

Determinación de parámetros de selección para el rendimiento en pepino (*Cucumis sativus*) cultivado bajo invernadero

Determination of Selection Parameters for Cucumber (*Cucumis sativus*) Yield under Greenhouse Conditions

José Eladio Monge-Pérez^{1*}
José Aníbal Cruz-Coronado²
Michelle Loría-Coto³

¹Estación Experimental Agrícola “Fabio Baudrit Moreno”, Universidad de Costa Rica.

²Instituto Nacional de Aprendizaje, Costa Rica.

³Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.

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

Resumen

El objetivo fue cuantificar las relaciones entre siete variables productivas para 13 genotipos de pepino bajo condiciones de invernadero, las variables evaluadas fueron: longitud del fruto (LF, en cm), diámetro del fruto (DF, en mm), peso del fruto (PF, en g), número de frutos por planta (NFP), rendimiento (R, en kg/planta), porcentaje de sólidos solubles totales (SST, en °Brix) y edad al inicio de cosecha (EIC, en días después del trasplante-ddt). Además, se realizó el análisis de sendero para el rendimiento. El cultivo se manejó con fertirrigación en sustrato de fibra de coco y se obtuvo una correlación altamente significativa entre el rendimiento y DF ($r = -0.75^{**}$) y NFP ($r = 0.59^{**}$). El principal efecto directo positivo sobre el rendimiento fue ejercido por PF (coeficiente de sendero-CS = 1.66), seguido por NFP (CS = 1.18) y EIC (CS = 0.28), mientras que los máximos efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron ejercidos por LF (CS = 1.63), EIC (CS = 1.01), DF (CS = 0.65) y SST (CS = 0.65) a través de PF y por NFP

Abstract

For 13 cucumber genotypes grown under greenhouse conditions the researchers quantified relations among seven variables: fruit length (FL, in cm), fruit diameter (FD, in mm), fruit weight (FW, in g), number of fruits per plant (NFP), yield (Y, in kg/plant), percentage of total soluble solids (TSS, in °Brix), and days to start of harvest (DSH, in days after transplant-dat). Also, path analysis was estimated for yield. The crop was planted on coconut fiber as substrate, and managed with fertigation. Yield showed a highly significant correlation with FD ($r = -0.75^{**}$) and NFP ($r = 0.59^{**}$). The main positive direct effects on yield were exhibited by FW (path coefficient-PC = 1.66), NFP (PC = 1.18) and DSH (PC = 0.28), while maximum positive indirect effects on yield were exhibited by FL (PC = 1.63), DSH (PC = 1.01), FD (PC = 0.65) and TSS (PC = 0.65) through FW; and by NFP (PC = 0.61) through FL. On the other hand, the main negative direct effects on yield were exhibited by FL (PC = -0.78), TSS

(CS = 0.61) a través de LF. Por otra parte, las siguientes variables ejercieron un efecto directo negativo sobre el rendimiento LF (CS = -0.78), SST (CS = -0.23) y DF (CS = -0.17). Se concluye que PF y NFP fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento, y que son criterios de selección fundamentales en fitomejoramiento de pepino cultivado bajo invernadero.

Palabras clave

Correlación, sendero, fruto, peso, partenocárpico.

(PC = -0.23) and FD (PC = -0.17). It is concluded that FW and NFP were the main yield contributing variables in these trials, and thus represents fundamental selection criteria for greenhouse cucumber breeding.

Keywords

Correlation, path, fruit, weight, parthenocarpic.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia Cucurbitaceae, cuyo centro de origen es India; es una hortaliza de importancia mundial y ha sido cultivada desde hace unos 3 000 años; el fruto tiene un contenido de agua de 95%, lo que le confiere una función diurética, y el jugo tiene valor medicinal para el tratamiento de la hiperacidez en el caso de úlceras gástricas (Ene *et al.*, 2016). Los frutos inmaduros se consumen principalmente como ensalada o en conservas; son una buena fuente de vitamina B y C, y de minerales como calcio, fósforo, hierro y potasio (Kumari *et al.*, 2018).

El estudio de la asociación entre caracteres es el objetivo principal del análisis de correlación, técnica que mide el grado de asociación entre rasgos cuantitativos (Murtadha y Sanni, 2018). La determinación de la correlación entre caracteres de plantas es importante en la selección y el mejoramiento genético (Deepa *et al.*, 2018). Los estudios de correlación ayudan a decidir cuál característica contribuye con el rendimiento de manera positiva o negativa (Kumari *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2018; Shet *et al.*, 2018; Veena *et al.*, 2013).

La correlación entre caracteres, y entre estos y el rendimiento, es importante en la selección indirecta de genotipos para el mejoramiento del rendimiento; una correlación significativa y positiva entre dos caracteres sugiere que ambos pueden ser mejorados simultáneamente en un programa de selección, y que la selección de uno de ellos se traduce en la selección y mejoramiento del otro (Ene *et al.*, 2016; Nwofia *et al.*, 2015); sin embargo, la selección basada únicamente en el coeficiente de correlación puede llevar a resultados erróneos, pues la correlación solamente mide el grado de asociación entre dos variables, sin tomar en cuenta las causas (Ene *et al.*, 2016).

Con la finalidad de considerar la relación compleja entre varias variables dependientes, se utiliza el análisis de sendero, el cual provee una forma efectiva de identificar los efectos directos e indirectos de las diferentes variables con respecto al rendimiento, con el objetivo de mejorar la utilidad de la selección para el mejoramiento de esa característica (Kumari *et al.*, 2018; Nwofia *et al.*, 2015).

Cada variable tiene dos vías de acción: la influencia directa sobre el rendimiento, y el efecto indirecto a través de los componentes, los cuales no son revelados en los estudios de correlación. El análisis de coeficiente de sendero mide el efecto directo e indirecto, y permite la separación de los coeficientes de correlación en componentes de efecto directo e indirecto (Kathayat *et al.*, 2018).

El análisis de sendero indica si la asociación de la variable independiente con la variable dependiente se debe a su efecto directo o si es consecuencia de su efecto indirecto sobre otra variable; esto es de gran ayuda para el trabajo de fitomejoramiento, pues ayuda a juzgar de mejor forma la importancia de cada carácter durante el proceso de selección (Kathayat *et al.*, 2018; Veena *et al.*, 2013).

El análisis de sendero ha sido usado en varios cultivos hortícolas para estudiar la relación entre el rendimiento y sus componentes. Un coeficiente de sendero alto indica que el cambio resultará proporcional (o inversamente proporcional) en otra variable correlacionada (Rajawat *et al.*, 2018).

El objetivo de esta investigación fue cuantificar las relaciones entre siete variables y obtener el análisis de sendero para el rendimiento en 13 genotipos de pepino cultivados bajo ambiente protegido.

Materiales y métodos

Se sembraron 13 genotipos híbridos de pepino (*Cucumis sativus* L.) partenocárpico (cuadro 1) y se incluyeron tres tipos de pepino en el ensayo, según la longitud del fruto (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2020). El cultivo se realizó en condiciones hidropónicas en el invernadero de hortalizas de la Estación Experimental Agrícola “Fabio Baudrit Moreno” (EEAFBM), ubicada 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 almácigo se sembró el 3 de julio de 2015; se usaron bandejas de 98 celdas y turba (*peat moss*) como sustrato. El trasplante se realizó el 15 de julio de 2015, cuando las plántulas tenían una hoja verdadera. El período de cultivo abarcó hasta el 20 de octubre de 2015, es decir, 97 días después del trasplante (ddt), para un período de cosecha de 10 semanas y un total de 20 cortes (cosechas).

Durante el desarrollo del ensayo, las condiciones ambientales dentro del invernadero fueron las siguientes: la temperatura diurna promedio fue de 27.1 °C, con un rango entre 20.7 y 33.4 °C; mientras que la temperatura nocturna promedio fue de 21.4 °C, con un rango entre 19.8 y 23.9 °C. La humedad relativa promedio durante el día fue de 72.3%, y durante la noche de 89.2%. La radiación fotosintéticamente activa diurna promedio fue de 494.0 W/m².

Cuadro 1
Genotipos de pepino utilizados en el ensayo

Tipo de pepino	Genotipo	Empresa
Largo	Arioso	Known You Seed
	Cumlaude	Rijk Zwaan
	Kalunga	Enza Zaden
	Paisaje	Rijk Zwaan
Mediano	Corinto	Enza Zaden
	Katrina	Enza Zaden
	Macario	Enza Zaden
	Modan	Rijk Zwaan
	Paraíso	Enza Zaden
	Primavera	Enza Zaden
Pequeño	22-20-782	Pandia Seeds
	Larino	Rijk Zwaan
	22-20-781	Pandia Seeds

Fuente: Elaboración propia, a partir de los genotipos utilizados.

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 altura. La distancia de siembra fue de 25 cm entre plantas y de 1.54 m entre hileras, para una densidad de 2.60 plantas/m². Las plantas se manejaron a un solo tallo, eliminando todos los tallos secundarios, y se eliminaron los primeros cuatro frutos de cada planta para lograr una cosecha más uniforme. El plan de fertirriego se presenta en el cuadro 2. La solución nutritiva se suministró mediante un sistema de riego por goteo, cuya descarga era de dos litros por hora. Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron: sulfato de magnesio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, ácido nítrico, Fe-EDTA[®], fosfato monopotásico, nitrato de calcio, nitrato de potasio, cloruro de potasio, sulfato de cobre, sulfato de zinc, Manvert-Mn[®], ácido bórico y Molibdeno Mix[®]. El combate de plagas y enfermedades se realizó según su incidencia; se utilizaron productos químicos y biológicos recomendados para cada caso, así como trampas pegajosas y repelentes contra insectos y ácaros.

Cuadro 2

Composición de la solución nutritiva utilizada en el cultivo de pepino bajo invernadero, según la edad del cultivo

Edad del cultivo	Concentración del nutriente (mg/l)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	Mo	B
0-14 ddt	150	53	240	165	40	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.9	0.8
15-30 ddt	161	53	265	175	50	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.9	0.8
>30 ddt	172.5	53	290	175	55	50	0.16	2.9	0.3	0.6	0.9	0.8

Fuente: Elaboración propia. ddt = días después del trasplante.

Se evaluaron las siguientes variables, según la metodología descrita por Chacón-Padilla y Monge-Pérez (2016):

- Longitud del fruto (LF, en cm): se midió esta característica en 60 frutos y se obtuvo el promedio.
- Diámetro del fruto (DF, en mm): se midió esta característica en la parte media de 60 frutos y se obtuvo el promedio.
- Número de frutos por planta (NFP): se contabilizó el número total de frutos producidos por parcela y se dividió ese dato entre el número de plantas de la parcela.
- Peso del fruto (PF, en g): se midió el peso del total de frutos producidos en cada parcela y se dividió ese dato entre el número de plantas por parcela.
- Rendimiento (R, en kg/planta): se contabilizó el peso de todos los frutos producidos por parcela y se dividió ese dato entre el número de plantas por parcela.
- Porcentaje de sólidos solubles totales (SST, en °Brix): se evaluó esta característica a partir de un macerado de la pulpa y la placenta del fruto, en 60 frutos, y se obtuvo el promedio.
- Edad al inicio de cosecha (EIC, en ddt): se registró la fecha de inicio de la cosecha para cada parcela y se calculó el número de días desde el trasplante (ddt).

El peso de los frutos se obtuvo usando una balanza electrónica marca Ocony, modelo UWE HGM, con capacidad de $20\,000 \pm 1$ g. Para obtener la longitud del fruto se usó una cinta métrica marca Assist, modelo 32G-8025, con capacidad de 800.0 ± 0.1 cm. El diámetro de los frutos se determinó con un calibrador digital marca Mitutoyo, modelo CD, con capacidad de 15.00 ± 0.01 cm. El porcentaje de sólidos solubles totales se midió con un refractómetro manual marca Boeco con capacidad de 32.0 ± 0.2 °Brix.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con cuatro repeticiones por genotipo, la unidad experimental consistió de ocho plantas (dos sacos) y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las siete variables evaluadas; previamente se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilks (modificado); además 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 este ensayo, mientras que en el cuadro 4 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson (r), entre las variables evaluadas.

Cuadro 3
Estimadores estadísticos de las variables evaluadas en pepino

Variable	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
PF (g)	301.98	138.06	524.30	261.29	124.85	41.34
NFP	40.13	15.75	98.38	30.00	23.77	59.24
R (kg/planta)	10.04	6.68	14.47	9.50	2.38	23.74
LF (cm)	21.90	11.43	32.77	20.57	6.93	31.65
DF (mm)	49.11	41.19	54.31	49.59	4.01	8.17
SST (°Brix)	3.09	2.80	3.73	3.03	0.20	6.33
EIC (ddt)	28.56	26.00	30.00	28.00	1.46	5.11

Nota: PF: peso fruto (g); NFP: número frutos por planta; R: rendimiento (kg/planta); LF: longitud fruto (cm); DF: diámetro fruto (mm); SST: porcentaje sólidos solubles totales (°Brix); EIC: edad inicio cosecha (ddt).

Cuadro 4

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

	PF	NFP	R	LF	DF	SST	EIC
PF	1	-0.72**	0.06 ^{ns}	0.99**	0.39**	0.39**	0.61**
NFP		1	0.59**	-0.79**	-0.79**	-0.28*	-0.77**
R			1	-0.05 ^{ns}	-0.75**	-0.27 ^{ns}	-0.25 ^{ns}
LF				1	0.49**	0.38**	0.68**
DF					1	0.36**	0.59**
SST						1	0.01 ^{ns}
EIC							1

Nota: PF: peso fruto (g); NFP: número frutos por planta; R: rendimiento (kg/planta); LF: longitud fruto (cm); DF: diámetro fruto (mm); SST: porcentaje sólidos solubles totales (°Brix); EIC: edad inicio cosecha (ddt); ns: no significativa; *: significativa ($p \leq 0.05$); **: altamente significativa ($p \leq 0.01$).

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 pepino, según el análisis de sendero.

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 pepino

	PF	NFP	LF	DF	SST	EIC	CR
PF	1.66	-0.84	-0.77	-0.07	-0.09	0.17	0.06 ^{ns}
NFP	-1.18	1.18	0.61	0.13	0.06	-0.22	0.59 ^{**}
LF	1.63	-0.93	-0.78	-0.08	-0.09	0.19	-0.05 ^{ns}
DF	0.65	-0.93	-0.38	-0.17	-0.08	0.17	-0.75 ^{**}
SST	0.65	-0.33	-0.30	-0.06	-0.23	0.01	-0.27 ^{ns}
EIC	1.01	-0.91	-0.52	-0.10	-0.01	0.28	-0.25 ^{ns}

Nota: PF: peso fruto (g); NFP: número frutos por planta; LF: longitud fruto (cm); DF: diámetro fruto (mm); SST: porcentaje sólidos solubles totales (°Brix); EIC: edad inicio cosecha (ddt); CR: correlación con el rendimiento; ns: no significativa; *: significativa ($p \leq 0.05$); **: altamente significativa ($p \leq 0.01$).

Discusión

Entre las variables evaluadas sobresale el alto coeficiente de variación obtenido por NFP, PF, LF y R. Las otras variables mostraron una variabilidad entre 5 y 10%.

De las 21 correlaciones de Pearson calculadas entre las variables, cinco de ellas fueron no significativas, una fue significativa ($p \leq 0.05$), y 15 fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$). Por su magnitud, sobresalen las correlaciones obtenidas entre PF y LF, entre NFP y LF, entre NFP y DF, entre NFP y EIC, entre R y DF, entre PF y NFP, y entre LF y EIC.

La correlación hallada entre PF y LF fue positiva y altamente significativa ($r = 0.99^{**}$); es lógico que los frutos más largos puedan tener también un mayor peso, aunque se debe considerar además el diámetro del fruto. Otros investigadores también encontraron un resultado positivo y altamente significativo, entre ambas variables: Deepa *et al.*, 2018 ($r = 0.820^{**}$); Dutta, 2013 ($r = 0.862^{**}$); Hasan *et al.*, 2015 ($r = 0.887^{**}$); Pal *et al.*, 2017 ($r = 0.826^{**}$) y Ullah *et al.*, 2012 ($r = 0.871^{**}$); estos datos confirman los resultados hallados. Sin embargo, en otros estudios esta correlación no fue significativa, probablemente por diferencias en los genotipos utilizados (Ahirwar *et al.*, 2017; Bartaula *et al.*, 2019; Kumari *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2018).

En la presente investigación se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre NFP y LF ($r = -0.79^{**}$); otros investigadores hallaron resultados similares ($r = -0.561^{**}$) (Ullah *et al.*, 2012). De forma contraria, otros autores obtuvieron una correlación positiva y significativa o altamente significativa, entre estas variables: Afangideh y Uyoh, 2007 ($r = 0.496^*$); Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = 0.790^{**}$); Ene

et al., 2016 ($r = 0.871^{**}$); Hanchinamani, 2006 ($r = 0.780^{**}$) y Hasan *et al.*, 2015 ($r = 0.593^{*}$); estos resultados llaman la atención, pues no parece lógico que, a mayor número de frutos por planta, los frutos tengan mayor longitud. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Gangadhara *et al.*, 2019; Golabadi *et al.*, 2015; Karthick *et al.*, 2019; Nwofia *et al.*, 2015; Rajawat *et al.*, 2018). Estos resultados tan diferentes pueden deberse a los diversos materiales genéticos incluidos en el análisis en cada caso o a las diferentes condiciones ambientales en cada sitio de evaluación.

La correlación obtenida entre NFP y DF fue negativa y altamente significativa ($r = -0.79^{**}$); en otros estudios se encontró también una correlación negativa y significativa, o altamente significativa: Golabadi *et al.*, 2015 ($r = -0.260^{*}$); Sharma *et al.*, 2018 ($r = -0.278^{**}$) y Veena *et al.*, 2013 ($r = -0.330^{*}$). Por el contrario, otros autores hallaron una correlación positiva y significativa, o altamente significativa, entre estas variables: Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = 0.550^{**}$); Ene *et al.*, 2016 ($r = 0.857^{**}$); Hanchinamani, 2006 ($r = 0.520^{**}$); Kumari, 2017 ($r = 0.514^{*}$) y Kumari *et al.*, 2018 ($r = 0.540^{**}$); tampoco parece lógico que, entre mayor sea el número de frutos por planta, aumente el diámetro del fruto. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Hasan *et al.*, 2015; Pal *et al.*, 2017; Shet *et al.*, 2018; Soleimani *et al.*, 2009; Verma, 2003). Estos diversos resultados se pueden deber a las diferentes condiciones climáticas en que se desarrollaron los ensayos.

En el presente trabajo se halló una correlación negativa y altamente significativa entre NFP y EIC ($r = -0.77^{**}$); esto se explica pues los materiales genéticos más precoces pueden tener un período de cosecha más extenso, lo que puede permitir el cuaje y producción de un mayor número de frutos. Otros autores encontraron también una correlación negativa y significativa, o altamente significativa, entre estas variables: Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = -0.630^{**}$); Hanchinamani, 2006 ($r = -0.640^{**}$); Kumar *et al.*, 2011 ($r = -0.622^{**}$); Pal *et al.*, 2017 ($r = -0.561^{**}$) y Rajawat *et al.*, 2018 ($r = -0.409^{*}$); estos datos confirman los resultados obtenidos. Por el contrario, otros investigadores hallaron una correlación positiva y significativa entre estas variables ($r = 0.258^{*}$) (Ahirwar *et al.*, 2017). Por otra parte, en otros estudios esta correlación no fue significativa (Karthick *et al.*, 2019; Kumari *et al.*, 2018; Ullah *et al.*, 2012; Verma, 2003).

La correlación encontrada entre R y DF fue negativa y altamente significativa ($r = -0.75^{**}$), lo que indica que los genotipos con menor diámetro de fruto produjeron un mayor rendimiento. Por el contrario, otros autores hallaron una correlación positiva y significativa, o altamente significativa, entre estas variables: Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = 0.620^{**}$); Bartaula *et al.*, 2019 ($r = 0.649^{**}$); Ene *et al.*, 2016 ($r = 0.883^{**}$); Kumari *et al.*, 2018 ($r = 0.697^{**}$) y Ullah *et al.*, 2012 ($r = 0.751^{**}$). Estas diferencias en los resultados hallados en este ensayo y los informados en la literatura se pueden deber a los diversos genotipos incluidos en cada ensayo o a las diferentes condiciones de cultivo utilizadas en cada ensayo. En otros estudios dicha correlación no fue significativa (Ahirwar *et al.*, 2017; Gangadhara *et al.*, 2019; Nwofia *et al.*, 2015; Soleimani *et al.*, 2009; Verma, 2003).

En el presente ensayo se encontró una correlación altamente significativa y negativa entre PF y NFP ($r = -0.72^{**}$), esto se explica fisiológicamente porque en las plantas que producen mayor cantidad de frutos, los fotoasimilados de la planta deben repartirse entre mayor cantidad de sumideros (Kultur *et al.*, 2001). En otros trabajos se halló también una correlación negativa y significativa: Gangadhara *et al.*, 2019 ($r = -0.356^*$) y Pal *et al.*, 2017 ($r = -0.288^*$). De forma contraria, otros investigadores obtuvieron una correlación positiva y significativa, o altamente significativa, entre estas variables: Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = 0.650^{**}$); Hanchinamani, 2006 ($r = 0.630^{**}$); Kumar *et al.*, 2011 ($r = 0.367^{**}$); Kumari *et al.*, 2018 ($r = 0.549^{**}$) y Rajawat *et al.*, 2018 ($r = 0.375^*$); en este caso, definitivamente el factor que explica esta relación directa entre el peso del fruto y el número de frutos por planta es la genética de los materiales incluidos en el análisis. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Deepa *et al.*, 2018; Dutta, 2013; Neata *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2018; Veena *et al.*, 2013).

La correlación hallada entre LF y EIC fue positiva y altamente significativa ($r = 0.68^{**}$); esto se puede explicar pues los genotipos de frutos más largos requieren generalmente más tiempo para poder llenar sus frutos y alcanzar su tamaño comercial de cosecha, en comparación con los genotipos de frutos cortos. En otro trabajo se obtuvo un resultado similar para la correlación entre estas variables ($r = 0.604^{**}$) (Kumari *et al.*, 2018). Por el contrario, otros autores obtuvieron una correlación negativa y significativa, o altamente significativa, entre estas variables: Arunkumar *et al.*, 2011 ($r = -0.520^{**}$); Bartaula *et al.*, 2019 ($r = -0.645^{**}$); Hanchinamani, 2006 ($r = -0.530^{**}$) y Rajawat *et al.*, 2018 ($r = -0.332^*$). En otros estudios esta correlación no fue significativa (Karthick *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2011; Pal *et al.*, 2017; Ullah *et al.*, 2012; Verma, 2003).

Con respecto al rendimiento, además de DF, la otra variable que obtuvo una correlación altamente significativa fue NFP ($r = 0.59^{**}$).

Con relación al resultado del análisis de sendero para el rendimiento, el principal efecto directo positivo fue ejercido por PF (CS = 1.66); las otras variables que ejercieron un efecto directo positivo sobre el rendimiento fueron NFP (CS = 1.18) y EIC (CS = 0.28). Los principales efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron ejercidos por LF (CS = 1.63), EIC (CS = 1.01), DF (CS = 0.65) y SST (CS = 0.65) a través de PF, y por NFP (CS = 0.61) a través de LF.

Por otra parte, las siguientes variables ejercieron un efecto directo negativo sobre el rendimiento: LF (CS = -0.78), SST (CS = -0.23) y DF (CS = -0.17); además, los principales efectos indirectos negativos fueron ejercidos por NFP (CS = -1.18) a través de PF; por LF (CS = -0.93), DF (CS = -0.93), EIC (CS = -0.91) y PF (CS = -0.84) a través de NFP; y por PF (CS = -0.77), EIC (CS = -0.52) y DF (CS = -0.38) a través de LF.

En el cuadro 6 se muestran las variables que ejercen los efectos directos (positivos y negativos) más importantes sobre el rendimiento en pepino, según las investigaciones realizadas sobre este tema. Al igual que en el presente trabajo, en otros siete estudios el principal efecto positivo se encontró para PF, y en otros tres casos esa variable obtuvo la segunda posición en importancia. En otros cinco trabajos, el principal efecto positivo fue

ejercido por NFP; mientras que en el presente ensayo dicha variable ocupó la segunda posición en importancia.

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 pepino, según cada caso informado en la literatura

Caso	Efectos positivos (CS)		Efectos negativos (CS)		Referencia
	1° posición	2° posición	1° posición	2° posición	
1	NFP (0.837)	PF (0.491)	EIC (-0.024)	NPFM (-0.009)	Ahirwar <i>et al.</i> , 2017
2	NFP (0.674)	PF (0.390)	EPFF (-0.245)	NFCP (-0.217)	Arunkumar <i>et al.</i> , 2011
3	PF (0.853)	NFP (0.408)	NPFF (-0.084)	E50F (-0.051)	Dutta, 2013
4	PF (1.145)	EPFM (0.267)	NH8S (-0.292)	NFF (-0.231)	Ene <i>et al.</i> , 2016
5	NFP (0.818)	NPFF (0.725)	DF (-0.820)	EPFM (-0.356)	Gangadhara <i>et al.</i> , 2019
6	PF (0.752)	NFP (0.268)	NPFM (-0.006)	EIC (-0.003)	Hanchinamani, 2006
7	NFP (0.701)	PF (0.379)	AH (-0.063)	EPFF (-0.042)	Hasan <i>et al.</i> , 2015
8	NFP (1.038)	NFM (0.933)	RS (-1.698)	NFF (-1.545)	Karthick <i>et al.</i> , 2019
9	PF (0.751)	DC (0.401)	DF (-0.077)	IVS (-0.072)	Kumar <i>et al.</i> , 2011
10	PF (0.674)	NFP (0.415)	NFM (-0.104)	LE (-0.050)	Kumari <i>et al.</i> , 2018
11	DF (1.150)	AP (0.970)	LF (-4.520)	EF (-4.110)	Murtadha y Sanni, 2018
12	PF (0.565)	NFP (0.457)	LF (-0.019)	n.d.	Nwofia <i>et al.</i> , 2015
13	DC (0.875)	NFP (0.813)	EIC (-0.531)	SMV (-0.493)	Pal <i>et al.</i> , 2017
14	NFM (0.295)	NFP (0.284)	SST (-0.346)	NPFF (-0.259)	Rajawat <i>et al.</i> , 2018
15	SMP (1.978)	SST (1.733)	GS (-2.340)	NPFF (-0.465)	Sharma <i>et al.</i> , 2018
16	GCS (4.476)	GP (3.434)	DF (-6.356)	EIC (-0.632)	Veena <i>et al.</i> , 2013
17	PF (0.785)	NFP (0.746)	EIC (-0.340)	NPFF (-0.271)	Verma, 2003

Nota: PF: peso fruto (g); SST: porcentaje sólidos solubles totales (°Brix); NFP: número frutos por planta; DF: diámetro fruto (mm); LF: longitud fruto (cm); EIC: edad inicio cosecha (ddt); NPFF: nudo de primera flor femenina; NPFM: nudo de primera flor masculina; EPFM: edad a la primera flor masculina (días); NFM: número flores masculinas; RS: relación de sexo de las flores; NFF: número flores femeninas; EPFF: edad a la primera flor femenina (días); NFCP: número frutos comerciales por planta; DC: duración de cosecha (días); IVS: índice vigor de semilla; LE: longitud entrenudos (cm); NH8S: número hojas a ocho semanas edad; AH: ancho hoja (cm); GCS: grosor cavidad seminal (mm); GP: grosor pulpa (mm); SMP: severidad mildiú polvoso; GS: germinación semilla; AP: altura planta (m); EF: edad a floración (días); SMV: severidad mildiú veloso; E50F: edad 50% floración; n.d.: no dato.

Con relación al principal efecto directo negativo sobre el rendimiento, al igual que en el presente ensayo, en otras dos investigaciones también dicho efecto fue hallado para LF (Murtadha y Sanni, 2018; Nwofia *et al.*, 2015).

En el cultivo de melón se indicó 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 tanto, la aplicabilidad general del análisis de sendero puede ser establecida por los análisis de datos de diferentes grupos de germoplasma 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 incluido en la investigación y en las condiciones ambientales de cada localidad.

En el presente ensayo, la variable NFP fue la única que obtuvo un alto efecto directo positivo ($CS = 1.18$), así como una correlación positiva y altamente significativa ($r = 0.59$) con el rendimiento, lo que indica que la selección directa a través de este rasgo puede ser efectiva.

La variable PF mostró una correlación no significativa con el rendimiento, pero su efecto directo fue alto y positivo; esto mismo sucedió en otra investigación (Gangadhara *et al.*, 2019). En este caso, los factores causales indirectos (LF, EIC, DF y SST) deben ser considerados simultáneamente para la selección (Reddy *et al.*, 2017).

La presente investigación constituye, aparentemente, el primer informe publicado sobre análisis de sendero en pepino cultivado bajo invernadero realizado fuera de India, en cuyo país se realizó un ensayo bajo ambiente protegido (Gangadhara *et al.*, 2019).

Conclusiones

Se obtuvieron 16 relaciones significativas o altamente significativas entre las variables evaluadas en pepino producido bajo ambiente protegido.

Se concluye que PF y NFP fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento debido a su efecto directo positivo y alto, y que representan criterios de selección importantes en fitomejoramiento de pepino cultivado bajo invernadero.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento por parte de CONARE y de la Universidad de Costa Rica y la colaboración de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés.

Literatura citada

- Afangideh, U. y Uyoh, E.A. (2007). Genetic variability and correlation studies in some varieties of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 3(4): 376-384.
- Ahirwar, C.S.; Singh, D.K. y Kushwaha, M.L. (2017). Assessment of genetic variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) germplasm on correlation, path analysis and cluster analysis. *Chemical Science Review and Letters*. 6(23): 1886-1893.
- Arunkumar, K.H.; Patil, M.G.; Hanchinamani, C.N.; Shanker-Goud, I. y Hiremath, S.V. (2011). Genetic relationship of growth and development traits with fruit yield in F2 population of BGD x Hot season of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 24(4): 497-500.
- Bartaula, S.; Adhikari, A.; Panthi, U.; Karki, P. y Timalsena, K. (2019). Genetic variability, heritability and genetic advance in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2(1): 215-222.

- Chacón-Padilla, K. y Monge-Pérez, J.E. (2016). Evaluación del rendimiento y la calidad de seis genotipos de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(2): 323-332.
- Chacón-Padilla, K. y Monge-Pérez, J.E. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino. *Tecnología en Marcha*. 33(1): 17-35.
- Deepa, S.K.; Hadimani, H.P.; Hanchinamani, C.N.; Shet, R.; Koulgi, S. y Ashok, O. (2018). Studies on character association in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(11): 1977-1982.
- Dutta, R.K. (2013). *Study on genetic variability, heritability, genetic advance, correlation and path coefficient analysis in diverse genotypes of cucumber* (*Cucumis sativus* L.). M.Sc. thesis. Institute of Agricultural Sciences, Department of Horticulture, Banaras Hindu University. Varanasi, India.
- Ene, C.O.; Ogbonna, P.E.; Agbo, C.U. y Chukwudi, U.P. (2016). Evaluation of sixteen cucumber (*Cucumis sativus* L.) genotypes in derived savannah environment using path coefficient analysis. *Notulae Scientia Biologicae*. 8(1): 85-92.
- Feyzian, E.; Dehghani, H.; Rezai, 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.
- Gangadhara, K.; Kumar, R.; Selvakumar, R.; Apparao, V.V. y Yadav, L.P. (2019). Evaluation of cucumber hybrids/lines for yield and quality under polyhouse. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8(6): 1652-1661.
- Golabadi, M.; Golkar, P. y Eghtedary, A. (2015). Combining ability analysis of fruit yield and morphological traits in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. 95: 377-385.
- Hanchinamani, C.N. (2006). *Genetic variability, divergence, heterosis and combining ability studies in cucumber* (*Cucumis sativus* L.). Ph.D. thesis. College of Agriculture, Dharwad, Department of Horticulture, University of Agricultural Sciences. Dharwad, India.
- Hasan, R.; Hossain, M.K.; Alam, N.; Bashar, A.; Islam, S. y Tarafder, M.J. (2015). Genetic divergence in commercial cucumber (*Cucumis sativus* L.) genotypes. *Bangladesh Journal of Botany*. 44(2): 201-207.
- Karthick, K.; Arumugam, T.; Rajasree, V.; Ganesan, K.N. y Karthikeyan, M. (2019). Studies on correlation and path analysis of yield attributes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8(6): 342-345.
- Kathayat, K.; Rawat, M.; Kandpal, G.; Pandey, G.; Chauhan, P. y Tiwari, R. (2018). Genetic variability in cucumber (*Cucumis sativus* L.): a review. *Plant Archives*. 18(2): 1223-1228.
- 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, S.; Kumar, R.; Gupta, R.K. y Sephia, R. (2011). Studies on correlation and path-coefficient analysis for yield and its contributing traits in cucumber. *Crop Improvement*. 38(1): 18-23.
- Kumari, A.; Singh, A.K.; Moharana, D.P.; Kumar, A. y Kumar, N. (2018). Character relationship and path coefficient analysis for yield and yield components in diverse genotypes of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 7(5): 33-38.
- Kumari, B. (2017). Evaluation of phenotypic trait analysis of cucumber germplasm. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4(9): 51-53.
- Monge-Pérez, J.E. y Loría-Coto, M. (2019). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. *Revista Posgrado y Sociedad*. 17(1): 1-20.
- Murtadha, M.A. y Sanni, T.A. (2018). Interaction effects of seasons and farming practices on correlation and path analysis of yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Ecobiotechnology*. 10: 21-24.
- Neata, G.; Hoza, G.; Teodorescu, R.I.; Basaraba, A.; Petcuci, A. y Sima, R. (2016). Phosphorus, potassium and nitrate contents in fruit of pickling cucumbers grown in a high tunnel. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44(2): 541-547.
- Nwofia, G.E.; Amajuoyi, A.N. y Mbah, E.U. (2015). Response of three cucumber varieties (*Cucumis sativus* L.) to planting season and NPK fertilizer rates in lowland humid tropics: sex expression, yield

- and inter-relationships between yield and associated traits. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 5(1): 30-37.
- Pal, S.; Sharma, H.R.; Das, A. y Pandav, A.K. (2017). Character association and path analysis for fruit yield and its contributing traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 10(2): 163-170.
- Rajawat, K.S.; Shaktawat, S.K.; Jat, S.L. y Tak, J.K. (2018). Path analysis and characters association of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 6(4): 2414-2419.
- 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.
- Sharma, S.; Kumar, R.; Chatterjee, S. y Sharma, H.R. (2018). Correlation and path analysis studies for yield and its attributes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 6(2): 2045-2048.
- Shet, R.M.; Shantappa, T.; Ashok, O. y Gurumurthy, S.B. (2018). Genetic variability and correlation studies for productivity traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 6(5): 236-238.
- Soleimani, A.; Ahmadikhah, A. y Soleimani, S. (2009). Performance of different greenhouse cucumber cultivars (*Cucumis sativus* L.) in southern Iran. *African Journal of Biotechnology*. 8(17): 4077-4083.
- Ullah, M.Z.; Hasan, M.J.; Chowdhury, A.Z.; Saki, A.I. y Rahman, A.H. (2012). Genetic variability and correlation in exotic cucumber (*Cucumis sativus* L.) varieties. *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*. 25(1): 17-23.
- Veena, R.; Sidhu, A.S.; Pitchaimuthu, M. y Souravi, K. (2013). Character association for fruit yield and yield traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 4(1): 1108-1112.
- Verma, S. (2003). *Genetic variability and correlation studies in cucumber* (*Cucumis sativus* L.). M.Sc. thesis. College of Horticulture Dr. Yashwant Singh Parmar, University of Horticulture and Forestry. Nauni, Solan (HP), India.

Recepción: 29 de diciembre 2020

Arbitraje: 4 de enero 2021

Dictamen: 15 de enero 2021

Aceptado: 29 de enero 2021