

Criterios de selección para el rendimiento en pepino (*Cucumis sativus*) cultivado en invernadero en época seca

José Eladio Monge-Pérez¹ , Karla Chacón-Padilla²  & Michelle Loría-Coto³ 

1. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica; melonescr@yahoo.com.mx
2. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica; kchpadilla@hotmail.com
3. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Sabánilla, Costa Rica; michelle_loria@yahoo.com

Recibido 20-I-2021 • Corregido 10-III-2021 • Aceptado 22-III-2021

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3373>

ABSTRACT. “Selection criteria for yield in cucumber (*Cucumis sativus*) grown under greenhouse conditions during the dry season”. **Introduction:** Cucumber is among Costa Rica’s main vegetable crop, and selection criteria for yield are best studied by path coefficient analysis, which divides correlation coefficients into direct and indirect effect components. **Objective:** To obtain a path analysis for greenhouse cucumber yield. **Methods:** The crop was planted on coconut fiber as substrate, and managed with fertigation, from January to May 2015. Seven variables were evaluated. **Results:** Yield showed a positive and highly significant correlation with number of fruits per plant ($r=0,39^{**}$). The main positive direct effects on yield were exhibited by number of fruits per plant (path coefficient-PC=1,75), fruit weight (PC=1,44), fruit diameter (PC=0,17) and fruit length (PC=0,06), while maximum positive indirect effects on yield were exhibited by fruit length (PC=1,31), fruit diameter (PC=0,95) and percentage of total soluble solids (PC=0,89) through fruit weight. On the other hand, the only negative direct effect on yield was exhibited by percentage of total soluble solids (PC=-0,01). **Conclusions:** Under these conditions, number of fruits per plant and fruit weight were the main yield contributing variables.

Keywords: Pearson correlation, path analysis, yield, number of fruits per plant, fruit weight, parthenocarpic.

RESUMEN. Introducción: El pepino es una hortaliza importante en Costa Rica, y los criterios de selección de rendimiento se estudian mejor mediante el análisis de coeficiente de sendero, que divide los coeficientes de correlación en componentes de efectos directos e indirectos. **Objetivo:** Obtener un análisis de sendero para el rendimiento del pepino en invernadero. **Métodos:** El cultivo se manejó con fertirrigación, en sustrato de fibra de coco, entre enero y mayo 2015. Se evaluaron siete variables. **Resultados:** Se obtuvo una correlación positiva y altamente significativa entre el rendimiento y el número de frutos por planta ($r=0,39^{**}$). El principal efecto directo positivo sobre el rendimiento fue ejercido por número de frutos por planta (coeficiente de sendero-CS=1,75), seguido por peso del fruto (CS=1,44), diámetro del fruto (CS=0,17) y longitud del fruto (CS=0,06), mientras que los máximos efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron ejercidos por longitud del fruto (CS=1,31), diámetro del fruto (CS=0,95) y porcentaje de sólidos solubles totales (CS=0,89) a través de peso del fruto. Por otra parte, la única variable que ejerció un efecto directo negativo sobre el rendimiento fue porcentaje de sólidos solubles totales (CS=-0,01). **Conclusiones:** En estas condiciones, número de frutos por planta y peso del fruto fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento.

Palabras clave: Correlación de Pearson, análisis de sendero, rendimiento, número de frutos por planta, peso del fruto, partenocárpico.

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una especie importante de la familia de las cucurbitáceas, y constituye una fuente importante de vitaminas A, C, K y E, así como minerales: magnesio, potasio, manganeso, fósforo, calcio, hierro y zinc (Ahirwar, Singh, & Kushwaha, 2017; Nwofia, Amajuoyi, & Mbah, 2015). Este cultivo prefiere un clima cálido (temperatura superior a 20°C) y con suficiente luz para un mejor crecimiento y desarrollo; su centro de origen es India (Veena et al., 2013; Sharma et al., 2018). Sus frutos se consumen crudos en ensalada, cocidos como vegetales, o en conserva (Sharma et al., 2018).

El énfasis principal en fitomejoramiento de pepino es el desarrollo de variedades de alto rendimiento y buena calidad del fruto; el rendimiento es un rasgo cuantitativo complejo, gobernado por un gran número de genes y afectado considerablemente por el ambiente, por lo que la selección de genotipos basada solo en el rendimiento no es efectiva; por lo tanto, el mejoramiento para el rendimiento debe ser realizado mediante el enfoque de selección de componentes de rendimiento (Ene et al., 2016; Kumar, Kumar, Gupta, & Sephia, 2011).

El conocimiento del grado de asociación del rendimiento con sus componentes es de gran importancia en el proceso de selección (Kumar et al., 2011). La correlación es una herramienta estadística para determinar el grado de asociación, ya sea positiva o negativa, entre varios caracteres, y de esta forma ayuda a identificar la variable sobre la que se debe realizar la selección, para mejorar los caracteres asociados (Kathayat et al., 2018).

Sin embargo, la correlación por sí misma no revela el panorama completo de la dependencia de un componente sobre otro. Por lo tanto, el entendimiento de los efectos directos e indirectos de las principales variables que contribuyen con el rendimiento, es de suma importancia para la selección de genotipos de alto rendimiento. El análisis de coeficiente de sendero brinda un mejor índice de selección, por medio de la separación de los coeficientes de correlación del rendimiento y sus componentes, en efectos directos e indirectos (Kumari et al., 2018); es decir, mide la contribución directa e indirecta de varias variables independientes sobre una variable dependiente (Kathayat et al., 2018; Kumari et al., 2018). El análisis de sendero provee más información entre variables que la correlación, ya que revela la asociación de la variable independiente con la variable dependiente como un efecto directo, o como consecuencia de un efecto indirecto a través de otra variable (Murtadha & Sanni, 2018; Kathayat et al., 2018).

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 en un cambio proporcional (o inversamente proporcional) en otra variable correlacionada (Rajawat et al., 2018). Varios autores han estudiado el análisis de sendero para el rendimiento en pepino (Verma, 2003; Hanchinamani, 2006; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Dutta, 2013; Veena et al., 2013; Hasan et al., 2015; Nwofia et al., 2015; Ene et al., 2016; Ahirwar et al., 2017; Pal et al., 2017; Kumari et al., 2018; Rajawat et al., 2018; Sharma et al., 2018; Murtadha & Sanni, 2018; Gangadhara et al., 2019; Karthick et al., 2019; Monge-Pérez, Cruz-Coronado, & Loría-Coto, 2021).

El objetivo de esta investigación fue establecer las correlaciones de Pearson entre siete variables, y obtener el análisis de sendero para el rendimiento, en 14 genotipos de pepino cultivados bajo ambiente protegido, en Alajuela, Costa Rica. A pesar de que la investigación se realizó en el año 2015, estos genotipos todavía siguen siendo utilizados por los agricultores en diferentes partes del mundo, por lo que los resultados mantienen su relevancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembraron 14 genotipos híbridos de pepino (*Cucumis sativus* L.) partenocárpico (Tabla 1); 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 883msnm.

El almácigo se sembró el 27 de enero de 2015; se utilizaron bandejas de 98 celdas, y turba ("peat moss") como sustrato. El trasplante se realizó el 9 de febrero de 2015, cuando las plántulas tenían una hoja verdadera. El período de cultivo abarcó hasta el 14 de mayo de 2015 (94 días después del trasplante-ddt).

TABLA 1
Genotipos utilizados

Tipo de pepino	Genotipo	Empresa
Largo	Arioso	Known You Seed
	Cumlaude	Rijk Zwaan
	Dreamliner	Enza Zaden
	Kalunga	Enza Zaden
	Paisaje	Rijk Zwaan
	Roxinante	Enza Zaden
	Corinto	Enza Zaden
Mediano	Macario	Enza Zaden
	Modan	Rijk Zwaan
	Paraíso	Enza Zaden
	Primavera	Enza Zaden
Pequeño	Katrina	Enza Zaden
	22-20-782	Pandia Seeds
	22-20-783	Pandia Seeds

El cultivo se realizó en sacos plásticos rellenos con fibra de coco, de 1m de largo, 20cm de ancho y 15cm de altura. La distancia de siembra fue de 25cm entre plantas, y de 1,54m entre hileras, para una densidad de 2,60plantas/m². Las plantas se manejaron a un solo tallo, eliminando todos los tallos secundarios. Se eliminaron los primeros cuatro frutos de cada planta, con el fin de lograr una cosecha más uniforme. Se recopilaron datos de temperatura, humedad relativa y radiación PAR dentro del invernadero, por medio de sensores electrónicos especializados de una estación de captura de datos marca Onset, modelo Hobo, serie H21-USB. El plan de fertirriego se presenta en la Tabla 2.

TABLA 2
Plan de fertirriego utilizado

Etapa 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

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

1. Longitud del fruto (cm): se midió esta característica a 60 frutos por parcela, y se obtuvo el promedio.
2. Diámetro del fruto (mm): se midió esta característica en la parte media de 60 frutos por parcela, y se obtuvo el promedio.
3. Número de frutos por planta: se contabilizó el número total de frutos por parcela, y se dividió ese dato entre el número de plantas de la parcela.
4. Peso del fruto (g): se midió el peso del total de frutos producidos en cada parcela, y se dividió ese dato entre el número total de frutos por parcela.
5. Rendimiento (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.
6. Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix): se evaluó esta característica en la parte media (pulpa y placenta) de 60 frutos por parcela, y se obtuvo el promedio.
7. Edad al inicio de cosecha (ddt): se registró la fecha de inicio de la cosecha para cada parcela, y se calculó el número de días transcurridos desde el trasplante.

El peso de los frutos se determinó por medio de una balanza electrónica marca Ocony, modelo UWE HGM, con una capacidad de $20\,000 \pm 1\text{g}$. Para obtener la longitud del fruto se utilizó una cinta métrica marca Assist, modelo 32G-8025, con una capacidad de $800,0 \pm 0,1\text{cm}$. El diámetro de los frutos se determinó con un calibrador digital marca Mitutoyo, modelo CD, con una capacidad de $15,00 \pm 0,01\text{cm}$. El porcentaje de sólidos solubles totales se midió con un refractómetro manual marca Boeco, con una capacidad de $32,0 \pm 0,2^\circ\text{Brix}$.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar, con 14 tratamientos (genotipos), y cuatro repeticiones. La parcela consistió de ocho plantas (dos sacos), y todas las plantas fueron evaluadas. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las siete variables evaluadas. 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. Las ecuaciones de la correlación de Pearson y del análisis de sendero se pueden encontrar en el manual del programa estadístico Infostat®, que fue el utilizado en este trabajo (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS

Durante el desarrollo del ensayo, la temperatura dentro del invernadero varió entre 14 y 41°C , la humedad relativa entre 18 y 95% , y la radiación PAR entre 250 y $2\,250\text{W/m}^2$.

Con respecto a los valores obtenidos para las variables estudiadas, sobresale el alto coeficiente de variación obtenido por número de frutos por planta ($\text{CV}=33,46\%$), por longitud del fruto ($\text{CV}=25,10\%$), por peso del fruto ($\text{CV}=24,73\%$), y por rendimiento ($\text{CV}=15,02\%$) (Tabla 3).

En relación a los coeficientes de correlación de Pearson (r), entre las variables evaluadas, dado que la variable edad al inicio de la cosecha no mostró variabilidad, no se incluyó en el cálculo de estos coeficientes ni en el análisis de sendero.

De las 15 correlaciones de Pearson calculadas entre las variables, 4 de ellas fueron no significativas, y 11 fueron altamente significativas ($p \leq 0,01$) (Tabla 4). Por su magnitud, sobresalen las correlaciones obtenidas entre peso del fruto y longitud del fruto ($r=0,92^{**}$); entre peso del fruto y número de frutos por planta ($r=-0,84^{**}$); entre número de frutos por planta y diámetro del fruto ($r=-0,77^{**}$); entre número de frutos por planta y longitud del fruto ($r=-0,72^{**}$); entre diámetro del

fruto y porcentaje de sólidos solubles totales ($r=0,69^{**}$); entre número de frutos por planta y porcentaje de sólidos solubles totales ($r=-0,67^{**}$); entre peso del fruto y diámetro del fruto ($r=0,66^{**}$); y entre peso del fruto y porcentaje de sólidos solubles totales ($r=0,62^{**}$).

TABLA 3

Resumen estadístico de los valores obtenidos para cada variable en pepino

Variable	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
PF (g)	374,26	216,15	501,92	376,52	92,57	24,73
NFP	24,36	12,38	46,99	21,45	8,15	33,46
R (kg/planta)	8,39	5,55	11,77	8,30	1,26	15,02
LF (cm)	26,42	17,24	36,19	23,65	6,63	25,10
DF (mm)	47,77	41,94	52,99	48,39	2,86	5,98
SST (°Brix)	3,45	2,84	4,17	3,51	0,28	8,22
EIC (ddt)	31	31	31	31	0	0

TABLA 4

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

	PF	NFP	R	LF	DF	SST
PF	1	-0,84 ^{**}	0,13 ^{ns}	0,92 ^{**}	0,66 ^{**}	0,62 ^{**}
NFP		1	0,39 ^{**}	-0,72 ^{**}	-0,77 ^{**}	-0,67 ^{**}
R			1	0,18 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
LF				1	0,47 ^{**}	0,40 ^{**}
DF					1	0,69 ^{**}
SST						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); ns: no significativa; *: significativa ($p \leq 0,05$); **: altamente significativa ($p \leq 0,01$).

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. Con relación al resultado del análisis de sendero para el rendimiento, el principal efecto directo positivo fue ejercido por número de frutos por planta ($CS=1,75$), seguido por peso del fruto ($CS=1,44$) (Tabla 5); los otros efectos directos positivos fueron ejercidos por diámetro del fruto ($CS=0,17$) y longitud del fruto ($CS=0,06$). Los principales efectos indirectos positivos sobre el rendimiento fueron ejercidos por longitud del fruto ($CS=1,31$), diámetro del fruto ($CS=0,95$) y porcentaje de sólidos solubles totales ($CS=0,89$), a través de peso del fruto.

Por otra parte, la única variable que ejerció un efecto directo negativo sobre el rendimiento fue porcentaje de sólidos solubles totales ($CS=-0,01$). Además, los principales efectos indirectos negativos fueron ejercidos por peso del fruto ($CS=-1,46$), diámetro del fruto ($CS=-1,34$), longitud del fruto ($CS=-1,27$) y porcentaje de sólidos solubles totales ($CS=-1,17$), a través de número de frutos por planta; y por número de frutos por planta ($CS=-1,20$), a través de peso del fruto.

En otras investigaciones se ha estudiado el análisis de sendero para el rendimiento en pepino; las variables que ejercen los efectos directos (positivos y negativos) más importantes sobre esta variable se presentan a continuación (Tabla 6).

TABLA 5

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

	PF	NFP	LF	DF	SST	CR
PF	1,44	-1,46	0,05	0,11	-0,01	0,13 ^{ns}
NFP	-1,20	1,75	-0,04	-0,13	0,01	0,39**
LF	1,31	-1,27	0,06	0,08	-0,003	0,18 ^{ns}
DF	0,95	-1,34	0,03	0,17	-0,01	-0,21 ^{ns}
SST	0,89	-1,17	0,02	0,11	-0,01	-0,15 ^{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); CR: correlación con el rendimiento; ns: no significativa; *: significativa (p≤0,05); **: altamente significativa (p≤0,01).

TABLA 6

Coefficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos (positivos y negativos) más importantes 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 (0,818)	NPFF (0,725)	DF (-0,820)	EPFM (-0,356)	Gangadhara et al., 2019
2	NFP (1,038)	NFM (0,933)	RS (-1,698)	NFF (-1,545)	Karthick et al., 2019
3	NFM (0,295)	NFP (0,284)	SST (-0,346)	NPFF (-0,259)	Rajawat et al., 2018
4	NFP (0,674)	PF (0,390)	EPFF (-0,245)	NFCP (-0,217)	Arunkumar et al., 2011
5	PF (0,751)	DC (0,401)	DF (-0,077)	IVS (-0,072)	Kumar et al., 2011
6	PF (1,145)	EPFM (0,267)	NH8S (-0,292)	NFF (-0,231)	Ene et al., 2016
7	PF (0,674)	NFP (0,415)	NFM (-0,104)	LE (-0,050)	Kumari et al., 2018
8	PF (0,565)	NFP (0,457)	LF (-0,019)	n.d.	Nwofia et al., 2015
9	NFP (0,701)	PF (0,379)	AH (-0,063)	EPFF (-0,042)	Hasan et al., 2015
10	GCS (4,476)	GP (3,434)	DF (-6,356)	EIC (-0,632)	Veena et al., 2013
11	NFP (0,837)	PF (0,491)	EIC (-0,024)	NPFM (-0,009)	Ahirwar et al., 2017
12	SMP (1,978)	SST (1,733)	GS (-2,340)	NPFF (-0,465)	Sharma et al., 2018
13	DF (1,150)	AP (0,970)	LF (-4,520)	EF (-4,110)	Murtadha, & Sanni, 2018
14	PF (0,752)	NFP (0,268)	NPFM (-)	EIC (-0,003)	Hanchinamani, 2006
15	DC (0,875)	NFP (0,813)	EIC (-0,531)	SMV (-0,493)	Pal et al., 2017
16	PF (0,785)	NFP (0,746)	EIC (-0,340)	NPFF (-0,271)	Verma, 2003
17	PF (0,853)	NFP (0,408)	NPFF (-0,084)	E50F (-0,051)	Dutta, 2013
18	PF (1,660)	NFP (1,180)	LF (-0,780)	SST (-0,230)	Monge-Pérez et al., 2021

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 primera flor femenina; NPFM: nudo primera flor masculina; EPFM: edad primera flor masculina (días); NFM: número flores masculinas; RS: relación sexo flores; NFF: número flores femeninas; EPFF: edad primera flor femenina (días); NFCP: número frutos comerciales por planta; DC: duración cosecha (días); IVS: índice vigor semilla; LE: longitud entrenudos (cm); NH8S: número hojas a 8 semanas edad; AH: ancho hoja (cm); GCS: grosor cavidad seminal (mm); GP: grosor pulpa (mm); SMP: severidad mildiú polvoroso; GS: germinación semilla; AP: altura planta (m); EF: edad a floración (días); SMV: severidad mildiú vellosa; E50F: edad 50% floración; n.d.: no dato.

DISCUSIÓN

La relación encontrada entre el peso y la longitud del fruto concuerda con otros estudios (Verma, 2003; Hanchinamani, 2006; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Ullah et al., 2012; Dutta, 2013; Veena et al., 2013; Golabadi, Golkar, & Eghtedary, 2015; Hasan et al., 2015; Nwofia et al., 2015; Pal et al., 2017; Deepa et al., 2018; Rajawat et al., 2018; Gangadhara et al., 2019; Karthick et al., 2019; Monge-Pérez et al., 2021); lo lógico es pensar que los frutos de mayor longitud puedan mostrar un mayor peso, aunque el diámetro del fruto podría interferir con esta asociación. En otros estudios dicha correlación no fue significativa (Sharma et al., 2018; Ahirwar et al., 2017; Kumari et al., 2018; Bartaula et al., 2019), lo cual se podría atribuir a los genotipos involucrados en el análisis.

Otros estudios hallaron una correlación similar a la obtenida entre peso del fruto y número de frutos por planta (Pal et al., 2017; Gangadhara et al., 2019; Monge-Pérez et al., 2021); esto se explica pues, entre mayor cantidad de frutos produzca una planta, los fotoasimilados de la planta deben repartirse entre una mayor cantidad de sumideros, por lo que el peso de cada fruto es menor (relación inversamente proporcional) (Kultur, Harrison, & Staub, 2001). En forma contraria, otros autores obtuvieron una correlación positiva, y significativa o altamente significativa entre dichas variables (Hanchinamani, 2006; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Kumari et al., 2018; Rajawat et al., 2018; Karthick et al., 2019); esta relación es curiosa, pues contradice la teoría de partición de asimilados, y este fenómeno puede estar influido por el factor genético, así como por el tipo de expresión sexual de los genotipos (monoico, ginoico, etc.). Por otra parte, en otras investigaciones esta correlación no fue significativa (Verma, 2003; Ullah et al., 2012; Dutta, 2013; Veena et al., 2013; Golabadi et al., 2015; Nwofia et al., 2015; Hasan et al., 2015; Neata et al., 2016; Ahirwar et al., 2017; Deepa et al., 2018; Sharma et al., 2018).

La relación obtenida entre número de frutos por planta y diámetro del fruto también fue informada por otros investigadores (Veena et al., 2013; Golabadi et al., 2015; Sharma et al., 2018; Monge-Pérez et al., 2021); esto se explica también por la partición de fotoasimilados entre una mayor cantidad de sumideros. En forma contraria, otros autores hallaron una correlación positiva, y significativa o altamente significativa entre estas variables (Hanchinamani, 2006; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Ene et al., 2016; Kumari, 2017; Kumari et al., 2018; Karthick et al., 2019); en este caso se podría presentar una relación entre las condiciones ambientales y el factor genético que expliquen ese resultado. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Verma, 2003; Soleimani, Ahmadikhah, & Soleimani, 2009; Ullah et al., 2012; Dutta, 2013; Nwofia et al., 2015; Hasan et al., 2015; Pal et al., 2017; Ahirwar et al., 2017; Deepa et al., 2018; Shet et al., 2018; Rajawat et al., 2018; Gangadhara et al., 2019).

La relación encontrada entre número de frutos por planta y longitud del fruto fue similar a la obtenida en otras investigaciones (Ullah et al., 2012; Monge-Pérez et al., 2021); esto se debe también al fenómeno de partición de asimilados entre una mayor cantidad de sumideros. Por el contrario, otros investigadores hallaron una correlación positiva, y significativa o altamente significativa entre ambas variables (Afangideh, & Uyoh, 2007; Hanchinamani, 2006; Hasan et al., 2015; Ene et al., 2016; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011); esto podría estar influenciado por la capacidad fotosintética de cada genotipo y su relación con las condiciones ambientales. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Deepa et al., 2018; Golabadi et al., 2015; Soleimani et al., 2009; Shet et al., 2018; Verma, 2003; Dutta, 2013; Pal et al., 2017; Sharma et al., 2018; Veena et al., 2013; Ahirwar et al., 2017; Nwofia et al., 2015; Kumari et al., 2018; Karthick et al., 2019; Rajawat et al., 2018; Gangadhara et al., 2019; Kumari, 2017).

En otro trabajo (Monge-Pérez et al., 2021) se obtuvo una relación similar a la hallada entre diámetro del fruto y porcentaje de sólidos solubles totales. De forma contraria, otros autores hallaron una correlación negativa y altamente significativa entre estas variables (Pal et al., 2017).

Sin embargo, en otros estudios dicha correlación no fue significativa (Sharma et al., 2018; Kumar et al., 2011; Rajawat et al., 2018). Estas diferencias en los resultados se pueden deber a los diversos materiales genéticos incluidos en el análisis, así como las diferentes condiciones ambientales en que se desarrollaron los ensayos.

La relación hallada entre número de frutos por planta y porcentaje de sólidos solubles totales fue similar al informado en otro ensayo (Monge-Pérez et al., 2021); en este caso, la partición de fotoasimilados entre una mayor cantidad de frutos, hace que se reduzca la cantidad de sólidos solubles totales que se acumulan en cada fruto. Por el contrario, otros autores hallaron una correlación positiva y altamente significativa entre estas variables (Kumar et al., 2011; Rajawat et al., 2018). En otros estudios esta correlación no fue significativa (Pal et al., 2017; Sharma et al., 2018).

La correlación entre peso del fruto y diámetro del fruto fue similar al informado en otros trabajos (Deepa et al., 2018; Ullah et al., 2012; Golabadi et al., 2015; Hanchinamani, 2006; Pal et al., 2017; Sharma et al., 2018; Veena et al., 2013; Hasan et al., 2015; Kumari et al., 2018; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Rajawat et al., 2018; Gangadhara et al., 2019; Monge-Pérez et al., 2021); esta relación parece muy lógica, pues un aumento en el diámetro del fruto corresponde con un aumento en la masa del mismo. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Verma, 2003; Dutta, 2013; Ahirwar et al., 2017; Nwofia et al., 2015; Karthick et al., 2019; Bartaula et al., 2019).

La relación obtenida entre peso del fruto y porcentaje de sólidos solubles totales coincide con lo informado por otros autores (Rajawat et al., 2018; Monge-Pérez et al., 2021); al contar con una mayor cantidad de fotoasimilados para el llenado de cada fruto, aumenta también la cantidad de sólidos solubles totales por fruto (Kultur et al., 2001). Por el contrario, otros investigadores hallaron una correlación negativa y significativa entre estas variables (Pal et al., 2017), lo cual puede obedecer al factor genético de los materiales incluidos en el análisis. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Sharma et al., 2018; Kumar et al., 2011).

El rendimiento solamente presentó una correlación altamente significativa con número de frutos por planta, lo cual concuerda con otras investigaciones (Afangideh, & Uyoh, 2007; Deepa et al., 2018; Ullah et al., 2012; Golabadi et al., 2015; Soleimani et al., 2009; Shet et al., 2018; Hanchinamani, 2006; Verma, 2003; Pal et al., 2017; Sharma et al., 2018; Veena et al., 2013; Ahirwar et al., 2017; Nwofia et al., 2015; Hasan et al., 2015; Kumari et al., 2018; Ene et al., 2016; Arunkumar et al., 2011; Kumar et al., 2011; Karthick et al., 2019; Rajawat et al., 2018; Gangadhara et al., 2019; Neata et al., 2016; Monge-Pérez et al., 2021); esta relación es lógica, pues a mayor cantidad de frutos producidos se obtiene generalmente una mayor producción por área. En otros estudios esta correlación no fue significativa (Dutta, 2013; Kumari, 2017).

Con respecto al análisis de sendero, al igual que en el presente trabajo, en otras seis investigaciones el principal efecto positivo se encontró para número de frutos por planta (Gangadhara et al., 2019; Karthick et al., 2019; Arunkumar et al., 2011; Hasan et al., 2015; Ahirwar et al., 2017; Dehua et al., 1995), y en otros ocho casos número de frutos por planta obtuvo el segundo lugar en importancia. Además, en otras ocho investigaciones, el principal efecto positivo fue ejercido por peso del fruto (Tabla 6); en el presente ensayo dicha variable ocupó la segunda posición en importancia.

Con relación al principal efecto directo negativo sobre el rendimiento, al igual que en el presente ensayo, en otra investigación también dicho efecto fue hallado para porcentaje de sólidos solubles totales (Rajawat et al., 2018), y en otro trabajo esa variable ejerció el segundo lugar en importancia como efecto directo negativo sobre el rendimiento (Monge-Pérez et al., 2021).

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 medio del 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 se pueden deber a las diferencias en el material genético y en las condiciones ambientales.

En el presente ensayo, la variable número de frutos por planta fue la única que obtuvo un alto efecto directo positivo ($CS=1,75$), así como una correlación positiva y altamente significativa ($r=0,39$) con el rendimiento, lo que indica que la selección directa a través de este rasgo puede ser efectiva.

La variable peso del fruto 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 (longitud del fruto, diámetro del fruto y porcentaje de sólidos solubles totales) deben ser considerados simultáneamente para la selección (Reddy et al., 2017).

La presente investigación constituye, aparentemente, el segundo informe publicado sobre análisis de sendero en pepino cultivado bajo invernadero, realizado fuera de India; en ese país se hizo un ensayo en ambiente protegido (Gangadhara et al., 2019). Esta investigación también representa el segundo informe sobre esta temática realizado en Costa Rica; en este país se llevó a cabo otro ensayo, pero en época lluviosa (Monge-Pérez et al., 2021).

Se concluye que número de frutos por planta y peso del fruto fueron las variables principales que contribuyeron con el rendimiento, debido a su efecto directo positivo y alto, por lo que son criterios de selección fundamentales en fitomejoramiento de pepino cultivado bajo invernadero. Además, se concluye que las correlaciones de Pearson y el análisis de sendero son herramientas útiles en el desarrollo de un programa de fitomejoramiento en el cultivo de pepino producido en ambiente protegido.

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.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: K.C.P. y J.E.M.P.: Diseño del estudio y recolección de datos. Todos los coautores: análisis de datos, y preparación y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Afangideh, U., & 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., & 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., & 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., & Timalseña, 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., & 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.
- Deepa, S. K., Hadimani, H. P., Hanchinamani, C. N., Shet, R., Koulgi, S., & Ashok. (2018). Studies on character association in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 1977-1982.
- Dehua, M., Shuzhen, L., Wenyun, S., Zhenrong, H., Shuju, L., & Qingdong, Z. (1995). Phenotypic correlation and path analysis in cucumber. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 10(2), 34-37.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2016). *Infostat versión 2016*. Grupo Infostat, FCA. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. www.infostat.com.ar
- Dutta, R. K. (2013). *Study on genetic variability, heritability, genetic advance, correlation and path coefficient analysis in diverse genotypes of cucumber (Cucumis sativus L.)*. Institute of Agricultural Sciences, Department of Horticulture. Varanasi, India: Banaras Hindu University.
- Ene, C. O., Ogbonna, P. E., Agbo, C. U., & 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., & 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., & 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., & 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.)*. College of Agriculture, Dharwad, Department of Horticulture. Dharwad, India: University of Agricultural Sciences.
- Hasan, R., Hossain, M. K., Alam, N., Bashar, A., Islam, S., & 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., & 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., & Tiwari, R. (2018). Genetic variability in cucumber (*Cucumis sativus* L.): a review. *Plant Archives*, 18(2), 1223-1228.
- Kultur, F., Harrison, H. C., & 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., & 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., & 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., Cruz-Coronado, J. A., & Loría-Coto, M. (2021). Determinación de parámetros de selección para el rendimiento en pepino (*Cucumis sativus*) cultivado bajo invernadero. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25(1), 43-55.
- Murtadha, M. A., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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, & 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., & 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., & 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., & 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.)*. College of Horticulture Dr. Yashwant Singh Parmar. Nauni, Solan (HP), India: University of Horticulture and Forestry.