

Variabilidad morfoagronómica de poblaciones F2 de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en Cartago, Costa Rica

Morphoagronomic Variability of Pepper (*Capsicum Annuum* L.) F2 Populations in Cartago, Costa Rica

Andrés Zúñiga-Orozco^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8214-4435>
Ayerin Carrodegua-González² <https://orcid.org/0000-0001-5890-4174>
Marco Chinchilla-Obando¹ <https://orcid.org/0000-0001-9719-2077>

¹Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.

²Instituto de Investigaciones Hortícolas Lilliana Dimitrova, Mayabeque, Cuba.

*Autor de correspondencia: azunigao@uned.ac.cr

Resumen

En Costa Rica la semilla importada de Chile dulce tiene un alto costo para los productores, lo cual hace necesario la obtención de nuevas variedades locales. En cualquier programa de mejora, es necesario conocer la diversidad genética del material que se utiliza. Debido a ello, se planteó evaluar la variabilidad morfoagronómica de individuos F2 provenientes del cruce entre parentales de Chile de forma lamuyo y blocky para así seleccionar los mejores genotipos en el desarrollo de nuevas variedades. Producto de la polinización manual entre un parental hembra de forma lamuyo y tres parentales machos de forma blocky se obtuvieron tres líneas F1. Se seleccionaron las mejores plantas por cruce para ser llevadas a F2 por autopolinización y evaluar la progenie. En la F2 se evaluaron variables cuantitativas: peso del fruto (g), grosor del fruto (mm), longitud del fruto (cm), cantidad de frutos y altura de planta (cm). Como primer resultado se obtuvo la segregación de caracteres para color y forma. El cruce RxR fue el que mejor se comportó para la mayoría

Abstract

In Costa Rica, imported sweet pepper seed has a high cost for producers, which makes it necessary to obtain new local varieties. In any breeding program, it is necessary to know the genetic diversity of the material that is used. Due to the above, it was proposed to evaluate the morphoagronomic variability of F2 individuals from the cross between pepper parentals in lamuyo and blocky form in order to select the best genotypes in the development of new varieties. As a result of manual pollination between a female parent with a lamuyo shape and three male parents with a blocky shape, three F1 lines were obtained. The best plants were selected by crossing to be brought to F2 by self-pollination and to evaluate the progeny. In F2 quantitative variables were evaluated: fruit weight (g), fruit thickness (mm), fruit length (cm), number of fruits and plant height (cm). As a first result, character segregation was obtained for color and shape. The RxR cross was the one that performed the best for most variables except for fruit length and plant height. According to

de variables, excepto para la longitud de fruto y altura de planta. Según el análisis de componentes principales, todos los caracteres mostraron contribución en al menos uno de los cruces. Con los resultados obtenidos se seleccionaron los mejores fenotipos, priorizando los de forma blocky. La evaluación de la variabilidad morfoagronómica en el presente estudio determinó que todos los caracteres analizados tienen variabilidad suficiente para ser seleccionados y obtener fenotipos novedosos y de interés agronómico.

Palabras clave

Cruzamientos, híbridos, variabilidad, mejora genética, genotipos.

the principal component analysis, all the characters showed contribution in at least one of the crosses. With the results obtained, the best phenotypes were selected, prioritizing those in a blocky fruit shape. The evaluation of the morphoagronomic variability in the present study determined that all the analyzed characters have sufficient variability to be selected and obtain novel phenotypes of agronomic interest.

Keywords

Crosses, hybrids, variability, plant breeding, genotypes.

Introducción

El chile dulce (*Capsicum annuum*) es un cultivo de importancia económica que se desarrolla tanto en campo abierto como en invernadero, en regiones templadas y cálidas. Los países que lideran esta actividad son Indonesia, China, España, Turquía y México, los cuales abarcan 74% de la producción mundial del pimiento (Villamil, 2015; FIDE, 2017). En América destacan países como México, Argentina y Venezuela como líderes en producción; en el caso de Centroamérica, el reporte de 2016 coloca a Guatemala como principal proveedor de la región, seguido de Costa Rica (Martínez *et al.*, 2016; Fallas-Solano, 2017; FIDE, 2017). Según Fallas-Solano (2017), en Costa Rica las principales regiones que se dedican a la producción de chile dulce son: el valle central y la zona sur del país, donde representa una actividad económica y social importante (Ramírez-Martarrita *et al.*, 2018).

En Costa Rica, según Elizondo-Cabalca y Monge-Pérez (2017), la gran parte de agricultores de chile dulce utilizan un sistema de producción a cielo abierto, donde la cosecha tiene como destino principal el mercado nacional e internacional. En el VI Censo Nacional Agropecuario 2014, se evidenció el incremento del cultivo, consecuentemente más de la mitad de fincas dedicadas a la producción de hortalizas, están destinadas a la productividad de *C. annuum* (Camacho-Arce, 2017).

A pesar de la importancia que representa este cultivo para la economía de Costa Rica, esta actividad se ve afectada por una serie de factores como: los altos costos operativos, la competitividad desleal en el sector en el que se incluye gran cantidad de intermediarios, el impacto del cambio climático, la falta de apoyo estatal, el acceso al crédito, la poca investigación y la escasez de mano de obra. Todos estos reverses son factores con los que lidia el productor de chile; por otra parte, de cierta forma inciden en que el desarrollo del sector se vea apoyado por las semillas de híbridos y cultivares principalmente importadas. Esta

situación pone en desventaja al productor por no poder obtener variedades desarrolladas en sus condiciones, con germoplasma local y agrega una dependencia marcada a este insumo.

La semilla importada tiene alto costo para los productores, el cual ronda entre los 0.04 y 0.07 dólares por unidad. Además, la adaptabilidad de estas semillas es variable y se debe hacer gran cantidad de pruebas para determinar cuales se adaptan a las condiciones de Costa Rica, puesto que son semillas mejoradas para agroecosistemas de otros países (González-Marín y Espinosa-Rojas, 2014; Mora-Rojas, 2020). Es por ello que se vuelve importante la obtención de nuevas variedades de chile dulce mediante el mejoramiento genético local y que brinde accesibilidad de semilla al productor a un mejor precio (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2017; Murillo, 2019).

El fitomejoramiento es una herramienta que ofrece una solución al problema planteado, debido a que permite la obtención de una semilla propia con características agronómicas deseables y adaptables al medio costarricense (Camacho-Arce, 2017), donde el mercado demanda chiles con frutos de punta alargada con un peso entre 180 a 400 g y principalmente de color rojo. Por tanto, las variedades que más se cultivan son las que presentan frutos con forma lamuyo, los cuales son alargados con una punta característica en su extremo distal y una longitud de 10-20 cm (Agrovademecum, 2020; Syngenta España, 2019; Pino *et al.*, 2018). A pesar de lo anterior, existe la posibilidad de crear nuevas variedades de tipo lamuyo e incluso innovar con nuevas formas y colores de cáscara, así como competir en el mercado nacional con mejores características agronómicas y destinar esas variedades tanto a campo abierto como en invernadero.

Aparte de los chiles de tipo lamuyo, las variedades de tipo blocky tienen un incremento en la demanda nacional, e incluso en otros países son los frutos de preferencia para el consumidor. Tienen la particularidad de tener cáscara gruesa, una longitud de 10-15 cm, hombros pronunciados, mayor espacio intralocular, un sabor más pronunciado y hay varios colores (Pino *et al.*, 2018).

Sing *et al.* (2020) abordaron la variabilidad morfoagronómica de genotipos de chile por medio de análisis de componentes principales (PCA), así como otros estudios caracterizan la diversidad genética en accesiones de *C. annuum* (Ballina-Gómez *et al.*, 2013). En ambos estudios se demostró que los caracteres morfológicos relacionados al fruto fueron los que aportaron mayor variabilidad al sistema, por lo tanto, deben ser prioridad en programas de mejora genética.

Es importante obtener nuevas variedades con alta calidad de fruto, sabor, tamaño, rendimiento y resistencia a enfermedades, que le permitan al productor contar con semillas a menor costo y propiedades agronómicas deseables y adaptadas al país. Actualmente se desarrolla un proyecto institucional por parte de la Universidad Estatal a Distancia (UNED, Costa Rica), en el cual se busca el desarrollo de variedades y semilla a nivel local, en coincidencia con las políticas gubernamentales y el plan operativo de la política nacional de semillas. Por ello es indispensable inducir variabilidad genética mediante cruces entre diferentes especies, variedades y accesiones.

El objetivo del presente estudio es evaluar la variabilidad genética de individuos F2 proveniente del cruce entre parentales de chile de forma lamuyo y blocky para así seleccionar los mejores genotipos en el desarrollo de nuevas variedades.

Materiales y métodos

Localización y material vegetal

Se realizó un programa de cruzamientos en chile dulce, en una propiedad ubicada en el distrito de Cachí del cantón de Paraíso, Cartago, Costa Rica (9° 52' latitud norte y 83° 56' longitud oeste). Se utilizó como progenitor femenino una variedad introducida con fruto tipo lamuyo rojo y como progenitores masculinos se utilizaron tres variedades locales de chile blocky con frutos de color rojo, amarillo y naranja.

Polinización y tratamientos

En la figura 1 se presenta el esquema de cruces que se realizó hasta la F2 para el caso del parental masculino del fruto amarillo; esto se aplicó también para los otros dos parentales (rojo y naranja). Se observan proporciones genotípicas y fenotípicas esperadas para la F1 y F2 teniendo en cuenta que se presentó dominancia incompleta para el carácter forma del fruto.

Se obtuvo el F1 mediante un cruzamiento manual en un ambiente protegido; se realizó en un arreglo de dialelo parcial que consistió en una dirección, es decir, sin sentido recíproco. Las semillas se cosecharon de forma manual. En cada cosecha se contabilizaron los frutos frescos en unidades y se llevó un registro de los frutos cosechados en las 24 plantas elegidas para el experimento de cruzamiento.

Para obtener el F1 se efectuaron los siguientes cruces: $R_xR = \text{lamuyo rojo} \times \text{blocky rojo}$, $R_xN = \text{lamuyo rojo} \times \text{blocky naranja}$ y $R_xA = \text{lamuyo rojo} \times \text{blocky amarillo}$. Se sembraron 100 plantas de cada cruce, subdividido cada uno en cuatro grupos de 25 plantas y se sembró en el campo en un diseño experimental de cuadrado latino con cuatro bloques. Se tomaron las mejores 15 plantas de cada cruce y se autopolinizaron. De esas autopolinizaciones se tomaron frutos, se cosechó la semilla por separado y se prepararon 450 plantas para la F2.

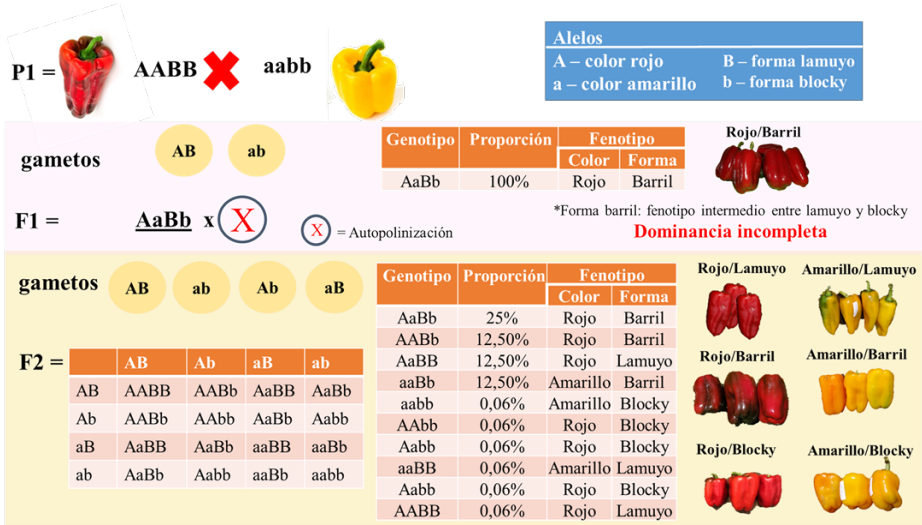
La siembra de F2 se estableció bajo un diseño irrestricto al azar con 450 plantas; se ordenaron en tres grupos provenientes de los tres cruces iniciales (150 plantas/cruce). Los grupos corresponden a los tratamientos o cruces: R_xR , R_xN , R_xA , testigo blocky rojo, testigo blocky naranja, testigo blocky amarillo y testigo lamuyo rojo.

Variables cuantificadas

Las siguientes variables cuantitativas fueron medidas en la generación F2 al momento y posterior a la cosecha: peso del fruto (g), grosor del fruto (mm), longitud del fruto (cm), cantidad de frutos (unidad) y altura de planta a los 90 días (cm).

Figura 1

Diagrama de cruce para el desarrollo del experimento, se expone un ejemplo en el que se usa como modelo el cruce: fruto lamuyo rojo x fruto blocky amarillo



Fuente: Elaborado por los autores.

Manejo

Para la siembra de las semillas F1 y F2 se utilizaron bandejas de 98 celdas para efectuar su germinación. El trasplante de las plántulas se realizó directamente sobre suelo, con una distancia entre ellas de 25 cm y con 1.0 m entre lomo. Se aplicó una fertilización basada en manuales de recomendaciones técnicas (Guil y Morales, 2018). Se realizaron labores culturales de tutorado, deshojado, control de malezas, monitoreo de insectos y enfermedades con visitas periódicas y se manejó sin poda.

Para el control de plagas como mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y mosca del chile (*Neosilba* spp) se usó dimetoato + cipermetrina con una dosis de 250 mL/ha; para los ácaros se aplicó abamectina 100 mL/ha; para fitofagos y trips, spinetoram 125 mL/ha y para el picudo (*Anthomonus eugeni*) fipronil a una dosis de 100 mL/ha. Para cada caso se valoró aplicar con coadyudantes y reguladores de pH.

Para la prevención de ataque contra *Phytophthora capsici* se utilizó mancozeb + oxiclورو de cobre a una dosis de un kg/ha y aplicado a la base de la planta. Para el control de manchas foliares como *Cercospora* sp. se utilizó de manera preventiva propineb a una dosis de 1.5 kg/ha, óxido cuproso al 54.4% a una dosis de 500 g/ha o metil tiofanato a una dosis de 250 ml/ha. En el control de arvenses se utilizaron aspersiones de glufosinato de amonio en una dosis de un l/ha y en algunos casos paraquat (l/ha), mientras que en la preparación del terreno se usó glifosato a una dosis de 1.5 l/ha.

Análisis estadístico

Para el procesamiento estadístico de los datos de la generación F2, primeramente se determinaron los parámetros de dispersión de la media (X), desviación estándar (ES) mínima y máxima y coeficiente de variación (CV).

Para el análisis de las variables cuantitativas se realizó un ANOVA en el programa InfoStat^(R), tomando como criterio de clasificación los cruces e incluyendo los valores de los testigos. En el ANOVA se incluyó una prueba de Duncan para la separación de medias y se seleccionó un $p = 0.1$. La razón fundamental de escoger ese valor de p es que, en una generación segregante inicial como lo es una F2, no es conveniente aumentar la confiabilidad, puesto que en este momento lo que se busca es percibir la mayor cantidad de individuos diferentes a la media y seleccionar lo mejor para las generaciones siguientes. En caso contrario se desecharía mucho material.

Por cada cruzamiento se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando el programa InfoStat^(R) versión 2019, sobre la base de la matriz de correlaciones fenotípicas, con la finalidad de estudiar la variabilidad general dentro de cada cruce y los índices que eran responsables de las mismas. Para lo anterior, primeramente se estandarizaron los datos debido a que se encontraban en diferentes unidades de medida.

Resultados

Como análisis inicial de los datos se realizó estadística descriptiva. En el cuadro 1 se reportan los valores.

Cuadro 1

Estadística descriptiva de las variables analizadas en la F2 para los tres cruces y sus progenitores

Genotipos	Estadística descriptiva	Peso (g)	Grosor (mm)	Longitud del fruto (cm)	Cantidad de fruto	Altura (cm)
RxR	Media	161.81	5.14	11.55	1.67	96.90
	Mínimo	66.00	3.00	5.33	1.00	67.00
	Máximo	285.00	8.00	18.00	4.00	132.00
	Desv. Est.	34.70	0.60	1.38	0.26	21.39
	CV	21.44	11.67	11.95	15.57	22.07
RxN	Media	160.81	5.39	11.32	1.68	86.88
	Mínimo	59.00	3.00	6.50	1.00	54.00
	Máximo	297.00	10.00	16.00	5.00	128.00
	Desv. Est.	33.45	0.78	1.07	0.38	20.90
	CV	20.80	14.47	9.45	22.62	24.06

Continúa en página siguiente

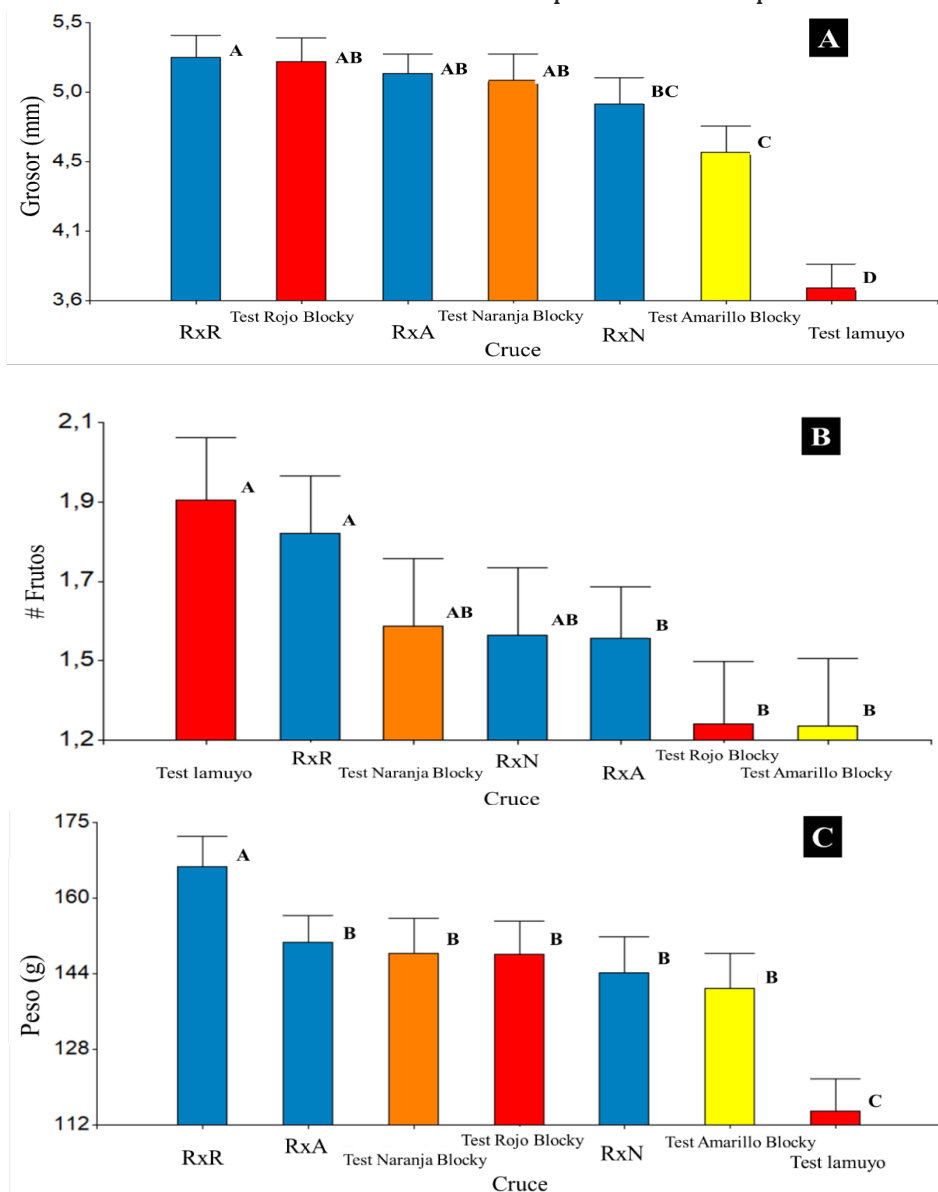
Viene de página anterior

Genotipos	Estadística descriptiva	Peso (g)	Grosor (mm)	Longitud del fruto (cm)	Cantidad de fruto	Altura (cm)
RxA	Media	151.88	5.19	11.82	1.52	101.32
	Mínimo	63.00	3.00	8.66	1.00	65.00
	Maximo	320.00	8.00	16.00	4.00	140.00
	Desv. Est.	37.01	0.63	1.02	0.28	20.71
	CV	24.37	12.14	8.63	18.42	20.44
Testigo rojo	Media	147.81	5.24	11.57	1.29	101.20
	Mínimo	133.00	4.00	10.00	1.00	92.00
	Máximo	160.00	6.00	13.00	2.00	109.00
	Desv. Est.	7.33	0.40	0.98	0.09	7.60
	CV	4.96	7.64	8.45	7.00	7.51
Testigo naranja	Media	147.94	5.11	11.67	1.56	102.60
	Mínimo	129.00	4.00	9.00	1.00	98.00
	Máximo	170.00	6.00	14.00	3.00	110.00
	Desv. Est.	12.53	0.40	0.90	0.14	4.93
	CV	8.47	7.83	7.71	9.00	4.80
Testigo amarillo	Media	140.61	4.61	10.78	1.28	90.60
	Mínimo	118.00	4.00	9.00	1.00	87.00
	Máximo	168.00	6.00	13.00	2.00	95.00
	Desv. Est.	12.67	0.30	0.80	0.08	3.05
	CV	9.01	6.51	7.42	6.26	3.37
Testigo lamuyo	Media	114.81	3.67	13.29	1.90	124.40
	Mínimo	104.00	3.00	1.00	1.00	118.00
	Máximo	125.00	5.00	18.00	3.00	130.00
	Desv. Est.	5.75	0.32	1.30	0.09	4.83
	CV	5.01	8.73	9.78	4.73	3.88

En el análisis de las variables cuantificadas se observa en la figura 2 que existieron diferencias significativas en los cruces con respecto a los testigos o parentales utilizados ($p < 0.1$) y el cruce RxR presentó mejores valores para la mayoría de caracteres, excepto para la longitud de fruto y altura de la planta.

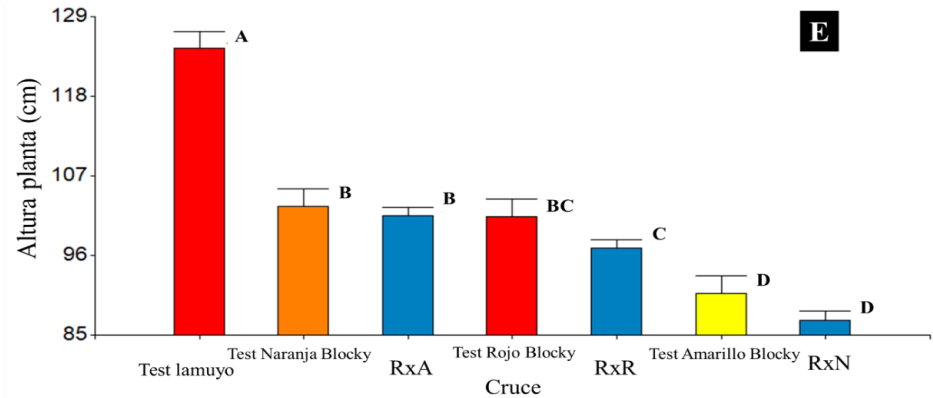
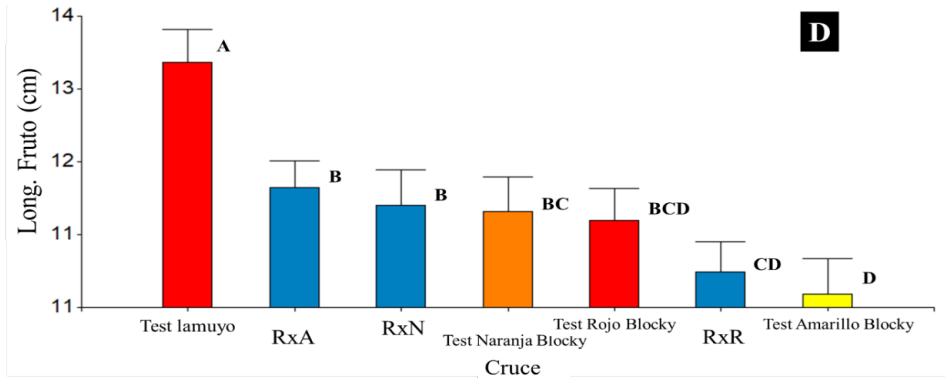
Figura 2

Promedio de variables evaluadas en la población F2 de pimiento



Continúa en página siguiente

Viene de página anterior



A: grosor del fruto (mm) ($p < 0.0001$). **B:** número de frutos ($p = 0.0830$). **C:** peso del fruto (g) ($p < 0.0001$). **D:** Longitud del fruto (cm) ($p < 0.0001$). **E:** altura de la planta (cm) ($p < 0.0001$) para los cruces RxR (lamuyo rojo X blocky rojo). RxN (lamuyo rojo X blocky naranja) y RxA (lamuyo rojo X blocky amarillo) y para los testigos (Blocky rojo, naranja, amarillo y lamuyo rojo). (Letras diferentes entre las medias indican diferencias significativas Duncan, $p < 0.1$).

En la figura 3 se analiza la estructura de una matriz de datos (varianzas y correlaciones) compuesta de unidades taxonómicas (híbridos F2 de Chile) y los promedios aritméticos de las variables que las caracterizan.

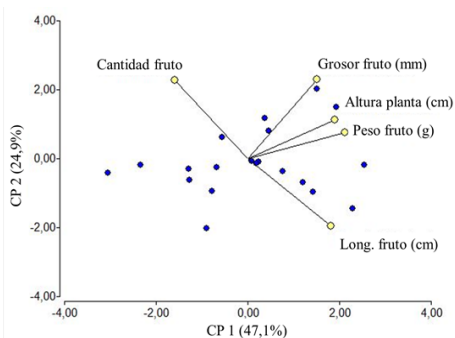
Los tres primeros componentes calculados en este estudio explicaron 83% de la variación original para el cruce RxR, 76% para RxN y 89% para RxA. Para el cruce RxR en el primer componente, el carácter peso del fruto fueron los de mayor contribución; en la segunda componente fueron los caracteres grosor del fruto y cantidad de frutos; en el tercer componente se tuvo un mayor peso y grosor del fruto y altura de la planta, siendo la de mayor contribución en general. En el cruce RxN, en el primer componente las variables peso del fruto, grosor del fruto y cantidad de frutos fueron las de mayor contribución; en el segundo componente fue la altura de la planta; y para el tercer componente fue el tamaño

del fruto. En el caso del cruce RxA, en el primer componente no hubo una variable que tuviese una contribución significativa sobre las demás; en la segunda fueron las variables grosor de fruto y cantidad de frutos; y para la tercera, tamaño del fruto.

Figura 3

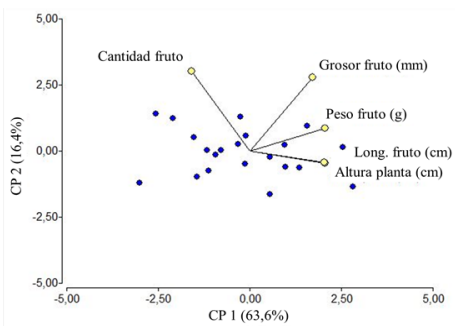
Biplot de los dos primeros componentes resultantes del ACP: autovalores, contribución a la varianza total, varianza acumulada y valores de los vectores de caracteres cuantitativos para los tres cruces

Cruce RxR



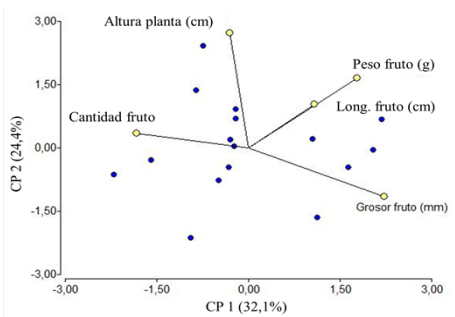
Componentes Principales	C1	C2	C3
Valores propios	2.36	1.25	0.55
Contribución (%)	47	25	11
Varianza acumulada (%)	47	72	83
Vectores propios	C1	C2	C3
Peso del fruto	0.53	0.19	-0.19
Grosor del fruto	0.37	0.57	-0.53
Tamaño del fruto	0.45	-0.49	-0.11
Cantidad de frutos	-0.4	0.57	0.09
Altura de la planta	-0.47	0.28	0.82

Cruce RxN



Componentes Principales	C1	C2	C3
Valores propios	3.18	0.82	0.43
Contribución (%)	64	16	9
Varianza acumulada (%)	64	80	89
Vectores propios	C1	C2	C3
Peso del fruto	0.48	0.21	0.43
Grosor del fruto	0.40	0.66	-0.44
Tamaño del fruto	0.48	-0.11	0.59
Cantidad de frutos	-0.38	0.71	0.31
Altura de la planta	0.48	-0.10	-0.42

Cruce RxA



Componentes Principales	C1	C2	C3
Valores propios	1.61	1.22	0.96
Contribución (%)	32	24	19
Varianza acumulada (%)	32	57	76
Vectores propios	C1	C2	C3
Peso del fruto	0.50	0.47	-0.02
Grosor del fruto	0.62	-0.33	-0.19
Tamaño del fruto	0.30	-0.29	0.83
Cantidad de frutos	-0.51	0.10	0.30
Altura de la planta	-0.08	0.76	-0.42

En la figura 4 se observan los diferentes fenotipos de chile obtenidos en la F2, donde se aprecian las diferentes formas (blocky, lamuyo y barril) y colores que segregaron los cruces realizados (rojo, naranja y amarillo).

Figura 4
Formas y colores obtenidos en los híbridos F2 segregantes provenientes de los tres cruces realizados



Fuente: elaborada por los autores.

Al término del ensayo se seleccionaron los mejores genotipos para un total de 59 plantas, con el objetivo de ser llevadas a la siguiente generación: 21 plantas provenientes del cruce RxR, 16 del cruce RxN y 22 del cruce RxA.

Discusión

El CV permite estimar la variabilidad existente en caracteres cuantitativos (Pélabon *et al.*, 2020). Valores altos de CV corresponden a variables heterogéneas, mientras que valores bajos (menores a 20%) a variables homogéneas (Farias *et al.*, 2013). En el cruzamiento RxR se obtiene homogeneidad para grosor del fruto, tamaño del fruto y cantidad de frutos por planta, con CV entre 11-16%. En el cruce RxN y RxA, las variables más homogéneas fueron grosor del fruto y tamaño del fruto, con CV entre 8-15%. Las variables peso del fruto y altura de la planta mostraron en los tres cruces un CV por encima de 20% con

gran variabilidad. Castañón-Najera *et al.* (2010) obtuvieron resultados de CV de 61% en variables relacionadas al fruto y 36% en variables relacionadas a la planta, por lo que concluyeron que son dos grupos de caracteres que contribuyen mayormente a la variabilidad en pimiento, seguido por caracteres asociados a la flor. Cherian e Indira (2003), en la evaluación de 26 accesiones de chile habanero, encontraron que las variables con más diferencias observadas fueron la altura de la planta y longitud del fruto; esta última variable similar a los resultados encontrados en la presente investigación.

Para el grosor del fruto, número de frutos, peso del fruto y longitud del fruto los genotipos resultantes del cruce RxR fueron, de forma general, los que presentaron mayores valores, no fue sólo así para el caso de la longitud de fruto. A nivel individual, el testigo lamuyo presenta menores valores con relación a las variables grosor y peso del fruto, a diferencia de la longitud y número de frutos, lo cual es congruente con la forma alargada del mismo. Este parental fue utilizado como donador por su aporte en la tolerancia a la bacteria (*Xanthomonas campestris*). Finalmente, cabe señalar que se seleccionaron los mejores fenotipos en las cinco variables cuantificadas para desarrollar variedades blocky en tres colores con tolerancia a *X. campestris*; sin embargo, los que segregaron para color y formas novedosas como lamuyo amarillo y la forma barril en los tres colores (rojo, naranja y amarillo) fueron tomados en cuenta para un posible desarrollo posterior de líneas alternas.

Uno de los objetivos de la investigación fue determinar cuáles variables contribuyen más a la variabilidad genética para ser tomadas en cuenta en programas de mejora. En el presente estudio se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) debido a que es un método estadístico que permite la fácil identificación de caracteres poligénicos que son de importancia en los programas de mejora genética. Además, son útiles para explicar la diversidad genética de genotipos de pimiento y otros cultivos. Los valores pueden ser utilizados para estimar la contribución de cada variable a la variabilidad de cada componente principal (Singh *et al.*, 2020). Los análisis de ACP ofrecen una manera de reducir datos complejos a un set de datos de una menor dimensión, pero que aún contiene la información necesaria, lo que permite una fácil interpretación de los datos (Quindemil y Rumbaut, 2020; Arroyo-Hernández, 2016).

El hecho de que los tres primeros componentes principales calculados en este estudio para los tres cruces expliquen más de 70 % de la variación original, justifica que las correlaciones aproximadas que se pueden observar en el biplot entre los híbridos F2, entre variables agronómicas y entre cultivares y variables, pueden interpretarse confiablemente (González *et al.*, 2010). Los gráficos del tipo biplot reemplazaron la necesidad de usar gráficas múltiples y permitió el análisis visual de posibles patrones y relaciones entre las unidades taxonómicas y las variables. La similitud entre unidades taxonómicas o entre variables se puede determinar por la magnitud del ángulo que se forma entre parejas de vectores: un ángulo de 90° indica no correlación; un ángulo de 0 o de 180° indica correlación de 1.0 o -1.0, respectivamente (González *et al.*, 2011).

En términos generales, los caracteres que mostraron una contribución significativa a la varianza del sistema en los tres cruces fueron: grosor de la pared del fruto y cantidad de frutos por plantas, pero de forma general todos los caracteres analizados mostraron

contribución en al menos uno o dos de los cruces. Esto concuerda con los estudios realizados por Lahhib *et al.* (2012), Rana *et al.* (2014), Singh *et al.* (2020), Ukkund *et al.* (2007), Castañón-Najera *et al.* (2010) y Medina *et al.* (2006), quienes reportaron que las características relacionadas al fruto, como tamaño, peso y número de frutos por planta, eran de gran contribución a la variabilidad. También Ibrahim *et al.* (2001) reportaron que la altura de la planta es una característica de alta contribución.

En un estudio realizado por Ballina-Gómez *et al.* (2013) se realizó una caracterización morfológica de 18 genotipos de *Capsicum annum* utilizando 47 marcadores morfológicos. Fueron tomadas en cuenta 12 componentes que explicaban 94% de la variabilidad; sin embargo, en el presente estudio sólo los tres primeros componentes explicaron 83, 76 y 89% de la variación original. Según Sharifi *et al.* (2018), el número de componentes formados indica alta variación, lo que explica las diferencias entre ambos estudios; por su parte, Ballina-Gómez *et al.* (2013) utilizaron genotipos provenientes de diferentes lugares, mientras que en el presente estudio se utilizaron híbridos F2. Las características con más contribución a la varianza total fueron igualmente las relacionadas con el fruto.

En cuanto a la segregación de caracteres se observó que la forma del fruto presentó dominancia incompleta; según Sapkota (2020), en este tipo de herencia ninguno de los alelos involucrados *eclipsa* totalmente al otro, razón por la cual los fenotipos observados son intermedios. En el presente estudio se observó un fenotipo intermedio en cuanto al carácter forma de fruto, obteniéndose un fruto al que denominamos *barril* por tener características entre el tipo lamuyo y blocky, otros fitomejoradores le llaman *cuernitoro*. La dominancia incompleta para el carácter forma del fruto, también se observa en cultivos como sandía (Juárez, 2008).

Como recomendación, los fenotipos que no fueron parte del objetivo principal de mejora pueden tomarse como base para desarrollar líneas con un componente de innovación para el mercado comercial de fruto fresco.

Conclusiones

La evaluación de la variabilidad genética en la población segregante permitió identificar los mejores genotipos provenientes del cruce entre parentales de pimiento con forma lamuyo y blocky para el desarrollo de nuevas variedades.

Para todas las variables cuantitativas analizadas se presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al cruce y genotipo, por lo que se evidencia la heterogeneidad en la F2, producto de los cruzamientos efectuados.

Según el ACP, los caracteres que mostraron una contribución significativa a la varianza del sistema en los tres cruces fueron: grosor de la pared del fruto y cantidad de frutos por plantas; sin embargo, todos los caracteres analizados mostraron contribución en al menos uno o dos de los cruces. Lo anterior implica que todos los caracteres analizados pueden ser tomados para la mejora genética.

Se obtuvieron nueve fenotipos en cuanto a forma y color para los tres cruces; además, en este estudio de híbridos F2 se confirmó la presencia de dominancia incompleta para el carácter forma de fruto observado en la F1.

Literatura citada

- Agrovademecum (2020). Semillas de pimiento Lamuyo. <https://www.agrovademecum.com/pimiento/lamuyo>. (Consultado 5 febrero 2021).
- Arroyo-Hernández, J. (2016). Métodos de reducción de dimensionalidad: Análisis comparativo de los métodos APC, ACPP y ACPK. *Uniciencia*. 30 (1): 115-122.
- Ballina-Gómez, H.; Latournerie-Moreno, L.; Ruíz-Sánchez, E.; Pérez-Gutiérrez, A. y Rosado-Lugo, G. (2013). Morphological characterization of *Capsicum annum* L. accessions from southern Mexico and their response to the *Bemisia tabaci*-Begomovirus complex. *Chilena J. Agric. Res.* 73 (4): 329-338.
- Camacho-Arce, G. (2017). Evaluación económica para la producción del híbrido de chile dulce (*Capsicum annuum*) "Dulcítico" en invernadero. mediante el enfoque de presupuestos parciales. en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Alajuela. Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Alajuela. Costa Rica. Universidad De Costa Rica.
- Castañón-Najera, G.; Latournerie-Moreno, L.; Leshner-Gordillo, J.M.; de la Cruz-Lázaro, E. y Mendoza-Elos, M. (2010). Identification of variables for the morphological characterisation of hot peppers (*Capsicum* spp) in Tabasco. Mexico. *Trópico Húmedo*. 26(3): 225-234.
- Cherian, E.V. y Indira, P. (2003). Variability in *Capsicum chinense* Jacq. Germoplasm. *Capsicum and Eggplant Newsletter*. 22: 47-53.
- Elizondo-Cabalseta, E. y Monge-Pérez, J. (2017). Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*. 30 (2): 36-47.
- Farias, M.; Peternelli, L.A.; I; Pereira, M.H. (2013). Classification of the coefficients of variation for sugarcane crops. *Cienc. Rural*. 43(6): 957-961.
- Fallas-Solano, L. (2017). Efecto de la densidad de siembra y el volumen del sustrato sobre el rendimiento y la calidad poscosecha del chile dulce (*Capsicum annum* cv. "Dulcítico"). bajo invernadero en Alajuela. Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Alajuela. Costa Rica. Universidad De Costa Rica.
- FIDE (Fundación para la inversión y desarrollo de exportaciones). (2017). Chile; Mercado Unión Europea. Honduras. No 9. <https://es.scribd.com/document/417344247/Ficha-No-9-Chiles-Fide-2017-1>. (Consultado 7 febrero 2021).
- González, A.; Pérez, D. J.; Franco, O.; Nava, E. G.; Gutiérrez, F.; Rubí, M. y Castañeda, A. (2011). Análisis multivariado aplicado al estudio de las interrelaciones entre cultivares de maíz y variables agromóricas. *Ciencias agrícolas informa*. 20(2): 58-65.
- González, A.D.; Pérez, J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E.J.; Rubí, M.; Gutiérrez, M.F.; y Balbuena, A. (2010). Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atacomulco. México. *Rev. Agronomía Costarr.* 34: 129-143.
- González-Marín, R. y Espinosa-Rojas, J. (2014). Dulcítico. un híbrido nacional con sello UCR. San José. Costa Rica. (en línea). <https://semanariouniversidad.com/suplementos/crisol/dulcítico-un-hbrido-nacional-con-sello-ucr/>. (Consultado 1 febrero 2021).
- Guil, A. y Morales, I. (2018). Manual práctico para el cultivo del pimiento en agricultura protegida. Ed. Mundi Prensa. Madrid. España.
- Ibrahim, M.; Ganiger, V.M. y Yenjerappa, S.T. (2001). Genetic variability. heritability. genetic advance and correlation studies in chilli. *Karnataka Journal of Agricultural Science*. 14: 784-787.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2020). Datos climáticos por capa. <https://www.imn.ac.cr/mapa> (Consultado 1 febrero 2021)
- Juárez, B. (2008). Programa de mejoramiento genético de sandía in Seminis. Seminis Vegetable Seeds Inc. Woodland. California, Estados Unidos. 18 p.

- Lahbib, K.; Bnejdi, F. y Mohamed, E.I.G. (2012). Genetic diversity evaluation of pepper (*Capsicum annum* L.) in Tunisia based on morphologic characters. *African Journal of Agricultural Research*. 7(23): 3413-3417.
- Martínez, A.; Mejía de Tafur, M.; Ibarra, D.; García, M. y Cayón, D. (2016). Respuesta del ají (*Capsicum annum* L. Var. Cayena) a concentraciones de N. P. K. Ca y Mg en Palmira. Valle Del Cauca. Colombia. Palmira. CO. *Biotecnología y ciencias agropecuarias*. (3): 40-48.
- Medina, C.L.; Lobo, M. y Gómez, A.F. (2006). Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 7: 25-39.
- Mora-Rojas, J. (2020). Híbrido de chile dulce creado por la UCR destaca por calidad. (en línea). <http://www.proinnova.ucr.ac.cr/es/2017/11/08/hibrido-de-chile-dulce-creado-en-la-ucr-destaca-por-calidad/> (Consultado 23 enero 2021).
- Murillo, A. (2019). El agro en crisis: una tormenta que podría cambiar el terreno. <https://semanariouniversidad.com/pais/el-agro-en-crisis-una-tormenta-que-podria-cambiar-el-terreno/> (Consultado 15 enero 2021).
- Pélabon, C.; Hilde, C. H.; Einum, S. y Gamelon, M. (2020). On the use of the coefficient of variation to quantify and compare trait variation. *Evolution Letters*. 4-3: 180–188.
- Pino, M. T.; Campos, A.; Saavedra, J.; Álvarez, F.; Salazar, C.; Hernández, C.; Soto, S.; Estay, P.; Vitta, N.; Escaff, M.; Pabón, C. y Zamora, O. (2018). Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. Santiago. Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 360. 110 p.
- Quindemil, E.M. y Rumbaut, L.F. (2019). Análisis de componentes principales para obtener indicadores reducidos de medición en la búsqueda de información. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*. 30(3): e1374.
- Ramírez-Martarrita, R.; Aguilar-Rodríguez, J. y Meza-Rodríguez, L. (2018). Adaptabilidad de seis cultivares de chile dulce bajo invernadero en Guanacaste. *Alcances Tecnológicos*. 12(1): 13-23.
- Rana, M.; Sharma, R.; Sharma, P.; Bhardwaj, S.V.; Kumar, S.; Brar, S.N.; Sharma, M. y Dogra, R. (2014). Studies on genetic variability and divergence in *Capsicum* for fruit yield and quality traits in North-Western Himalayas. *Ecology. Environment and Conservation*. 21: 429-435.
- Sapkota, A. (2020). Incomplete dominance vs Co-dominance- Definition. 10 Differences. Examples. Microbe notes-Online Microbiology and Biology Study Notes. <https://microbenotes.com/incomplete-dominance-vs-co-dominance/> (Consultado 9 marzo 2021).
- Sharifi, P.; Astereki, H. y Pouresmael, M. (2018). Evaluation of variations in chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield and yield components by multivariate technique. *Annals of Agrarian Science*. 16(2): 136-142.
- Singh, P.; Jain, P. K. y Tiwari, A. (2020). Principal Component Analysis Approach for Yield Attributing Traits in Chilli (L.) Genotypes. *Chem. Sci. Rev. Lett*. 9(33): 87-91.
- Syngenta España (2019). Semillas de pimiento Lamuyo. <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Semillas-de-pimiento-lamuyo-rojo-Syngenta-Gaston-76812.html> (Consultado 1 febrero 2021).
- Ukkund, K.C.; Madalageri, M.B.; Patil, M.P.; Mulage, R.; Kotikal, Y.K. (2007). Variability studies in green chilli (*Capsicum annum* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Science*. 20: 102-104.
- Villamil-García, J. (2015). Evaluación de tres híbridos de chile pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en cultivo hidropónico. en invernadero. Tesis de licenciatura. Torreón. Coahuila. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Recepción: 23 de febrero 2021

Arbitraje: 26 de febrero 2021

Dictamen: 07 de abril 2021

Aceptado: 15 de abril 2021