Seeds), Red Scorpion (DP Seeds), Sweet Grape (Western Hybrid), Five Star Grape (Johnny's), Golden Sweet (Johnny's), Red Pearl (Johnny's), Sakura Honey (Johnny's), Smarty (Johnny's)

Nota: Elaboración propia a partir de los genotipos utilizados. El nombre entre paréntesis corresponde a la empresa productora de la semilla de cada genotipo.

Se implementó un sistema de manejo integrado de plagas y se utilizó un programa de fertirrigación validado para la producción comercial de tomate, según las experiencias previas en el invernadero de la EEAFBM (cuadro 2). El fertirriego se suministró a cada hora, entre las 7:00 a.m. y las 4:00 p.m., mediante un sistema de riego por goteo, con goteros cuya descarga era de dos litros por hora.

## Cuadro 2

Composición de la solución nutritiva utilizada en el cultivo de tomate bajo invernadero, según las diferentes etapas fenológicas (datos en dosis por litro)

Fuente	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
<b>Solución A</b>			
Sulfato de magnesio (mg)	730	750	750
Nitrato de potasio (mg)	130	0	0
Sulfato de potasio (mg)	100	140	150
Ácido nítrico (ml)	0.025	0.025	0.025
Fe-EDTA (mg)	20	20	20
Fosfato monopotásico (mg)	240	270	270
<b>Solución B</b>			
Nitrato de calcio (mg)	740	900	900
Nitrato de potasio (mg)	0	100	190
Cloruro de potasio (mg)	60	120	140
Ácido nítrico (ml)	0.025	0.025	0.025
Sulfato de cobre (mg)	0.8	0.8	0.8
Sulfato de zinc (mg)	0.85	0.85	1
Manvert-Mn (ml)	10	9	9
Ácido bórico (mg)	4	4	4
Molibdeno mix (ml)	0.002	0.002	0.002

Nota: Etapa 1: trasplante a inicio de floración. Etapa 2: inicio de floración a inicio de fructificación. Etapa 3: inicio de fructificación a final del cultivo.

Se evaluaron las siguientes variables:

- Edad al inicio de la cosecha (EIC en ddt): se registró la fecha de inicio de cosecha para cada parcela y se calculó el número de días transcurridos desde el trasplante.
- Número de frutos por racimo (NFR): se obtuvo al seleccionar 10 racimos por parcela, se contó el número de frutos por racimo y se calculó el promedio.
- Número de lóculos por fruto (NLF): se obtuvo al realizar un corte transversal en el fruto, se contabilizó el número de lóculos, se evaluaron 10 frutos por parcela y se obtuvo el promedio.
- Peso del fruto (PF en g): se midió el peso individual de 20 frutos por cada parcela y se calculó el promedio.
- Firmeza del fruto (F en N): se midió la firmeza de 20 frutos por cada parcela y se obtuvo el promedio.
- Porcentaje de sólidos solubles totales (SST en °Brix): se midió el porcentaje de sólidos solubles totales de 20 frutos por cada parcela y se calculó el promedio.
- Acidez del jugo del fruto (pH): se midió la acidez de 10 frutos por cada parcela y se obtuvo el promedio.

- Rendimiento (R en kg/planta): se contabilizó el peso del total de los frutos producidos en cada parcela y se dividió entre el número de plantas por parcela. El rendimiento se evaluó hasta los 119 ddt.

El peso de los frutos se obtuvo con una balanza electrónica marca Ocony, modelo TH-I-EK de  $5000.0 \pm 0.1$  g de capacidad. El porcentaje de sólidos solubles totales se determinó con un refractómetro manual marca Atago, modelo N-1a, con una escala de  $0.0 - 32.0 \pm 0.2$  °Brix. Para la evaluación de firmeza se utilizó un penetrómetro marca Chatillon, modelo DPP-100N con capacidad de  $100 \pm 1$  N. Para la evaluación de la acidez del jugo se utilizó un medidor electrónico de pH marca Hanna Instruments, modelo HI 98129 con escala de  $0.00 - 14.00 \pm 0.01$ .

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar, donde los tratamientos fueron cada genotipo de tomate, y se establecieron dos repeticiones por cada genotipo para un total de 126 parcelas. La unidad experimental (parcela) fue de dos sacos con cuatro plantas cada una (ocho plantas) y los datos se obtuvieron a partir de los frutos totales producidos en dicha parcela. Asimismo se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las ocho variables evaluadas y se realizó el análisis de sendero para el rendimiento (variable dependiente), en cuyo caso se obtuvo el coeficiente de sendero (CS), tanto para los efectos directos como indirectos de cada variable.

## Resultados

En el cuadro 3 se muestran los estimadores estadísticos de las variables evaluadas, en el cuadro 4 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson (r) y en el cuadro 5 se presentan los coeficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos e indirectos de las variables evaluadas sobre el rendimiento en tomate, según el análisis de sendero.

Cuadro 3

Estimadores estadísticos de las variables evaluadas en tomate

Variable	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
R	1.45	0.23	3.22	1.46	0.52	35.68
PF	51.25	4.00	235.30	18.50	57.94	113.06
SST	6.42	3.60	11.60	6.05	1.90	29.64
pH	3.97	3.52	4.82	3.95	0.22	5.45
F	33.43	4.60	64.60	34.70	13.10	39.18
EIC	69.69	52	83	73	7.90	11.33
NLF	3.53	2	10	2	2.91	82.49
NFR	14.10	3	42	12	9.79	69.47

Nota: R: rendimiento (kg/planta). PF: peso del fruto (g). SST: porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix). pH: acidez del jugo del fruto (pH). F: firmeza del fruto (N). EIC: edad al inicio de la cosecha (ddt). NLF: número de lóculos por fruto. NFR: número de frutos por racimo.

Cuadro 4

Coefficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables evaluadas en tomate

	PF	SST	pH	F	EIC	NLF	NFR
R	0.59**	-0.56**	-0.05 <sup>ns</sup>	0.54**	0.40**	0.45**	-0.42**
PF		-0.72**	-0.04 <sup>ns</sup>	0.67**	0.62**	0.75**	-0.67**
SST			0.28**	-0.50**	-0.71**	-0.52**	0.61**
pH				0.01 <sup>ns</sup>	-0.28**	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>
F					0.61**	0.50**	-0.46**
EIC						0.49**	-0.35**
NLF							-0.50**

Nota: R: rendimiento (kg/planta). PF: peso del fruto (g). SST: porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix). pH: acidez del jugo del fruto (pH). F: firmeza del fruto (N). EIC: edad al inicio de la cosecha (ddt). NLF: número de lóculos por fruto. NFR: número de frutos por racimo. ns: no significativa. \*Significativa (p≤0.05). \*\*Altamente significativa (p≤0.01).

Cuadro 5

Coefficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos (diagonal, en negritas) e indirectos de las variables sobre el rendimiento (kg/planta) en tomate

	PF	SST	pH	F	EIC	NLF	NFR	CR
PF	<b>0.21</b>	0.31	-0.001	0.22	-0.14	0.04	-0.05	0.59**
SST	-0.15	<b>-0.43</b>	0.01	-0.16	0.16	-0.03	0.05	-0.56**
pH	-0.01	-0.12	<b>0.02</b>	0.002	0.06	-0.001	-0.004	-0.05 <sup>ns</sup>
F	0.14	0.22	0.001	<b>0.33</b>	-0.14	0.03	-0.04	0.54**
EIC	0.13	0.30	-0.01	0.20	<b>-0.22</b>	0.03	-0.03	0.40**
NLF	0.16	0.22	-0.001	0.16	-0.11	<b>0.06</b>	-0.04	0.45**
NFR	-0.14	-0.26	-0.001	-0.15	0.08	-0.03	<b>0.08</b>	-0.42**

Nota: PF: peso del fruto (g). SST: porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix). pH: acidez del jugo del fruto (pH). F: firmeza del fruto (N). EIC: edad al inicio de la cosecha (ddt). NLF: número de lóculos por fruto. NFR: número de frutos por racimo. CR: correlación con el rendimiento. ns: no significativa. \*Significativa (p≤0.05). \*\*Altamente significativa (p≤0.01).

Discusión

Entre las variables evaluadas sobresale el alto coeficiente de variación obtenido por PF, NLF y NFR. Las otras variables que también mostraron una variabilidad importante de los datos fueron F, R y SST.

De las 28 correlaciones de Pearson calculadas entre las variables, cinco de ellas fueron no significativas y 23 fueron altamente significativas (p≤0.01). Por su magnitud,

sobresalen las correlaciones obtenidas entre NLF y PF, entre SST y PF, entre EIC y SST, entre F y PF, entre NFR y PF, entre EIC y PF, entre NFR y SST y entre EIC y F.

La correlación hallada entre NLF y PF fue positiva y altamente significativa ( $r = 0.75^{**}$ ). Otros investigadores también hallaron una correlación positiva y significativa o altamente significativa entre ambas variables ( $r = 0.155$  a  $0.577$ ), pues, efectivamente, al aumentar el número de lóculos del fruto, generalmente, el tamaño y el peso del fruto son también mayores (Bayomi *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2006; Mustafa *et al.*, 2018; Shankar *et al.*, 2014; Thapa *et al.*, 2016; Jogi *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2018; Ullah *et al.*, 2015); sin embargo, en otros estudios dicha correlación no fue significativa (Rajolli *et al.*, 2017; Rojalín *et al.*, 2018; Khapte y Jansirani, 2014), lo que puede deberse al efecto de los genotipos incluidos en el análisis.

En la presente investigación se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre SST y PF ( $r = -0.72^{**}$ ), esto se puede explicar porque, en muchos casos, el fitomejoramiento de tomate de frutos pequeños se ha enfocado en obtener un alto porcentaje de sólidos solubles totales, mientras que esta característica quizás ha sido poco atendida en los tomates de frutos más grandes; otros investigadores también hallaron resultados negativos, y significativos o altamente significativos entre esas variables ( $r = -0.188$  a  $-0.546$ ) (Singh *et al.*, 2018; Anuradha *et al.*, 2018; Reddy *et al.*, 2013; Shankar *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2006; Bayomi *et al.*, 2020). Sin embargo, otros autores obtuvieron una correlación no significativa entre dichas variables (Rajolli *et al.*, 2017; Hasan *et al.*, 2016; Meena *et al.*, 2015; Mustafa *et al.*, 2018; Meena y Bahadur, 2015; Jogi *et al.*, 2018; Khapte y Jansirani, 2014), lo que enfatiza el efecto de los genotipos incluidos en el estudio, dado que no necesariamente todos los tomates de frutos pequeños presentan alto porcentaje de sólidos solubles totales. En otra investigación se halló una correlación negativa y significativa para tomate cherry ( $r = -0.69^{*}$ ), pero en tomate gordo la correlación no fue significativa (Causse *et al.*, 2003).

La correlación obtenida entre EIC y SST fue negativa y altamente significativa ( $r = -0.71^{**}$ ), esto se debe a que los genotipos de tomate de frutos pequeños (con mayor porcentaje de sólidos solubles totales) requieren menos tiempo para el llenado y maduración de los frutos, en comparación con los genotipos de frutos de mayor tamaño. Por el contrario, en otro estudio se encontró una correlación positiva y significativa ( $r = 0.25^{*}$ ) (Mustafa *et al.*, 2018), mientras que otros investigadores obtuvieron una correlación no significativa (Hasan *et al.*, 2016; Reddy *et al.*, 2013), lo que se puede deber a características propias de los genotipos incluidos en el ensayo.

En el presente trabajo se halló una correlación positiva y altamente significativa entre F y PF ( $r = 0.67^{**}$ ), esto se puede explicar dado que los frutos de mayor tamaño presentan más cantidad de lóculos (y de tabiques entre ellos), lo que genera una mayor firmeza al fruto; otros autores encontraron también un resultado positivo, y significativo o altamente significativo entre esas variables ( $r = 0.146 - 0.636$ ) (Khapte y Jansirani, 2014; Jogi *et al.*, 2018; Mustafa *et al.*, 2018; Rajolli *et al.*, 2017). En otra investigación se halló una correlación positiva y significativa para tomate cherry ( $r = 0.72^{*}$ ), pero en tomate gordo la correlación no fue significativa (Causse *et al.*, 2003).



La correlación encontrada entre NFR y PF fue negativa y altamente significativa ( $r = -0.67^{**}$ ), esto se explica pues los fotoasimilados de la planta se deben repartir entre una mayor cantidad de sumideros, conforme aumenta el número de frutos por racimo, lo que produce menor peso de cada fruto individual (Kultur *et al.*, 2001); sin embargo, en otros estudios dicha correlación no fue significativa (Shankar *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2013; Thapa *et al.*, 2016; Ullah *et al.*, 2015), pues esto podría depender del manejo agronómico que se brinde al cultivo, así como de las condiciones climáticas y del genotipo.

En el presente ensayo se encontró una correlación altamente significativa y positiva entre EIC y PF ( $r = 0.62^{**}$ ) y en otro trabajo se halló un resultado similar ( $r = 0.44^{**}$ ) (Mustafa *et al.*, 2018) que explica que las plantas requieren más tiempo para poder llenar y madurar los frutos de mayor tamaño. Pero en otros estudios, dicha correlación no fue significativa (Hernández-Bautista *et al.*, 2016; Hasan *et al.*, 2016; Saleem *et al.*, 2013; Meitei *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2013), lo que puede reflejar el efecto de los genotipos involucrados en la investigación.

La correlación hallada entre NFR y SST fue positiva y altamente significativa ( $r = 0.61^{**}$ ), esto se debe a que los frutos de tomate de menor tamaño, que presentan en muchas ocasiones mayor porcentaje de sólidos solubles, tienen generalmente racimos con una mayor cantidad de frutos, en comparación con los genotipos de frutos de mayor tamaño; sin embargo, en otros estudios dicha correlación no fue significativa (Shankar *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2013), probablemente debido a la influencia de los diversos materiales genéticos incluidos en el estudio.

En la presente investigación se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre EIC y F ( $r = 0.61^{**}$ ), lo cual obedece a que los frutos de mayor tamaño tienen generalmente mayor firmeza y, además, tardan más tiempo en madurar; otros investigadores también confirman resultado positivo y significativo ( $r = 0.27^{*}$ ) (Mustafa *et al.*, 2018).

Con respecto al rendimiento, las siguientes variables mostraron una correlación positiva y altamente significativa con dicha característica: PF ( $r = 0.59^{**}$ ), F ( $r = 0.54^{**}$ ), NLF ( $r = 0.45^{**}$ ) y EIC ( $r = 0.42^{**}$ ), mientras que las siguientes variables obtuvieron una correlación negativa y altamente significativa: SST ( $r = -0.56^{**}$ ) y NFR ( $r = -0.42^{**}$ ).

Con relación al resultado del análisis de sendero para el rendimiento, el principal efecto directo positivo fue ejercido por F (CS = 0.33). Además, las otras variables que ejercieron un efecto directo positivo relevante sobre el rendimiento fueron PF (CS = 0.21), NFR (CS = 0.08) y NLF (CS = 0.06). Los principales efectos indirectos positivos sobre el rendimiento se ejercieron por PF (CS = 0.31), EIC (CS = 0.30), F (CS = 0.22) y NLF (CS = 0.22), a través de SST; sin embargo, curiosamente, la correlación entre SST y esas cuatro características fue negativa y significativa. Otros efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron dados por PF (CS = 0.22) y EIC (CS = 0.20), a través de F.

Por otra parte, las variables que ejercieron un efecto directo negativo sobre el rendimiento son SST (CS = -0.43) y EIC (CS = -0.22); además, los principales efectos

indirectos negativos fueron por NFR (CS = -0.26) a través de SST, por SST (CS = -0.16) y NFR (CS = -0.15) a través de F y por SST (CS = -0.15) a través de PF.

En el cuadro 6 se muestran las variables de los efectos directos (positivos y negativos) más importantes sobre el rendimiento en tomate, según cada una de las diversas investigaciones realizadas sobre este tema.

### Cuadro 6

Coefficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos (positivos y negativos) más importantes (primera y segunda posición en cada caso, según el valor del coeficiente), sobre el rendimiento (kg/planta) en tomate, según cada caso informado en la literatura

Caso	Efectos positivos (CS)		Efectos negativos (CS)		Referencia
	1° posición	2° posición	1° posición	2° posición	
1	0.598 (NFP)	0.315 (AP)	-0.027 (AF)	-0.026 (F)	Rajolli <i>et al.</i> , 2017
2	0.334 (PF)	0.204 (NLF)	-0.099 (AF)	-0.085 (EIF)	Rojalin <i>et al.</i> , 2018
3	0.704 (PF)	0.590 (EIF)	-0.792 (E50F)	-0.169 (NTPP)	Hasan <i>et al.</i> , 2016
4	2.100 (NRP)	1.990 (PFR)	-0.970 (PH)	-0.670 (EIF)	Buhroy <i>et al.</i> , 2017
5	1.112 (PF)	0.488 (CF)	-0.048 (SST)	-0.039 (AF)	Meena <i>et al.</i> , 2015
6	0.532 (NFP)	0.456 (PF)	-0.211 (TF)	-0.183 (SST)	Mustafa <i>et al.</i> , 2018
7	0.255 (NLF)	0.255 (GP)	-0.258 (SST)	-0.197 (AP)	Renuka <i>et al.</i> , 2017
8	1.345 (PF)	0.893 (NFP)	-0.489 (AF)	-0.073 (LF)	Saleem <i>et al.</i> , 2013
9	0.944 (PF)	0.507 (NFLP)	-0.107 (NRP)	-0.031 (NHP)	Meena y Bahadur, 2015
10	0.415 (PF)	0.303 (EP)	-0.251 (E50F)	-0.085 (NTPP)	Shankar <i>et al.</i> , 2014
11	0.419 (AF)	0.189 (PF)	-0.594 (E50CF)	-0.492 (E50F)	Meitei <i>et al.</i> , 2014
12	2.206 (AF)	1.222 (AP)	-1.968 (PF)	-1.539 (NTPP)	Reddy <i>et al.</i> , 2013
13	0.797 (PF)	0.463 (NFP)	-0.064 (NTPP)	-0.062 (AF)	Thapa <i>et al.</i> , 2016
14	0.971 (RA)	0.024 (ECF)	-0.016 (NFP)	-0.014 (EIF)	Anuradha <i>et al.</i> , 2018
15	0.996 (NFP)	0.660 (PF)	-0.081 (AP)	-0.078 (LF)	Jogi <i>et al.</i> , 2018
16	1.069 (PF)	0.603 (NFP)	-0.725 (E50F)	-0.147 (AA)	Singh <i>et al.</i> , 2018
17	0.832 (PF)	0.665 (NFP)	-0.539 (AF)	-0.340 (IFF)	Khapte y Jansirani, 2014
18	0.879 (PF)	0.756 (NFP)	-0.125 (LF)	-0.123 (AP)	Ritonga <i>et al.</i> , 2018
19	3.250 (AF)	1.540 (NFP)	-1.380 (PF)	-0.850 (NLF)	Ullah <i>et al.</i> , 2015
20	0.980 (NFP)	0.958 (PF)	-0.277 (EIF)	-0.141 (LF)	Islam <i>et al.</i> , 2010

Nota: PF: peso fruto (g). SST: porcentaje sólidos solubles totales (°Brix). NFP: número frutos por planta. NLF: número de lóculos por fruto. AP: altura planta (cm). AF: ancho fruto (mm). F: firmeza fruto (N). EIF: edad inicio floración (ddt). E50F: edad 50% floración (ddt). NTPP: número tallos principales por planta. NRP: número racimos por planta. PFR: peso fresco raíz (g). PH: peso hoja (g). CF: cuaje de frutos (%). TF: tamaño fruto (mm). GP: grosor pulpa (mm). LF: longitud fruto (mm). NFLP: número flores por planta. NHP: número hojas por planta. EP: espesor pericarpio (mm). E50CF: edad 50 % cuaje frutos (ddt). RA: rendimiento por área (ton/ha). ECF: edad cuaje frutos. AA: ácido ascórbico (mg/100g). IFF: índice forma fruto.

A diferencia de lo obtenido en el presente ensayo, en ningún caso se ha informado que F tenga un efecto directo positivo importante sobre el rendimiento, y sólo en un caso se informó de un efecto directo negativo importante de F sobre dicha variable (Rajolli *et al.*, 2017).

Con relación a PF, en el presente trabajo obtuvo el segundo lugar en importancia por su efecto positivo directo sobre el rendimiento, mientras que en otras 14 investigaciones dicha variable logró la primera o segunda posición en importancia; lo que confirma su influencia positiva sobre el rendimiento en tomate.

Con relación al principal efecto directo negativo sobre el rendimiento, al igual que en el presente ensayo, en otras dos investigaciones también fue para SST (Meena *et al.*, 2015; Renuka *et al.*, 2017), y en otro trabajo dicha característica obtuvo la segunda posición en importancia (Mustafa *et al.*, 2018).

La presente investigación constituye, aparentemente, el primer informe sobre análisis de sendero en tomate cultivado bajo invernadero, realizado fuera de India; sólo se halló un estudio disponible, llevado a cabo bajo estas condiciones de cultivo (Buhroy *et al.*, 2017).

La variable EIC mostró una correlación positiva altamente significativa con el rendimiento, pero su efecto directo fue negativo. En este caso, los factores causales indirectos deben ser considerados simultáneamente para la selección (Reddy *et al.*, 2017).

En el cultivo de melón se encontró que la asociación de caracteres revelada por el análisis de sendero puede estar influenciada por diferentes factores, como el germoplasma utilizado, el ambiente y las variables usadas en el análisis (Feyzian *et al.*, 2009; Reddy *et al.*, 2017), por lo que la aplicabilidad general del análisis de sendero puede ser establecida con el análisis de datos de diferentes grupos de germoplasma y bajo diferentes condiciones de producción (Reddy *et al.*, 2017). Entonces, las diferencias entre los valores obtenidos en el presente ensayo y los datos de la literatura, pueden deberse a las diferencias en el material genético utilizado y en las condiciones ambientales de cada sitio.

## Conclusiones

Se concluye que F y PF fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento, debido a su efecto directo positivo y alto, y su correlación positiva y alta con el rendimiento por planta, y que representan criterios de selección importantes en fitomejoramiento de tomate cultivado bajo invernadero.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Jorge Díaz, Cristina Arguedas, Carolina Ramírez y Julio Vega en el trabajo de campo, y de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés. Asimismo, agradecen el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica para la realización de este trabajo.

## Literatura citada

- Anuradha, B.; Saidaiah, P.; Sudini, H.; Geetha, A. y Reddy, K.R. (2018). Correlation and path coefficient analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(5): 2748-2751.
- Bayomi, K.E.; Abdel-Baset, A.; Nasar, S.M. y Al-Kady, A.E. (2020). Performance of some tomato genotypes under greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Desert Research*. 70(1): 1-10.
- Buhroy, S.; Arumugam, T.; Manivannan, N.; Vethamoni, P.I. y Jeyakumar, P. (2017). Correlation and path analysis of drought tolerance traits on fruit yield in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress condition. *Chemical Science Review and Letters*. 6(23): 1670-1676.
- Castellanos, J.Z. (2009). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Celaya, Guanajuato, México: Intagri S. C.
- Causse, M.; Buret, M.; Robini, K. y Verschave, P. (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*. 68(7): 2342-2350.
- Feyzian, E.; Dehghani, H.; Rezaei, A.M. y Jalali, M. (2009). Correlation and sequential path model for some yield-related traits in melon (*Cucumis melo* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*. 11: 341-353.
- Hasan, M.M.; Bari, M.A. y Hossain, M.A. (2016). Genetic variability and traits association analysis of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) genotypes for yield and quality attributes. *Universal Journal of Plant Science*. 4(3): 23-34.
- Hernández-Bautista, A.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J.J.; López-Fortoso, F.; Cruz-Izquierdo, S.; Chávez-Servia, J.L. y Cadeza-Espinoza, M. (2016). Quantitative trait locus mapping associated with earliness and fruit weight in tomato. *Scientia Agricola*. 73(5): 478-486.
- Islam, B.M.; Ivy, N.A.; Rasul, M.G. y Zakaria, M. (2010). Character association and path analysis of exotic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*. 23(1): 13-18.
- Jogi, M.; Lingaiah, H.B.; Indires, K.M.; Singh, T.H.; Samuel, D.K. y Ramachandra, R.K. (2018). Studies on correlation and path coefficient analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 6(5): 1499-1502.
- Khapte, P.S. y Jansirani, P. (2014). Correlation and path coefficient analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 5(2): 300-304.
- Kultur, F.; Harrison, H.C. y Staub, J.E. (2001). Spacing and genotype affect fruit sugar concentration, yield, and fruit size of muskmelon. *Hort Science*. 36(2): 274-278.
- Kumar, R.; Mishra, N.K.; Singh, J.; Rai, G.K.; Verma, A. y Rai, M. (2006). Studies on yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicon* (Mill.) Wettst.). *Vegetable Science*. 33(2): 126-132.
- Meena, O.P. y Bahadur, V. (2014). Assessment of correlation and path coefficient analysis for yield and yield contributing traits among tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm. *Agricultural Science Digest*. 34(4): 245-250.
- Meena, O.P. y Bahadur, V. (2015). Genetic associations analysis for fruit yield and its contributing traits of indeterminate tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm under open field condition. *Journal of Agricultural Science*. 7(3): 148-163.
- Meena, O.P.; Bahadur, V.; Jagtap, A. y Saini, P. (2015). Genetic analysis of agronomic and biochemical variables among different tomato (*Solanum lycopersicum* L.) accessions. *Journal of Applied and Natural Science*. 7(2): 806-816.
- Meitei, K.M.; Bora, G.C.; Singh, S.J. y Sinha, A.K. (2014). Morphology based genetic variability analysis and identification of important characters for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop improvement. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 14(10): 1105-1111.
- Monge-Pérez, J.E. y Loria-Coto, M. (2019). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *Revista Posgrado y Sociedad*. 17(1): 1-20.

- Mustafa, M.; Syukur, M.; Sutjahjo, S.H. y Sobir, S. (2018). Determination of selection criteria for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield component in the lowland based on path analysis. *Agrotech Journal*. 3(1): 34-41.
- Rajolli, M.G.; Lingaiah, H.B.; Malashetti, I.R.; Bhat, A.S. y Aravindkumar, J.S. (2017). Correlation and path co-efficient studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*. 5(6): 913-917.
- Reddy, B.P.; Begum, H.; Sunil, N. y Reddy, M.T. (2017). Correlation and path coefficient analysis in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(6): 2261-2276.
- Reddy, B.R.; Reddy, M.P.; Reddy, D.S. y Begum, H. (2013). Correlation and path analysis studies for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 4(4): 56-59.
- Renuka, D.M.; Sadashiva, A.T.; Ambreesh, S. y Sheela, M. (2017). Path coefficient analysis for yield and quality components in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Plant Archives*. 17(2): 1350-1352.
- Ritonga, A.W.; Chozin, M.A.; Syukur, M.; Maharijaya, A. y Sobir, S. (2018). Genetic variability, heritability, correlation, and path analysis in tomato (*Solanum lycopersicum*) under shading condition. *Biodiversitas Journal of Biological Biodiversity*. 19(4), 1527-1531.
- Rojalin, M.; Tripathy, P.; Sahu, G.S.; Dash, S.K.; Lenka, D.; Tripathy, B. y Sahu, P. (2018). Character association and path analysis study in determinate tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(11): 863-870.
- Saleem, M.Y.; Iqbal, Q. y Asghar, M. (2013). Genetic variability, heritability, character association and path analysis in F1 hybrids of tomato. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 50(4): 649-653.
- Shankar, A.; Reddy, R.V. y Pratap, M.S. (2014). Genetic association analysis for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Life Sciences International Research Journal*. 1(1): 78-85.
- Singh, A. K.; Solankey, S.S.; Akhtar, S.; Kumari, P. y Chaurasiya, J. (2018). Correlation and path coefficient analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. *Special Issue-7*: 4278-4285.
- Thapa, B.; Pandey, A.K.; Agrawal, V.K.; Kumar, N. y Mahato, S. K. (2016). Trait association studies for yield components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*. 8(1): 934-937.
- Ullah, M.Z.; Hassan, L.; Shahid, S.B. y Patwary, A.K. (2015). Variability and inter relationship studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 13(1): 65-69.

Recepción: 21 de agosto 2020  
Arbitraje: 10 de septiembre 2020  
Dictamen: 30 de octubre 2020  
Aceptado: 8 de diciembre 2020