

## Identificación de genotipos partenocárpicos de *Cucurbita pepo* L. tipo Grey Zucchini

### Identification of parthenocarpic genotypes of *Cucurbita pepo* L. type Grey Zucchini

Luis F. Ramírez-Zavala<sup>1</sup>, Daniel Esteves-Rangel<sup>2</sup>, Ana I. Mireles-Arriaga<sup>1</sup>,  
Jesús Hernández-Ruiz<sup>1</sup>, Jorge E. Ruiz-Nieto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato, Km 9 Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Guanajuato, México, 36500. Tel.: +52014626241889 ext. 5244. Email: jorge.ruiz@ugto.mx

<sup>2</sup>Evergreen HLT, 204 Avenida Benjamín Franklin, Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México, 11800.

\*Autor de correspondencia

#### Resumen

*Cucurbita pepo* tipo *zucchini* es una importante hortaliza en la región del Bajío; sin embargo, su producción es afectada por la reducción de las poblaciones de abejas polinizadoras y al efecto de la alteración ambiental en sus hábitos reproductivos. Por lo cual, es fundamental identificar genotipos partenocárpicos capaces de generar frutos sin fecundación ni pérdida de sus características agronómicas. El objetivo del presente estudio fue identificar genotipos partenocárpicos de *Cucurbita pepo* tipo *Grey Zucchini*. Los genotipos evaluados provinieron del cruzamiento de seis líneas progenitoras y dos ciclos consecutivos de autofecundación. Se cultivaron en condiciones controladas, identificando 16 partenocárpicos, de los cuales los genotipos GZS193, GZS194, GZS301, GZS148 y GZS171 presentaron los mayores valores en peso y longitud de fruto, mayor número de días de vida de anaquel, morfología del fruto, desprendimiento manual del pedúnculo y resistencia a la cenicilla y el mildiu. Estos genotipos podrían ser empelados como progenitores en un siguiente ensayo de cruzamiento para acumular todas las características en un solo genotipo y mantener la partenocarpia.

**Palabras clave:** Reproducción; polinización; mejoramiento de plantas; horticultura.

#### Abstract

*Cucurbita pepo* type *zucchini* is an important vegetable in the Bajío region; however, its production is affected by the reduction of the populations of bee pollinators and the effect of the environmental alterations on its reproductive habits. Therefore, it is fundamental to identify parthenocarpic genotypes capable of generating fruits without any fecundation or loss of their agronomic traits. The aim of this study was to identify parthenocarpic genotypes of *Cucurbita pepo* type *Grey Zucchini*. The evaluated genotypes derived from the cross of six parent lines and two consecutive cycles of self-pollination. The genotypes were grown under controlled conditions, identifying 16 parthenocarpic genotypes. Genotypes GZS193, GZS194, GZS301, GZS148, and GZS171 presented most of the desirable traits; hence, they could be used as parents in future crossing assays to accumulate all the traits in a single genotype and keep the parthenocarpic.

**Keywords:** Reproduction; pollination; plant breeding; horticulture.

Recibido: 07 de febrero de 2021

Aceptado: 25 de marzo de 2021

Publicado: 12 de enero de 2022

**Cómo citar:** Ramírez-Zavala, L. F., Esteves-Rangel, D., Mireles-Arriaga, A. I., Hernández-Ruiz, J., & Ruiz-Nieto, J. E. (2022). Identificación de genotipos partenocárpicos de *Cucurbita pepo* L. tipo Grey Zucchini. *Acta Universitaria* 32, e3128. doi: http://doi.org/10.15174.au.2022.3128

## Introducción

El género *Cucurbita* incluye 27 subespecies y se ubica entre los primeros diez principales cultivos de hortalizas en el mundo (Balkaya *et al.*, 2010). La especie *pepo* es la más cultivada en el mundo y con origen en América (Formisano *et al.*, 2012). Como subespecie, y comercialmente, son altamente reconocidos los tipos cultivados *Zucchini*, *Pumpkins* y *squashes* (Montero-Pau *et al.*, 2018). En la familia cucurbitácea se sabe que la reproducción sexual es controlada por diferentes factores genéticos, ambientales y fitohormonales (Manzano *et al.*, 2011). En el caso específico de *Cucurbita pepo*, es un cultivo monoico con dos o tres fases de desarrollo sexual; en la primera, solo se producen flores masculinas, y en la segunda se alterna el desarrollo de flores masculinas y femeninas, mientras que la fase final consiste solo en flores femeninas (Manzano *et al.*, 2013). Dado que los órganos sexuales femeninos y masculinos están separados en flores unisexuales, el desarrollo de los frutos presenta una gran dependencia de polinizadores, proceso que se limita a las seis horas en que las flores de ambos sexos permanecen abiertas durante la mañana, por lo cual depende en gran medida de las condiciones ambientales que afectan la cantidad de flores femeninas y masculinas por planta, al igual que la actividad de los polinizadores (Loy, 2012; Martínez *et al.*, 2014).

La polinización en *Cucurbita pepo* depende en gran medida de la actividad de insectos polinizadores, especialmente de las abejas del género *Melipona* (Ali *et al.*, 2014); sin embargo, las poblaciones de estos polinizadores se han reducido drásticamente debido a la pérdida de hábitats, envenenamiento por plaguicidas, virus y ácaros parásitos; por ejemplo, el número de colmenas en los Estados Unidos se ha reducido de casi 6 millones en la década de 1940 a 2.3 millones en 2008 (Levy, 2011). Como resultado, se ha reportado una tendencia de menor tasa de crecimiento en el rendimiento de cultivos que dependen de polinizadores en comparación con aquellos con baja o ninguna dependencia (Garibaldi *et al.*, 2009).

Adicionalmente, el aborto floral es un fenómeno biológico en la reproducción y evolución de las plantas, fenómeno observado en *Cucurbita texana* (Krupnick *et al.*, 2000). El aborto floral en plantas como *C. texana* se considera que es resultado del estrés abiótico (Zhang *et al.*, 2013). La alteración en las condiciones climáticas impondrá nuevas selecciones en el fenotipo y características que confieren tolerancia al estrés (Anderson *et al.*, 2012). El estrés abiótico durante la reproducción tiene efectos adversos en el rendimiento de los cultivos; el aborto de semillas y frutos potencialmente viables ha llamado la atención de los ecologistas de plantas en las últimas dos décadas (Samarah *et al.*, 2009). La polinización o la fertilización ineficaz, producida por temperaturas bajas o altas o humedad inadecuada, causa una disminución en la formación de los frutos, resultando en una disminución de la producción (Nepi *et al.*, 2010). Algunas plantas presentan la capacidad de producir frutos sin la necesidad de fertilización por el gameto masculino, es decir, sin polinización, esta característica es denominada como partenocarpia (Joldersma & Liu, 2018).

La partenocarpia es un rasgo importante para mejorar el rendimiento, la calidad y el procesamiento de los frutos hortícolas, particularmente de las especies que son cultivadas en invernadero y son de polinización cruzada (Dhatt & Kaur, 2016). Incluso la partenocarpia tiene el potencial de generar frutos sin semillas, lo cual es una característica altamente deseable (Knapp *et al.*, 2017). La partenocarpia ocurre de manera natural en algunas especies y se ha aprovechado intensivamente, tal es el caso de *Musa* spp. estéril triploide y las especies auto incompatibles del género *Citrus* spp., aunque los mecanismos intrínsecos de partenocarpia siguen sin ser comprendidos (Dash & Rai, 2016; Mesejo *et al.*, 2016).

En el caso de *Cucurbita pepo*, la partenocarpia es un fenómeno reproductivo presente, y en el caso específico del tipo *zucchini*, su uso es limitado por la obtención de bajo rendimiento (Pomares-Viciana *et al.*, 2017). Por ejemplo, en los resultados de Ribeiro *et al.* (2020) las plantas de polinización natural

produjeron entre 300 g y 340 g de biomasa de frutos, mientras que los que presentaba partenocarpia natural no generaron frutos. Por lo tanto, para el aprovechamiento y estudio de la partenocarpia en *Cucurbita pepo* tipo *zucchini* es necesaria la identificación de genotipos con dicha característica reproductiva, y que puedan ser utilizados para la formación de nuevas variedades. La importancia económica y agroalimentaria para esta hortaliza es alta porque presenta consumos per cápita de hasta 11.5 g día<sup>-1</sup> (Aryal & Reinhold, 2011). El objetivo del presente estudio fue identificar genotipos partenocárpicos de *Cucurbita pepo* tipo *Grey Zucchini*.

## Materiales y Métodos

Se cruzaron seis líneas parentales de calabaza *Grey Zucchini* y se obtuvieron las generaciones S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> correspondientes. Los cruzamientos y el cultivo de las líneas siempre se realizaron en condiciones controladas para evitar la recombinación genética. Del material genético generado y perteneciente a la empresa Evergreen HLT®, se seleccionaron 50 genotipos para su evaluación en el presente estudio, cada uno con cinco repeticiones, teniendo una población total de 250 plantas. El experimento se estableció en un invernadero ubicado en la Estación Joaquín, con coordenadas 20° 27' 12.7" N y 101° 28' 44.5" O, en el municipio de Abasolo, Guanajuato. Las semillas se sembraron en bolsas de 5.68 L calibre 600 mm, utilizando como sustrato suelo agrícola previamente homogenizado de manera mecánica mediante una mezcladora para cemento. Se utilizó fertirriego con una dosis de 200-150-150 más micronutrientes distribuida en dos aplicaciones semanales, con un cambio en las proporciones de los macronutrientes según la etapa vegetativa y/o reproductiva de las plantas. Durante el cultivo, las temperaturas máxima y mínima promedio fueron de 32.9 °C y 12.1 °C, respectivamente.

Respecto al manejo reproductivo de los genotipos, las flores masculinas se retiraron para evitar que las flores femeninas fueran polinizadas. Antes de la apertura de las flores femeninas, estas se cubrieron con bolsas de papel para evitar la introducción de insectos polinizadores y polen externo. Las bolsas se retiraron hasta el comienzo de la formación de frutos y se identificaron los genotipos partenocárpicos de acuerdo con su capacidad para generar frutos sin polinización. Como variables cuantitativas en los genotipos seleccionados, se determinó el peso de los frutos (PF, g) y con un vernier electrónico su longitud (LF, cm), midiendo desde la unión con el pedúnculo floral hasta el extremo apical. Se cuantificó el número de cortes (NC) como el promedio de frutos cortados por planta durante cuatro semanas después de la maduración del primer fruto. Después del corte de cada fruto, estos se lavaron con una solución de detergente catiónico comercial y sales de amonio cuaternarias 1% y se mantuvieron a 22 °C; posteriormente, como vida de anaquel (VA), se contabilizó el número de días en que los frutos perdieron la dureza comercialmente aceptable. Adicionalmente, los frutos se clasificaron por su morfología acostillada o cilíndrica (MF) realizando comparación visual con frutos comerciales. Durante la cosecha manual, se clasificó el desprendimiento de pedúnculo (DP) como viable y no viable. Los genotipos no viables presentan daños físicos y desprendimientos en la unión de pedúnculo con el fruto, esta comparación visual permitió la clasificación de los genotipos. Se determinó la susceptibilidad a la cenicilla (SC) (*Erysiphe cichoracearum*) y al mildiu (SM) (*Pseudonospora cubensis*), según se desarrollaron dichas enfermedades en el follaje. Las plantas se clasificaron por la presencia y/o ausencia de las enfermedades *in situ* y por la identificación de los cuerpos fructíferos por microscopía. Para las variables cuantitativas se realizaron análisis de varianza en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, así como pruebas de separación de medias de Tukey ( $p > 0.05$ ). Las variables cualitativas se analizaron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Igualmente, se generó un dendrograma de similitud mediante el método Euclidiano, incluyendo todas las variables y los genotipos partenocárpicos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab® 16.2.3.

## Resultados y Discusión

A partir de la población de 250 plantas con 50 genotipos, el 32% corresponde a los genotipos que fueron capaces de producir frutos sin polinización y por lo cual son considerados partenocárpicos: GZS125, GZS148, GZS149, GZS163, GZS171, GZS175, GZS176, GZS193, GZS194, GZS197, GZS198, GZS204, GZS222, GZS231, GZS292 y GZS301. La partenocarpia es un carácter heredable con modelos de control genéticos que varían desde un solo gen hasta múltiples loci de caracteres cuantitativos; en el caso de *Cucurbita pepo*, el carácter es controlado por la expresión de genes relacionados con el metabolismo de los carbohidratos y la coordinación de fitohormonas durante la formación de los frutos (Pomares-Viciana *et al.*, 2019). Se identificaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en el PF entre los genotipos partenocárpicos, siendo el genotipo GZS301 el que presentó el mayor valor (160.3 g); sin embargo, no tendría un alto potencial productivo porque no presentó un alto número de cortes (tabla 1). En *Cucurbita* spp. el número de frutos por planta es un carácter que se selecciona indirectamente por su correlación con el rendimiento (Aruah *et al.*, 2012). Se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en el NC, siendo los genotipos GZS171, GZS175, GZS197, GZS198 y GZS204 los que presentaron el mayor valor y, al mismo tiempo, bajos resultados de PF, en particular los cuatro primeros (121.7 g, 125.2 g, 113.6 g y 103.9 g, respectivamente). Un alto número de frutos por planta indica un mayor número de flores femeninas (Akter *et al.*, 2013). Los resultados indican que los genotipos GZS171, GZS175, GZS197 y GZS198 presentaron el mayor número de flores femeninas partenocárpicas; aunque esto significaría que dichos genotipos tendrían un mayor número de frutos, estos no fueron los genotipos que presentaron los rendimientos más altos. En cambio, el genotipo GZS194, además de ser partenocárpico, presentó la mejor relación  $PF\ NC^{-1}$ , por lo que potencialmente se podrían hacer 3.2 cortes por semana con frutos con pesos de 148.5 g. La partenocarpia en la familia Cucurbitaceae siempre ha formado parte de los componentes del rendimiento debido a que ha sido seleccionada indirectamente, ya que en los programas de mejoramiento convencionales no se han diferenciado si los frutos son obtenidos por partenocarpia, como en el caso de *Cucumis sativus* (Lietzow *et al.*, 2016). Se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en la LF de los genotipos partenocárpicos. De acuerdo con la norma NMX-FF-020-1982 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1982), la categoría de más alta calidad *Mexico Extra* para calabacitas italianas considera un rango de longitud entre 8.5 cm y 13.0 cm, por lo que los frutos de los genotipos GZS125, GZS175, GZS197 y GZS231 se encontrarían en esta categoría. Existen diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en la VA, el genotipo GZS193 mantuvo la dureza de los frutos por ocho días, siendo el mayor valor de VA. Los genotipos GZS148, GZS171, GZS197 y GZS22 mantuvieron la dureza de los frutos por siete días (tabla 1). La vida de anaquel es importante en la calabaza por ser altamente perecedera y particularmente sujeta a desecación y lesiones (Paris, 2016). La calidad de los frutos es afectada después de su cosecha por el manejo, factores ambientales y genéticos (Arah *et al.*, 2015); respecto a estos últimos, los mecanismos genéticos de este carácter aún no son claros en *Cucurbita* spp., las evidencias en otras especies de importancia económica como el tomate indican un control dependiente de la interacción entre varios genes inducido por la regulación de factores de transcripción involucrados en diversos procesos del desarrollo de las plantas con dominios proteicos como los NAC, que corresponden a factores de transcripción específicos (Hu *et al.*, 2010; Casals *et al.*, 2012). Los genotipos partenocárpicos GZS193, GZS148, GZS171, GZS197 y GZS22 podrían constituir un excelente modelo de estudio para elucidar el control genético de la vida de anaquel en *Cucurbita pepo*, por sus altos valores presentados en la VA respecto a los demás genotipos. Se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en la morfología de los frutos entre los genotipos partenocárpicos, de los cuales GZS148, GZS149, GZS171, GZS193, GZS194, GZS197, GZS198 y GZS292 tienen morfología acostillada. De los genotipos partenocárpicos, el 50% presentó frutos con morfología acostillada, por lo que las evidencias no sugieren que esta sea un carácter dominante asociado a la partenocarpia. La morfología acostillada en *Cucurbita pepo* podría tener su origen en algún ancestro en Oaxaca, en el sur de México (Gong *et al.*, 2012), lo cual sugiere que alguna de las líneas progenitoras pudo tener dicha

característica. Cabe mencionar que en el Bajío la morfología más aceptada es la acostillada, por lo que esta es una variable importante para considerar para el mercado local. Se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre los genotipos en el desprendimiento del pedúnculo (DP) durante la cosecha manual de los frutos. En este contexto, la partenocarpia es altamente controlada por diferentes fitohormonas, y la aplicación exógena de melatonina en *Pyrus communis* puede inducir dicha característica reproductiva y de manera indirecta modifica las características del pedúnculo, favoreciendo la cosecha manual de los frutos (Liu *et al.*, 2018). En este experimento, los resultados en los genotipos partenocárpicos GZS125, GZS171, GZS175, GZS176, GZS204 y GZS222 indican que la cosecha manual fue viable porque presentaron un pedúnculo con una menor área de unión con el fruto. En la susceptibilidad a cenilla (SC) y a mildiu (SM) se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), donde los genotipos GZS148 y GZS149 presentaron resistencia a ambos patógenos, puesto que no se presentó o identificó la presencia de estas enfermedades en las plantas (tabla 2). Aunque en el presente estudio se identificaron genotipos partenocárpicos, ninguno presentó todas las características evaluadas: alto peso y longitud de fruto, alto número de días de vida de anaquel, morfología del fruto acostilladas, desprendimiento manual del pedúnculo y resistencia a la cenicilla y el mildiu, que son de importancia agronómica y económica. El genotipo GZS194 presentó el mayor potencial productivo por su relación entre el peso de los frutos y los cortes por semana; además, mostró resistencia a la cenicilla y sus frutos tuvieron morfología acostillada. El genotipo GZS301 registró el mayor peso del fruto y resistencia a la cenicilla. El genotipo GZS193 fue uno de los que presentó mayor valor de VA, resistencia a la cenicilla y sus frutos presentaron morfología acostillada. El genotipo GZS148 presentó una larga vida de anaquel, sus frutos presentaron morfología acostillada, además de resistencia al mildiu y a la cenicilla. GZS171 presentó una larga vida de anaquel, el mayor número de cortes por semana, morfología acostillada y su cosecha manual fue viable. De acuerdo con Würschum (2012), la selección de líneas parentales como los genotipos mencionados y la selección de progenie superiores permiten la acumulación de alelos favorables. De acuerdo con el dendrograma, se identifican cuatro grupos con similitudes: a) 54.43, b) 56.39, c) 59.33 y d) 58.35, respectivamente (figura 1), entre los cuales el último contiene a los genotipos GZS193, GZS194 y GZS301, lo cual sugiere que a dicha base genética se podrían mantener y adicionar los genes de los genotipos GZS148 y GZS171. La pirimidación de genes mediante el cruzamiento de genotipos con características agronómicas y de importancia económica, como la partenocarpia en el caso del presente estudio, es considerada una estrategia de mejoramiento genético eficiente y duradera (Souza *et al.*, 2014), teniendo en cuenta que los genotipos partenocárpicos ya han sido identificados.

**Tabla 1.** Variables cuantitativas evaluadas en los genotipos partenocárpicos.

Genotipos	PF**	LF**	NC**	VA**
GZS125	69.2 k	12.3 bc	4.0 bc	5.8 bc
GZS148	92.4 hi	13.3 abc	3.0 bc	7.0 ab
GZS149	82.6 j	13.4 abc	2.6 c	4.8 c
GZS163	142.8 c	13.6 abc	4.2 b	5.0 c
GZS171	121.7 e	13.2 abc	7.0 a	7.0 ab
GZS175	125.2 e	12.4 bc	7.0 a	6.0 bc
GZS176	74.6 k	13.3 abc	6.8 a	5.0 c
GZS193	134.8 d	14.7 ab	3.0 bc	8.0 a
GZS194	148.5 b	15.4 a	3.2 bc	6.8 ab
GZS197	113.6 f	13.0 abc	7.0 a	7.0 ab
GZS198	103.9 g	14.0 abc	7.0 a	6.0 bc
GZS204	142.3 c	14.0 abc	6.6 a	5.0 c
GZS222	95.5 h	13.6 abc	3.0 bc	7.0 ab
GZS231	87.1 i	12.0 c	3.0 bc	5.0 c
GZS292	73.9 k	14.2 ab	4.0 bc	6.0 bc
GZS301	160.3 a	14.4 ab	2.8 bc	6.0 bc
DMSH	2.06	1.10	0.68	0.66

Peso de los frutos (PF, g); longitud de los frutos (LF, cm); número de cortes (NC); vida de anaquel (VA, días). Análisis de varianza: diferencias significativas  $p < 0.05$  (\*); diferencias altamente significativas  $p < 0.01$  (\*\*). Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ): valores con la misma letra dentro de columnas de promedios son estadísticamente iguales, diferencia mínima significativa honesta (DMSH).

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Variables cualitativas evaluadas en los genotipos partenocárpicos.

Genotipos	MF**	DP**	SC***	SM**
GZS125	C	V	S	R
GZS148	A	NV	R	R
GZS149	A	NV	R	R
GZS163	C	NV	S	R
GZS171	A	V	S	S
GZS175	C	V	S	S
GZS176	C	V	S	S
GZS193	A	NV	R	S
GZS194	A	NV	R	S
GZS197	A	NV	R	S
GZS198	A	NV	R	S
GZS204	C	V	S	R
GZS222	C	V	S	R
GZS231	C	NV	S	R
GZS292	A	NV	R	S
GZS301	C	NV	R	S

Morfología de los frutos (MF, acostillada [A] o cilíndrica [C]); desprendimiento del pedúnculo (DP, viable [V] o no viable [NV]); susceptibilidad a la cenicienta (SC, susceptible [S] o resistente [R]); susceptibilidad al mildiu (SM, susceptible [S] o resistente [R]). Kruskal-Wallis: diferencias significativas  $p < 0.05$  (\*), diferencias altamente significativas  $p < 0.01$  (\*\*).

Fuente: Elaboración propia.

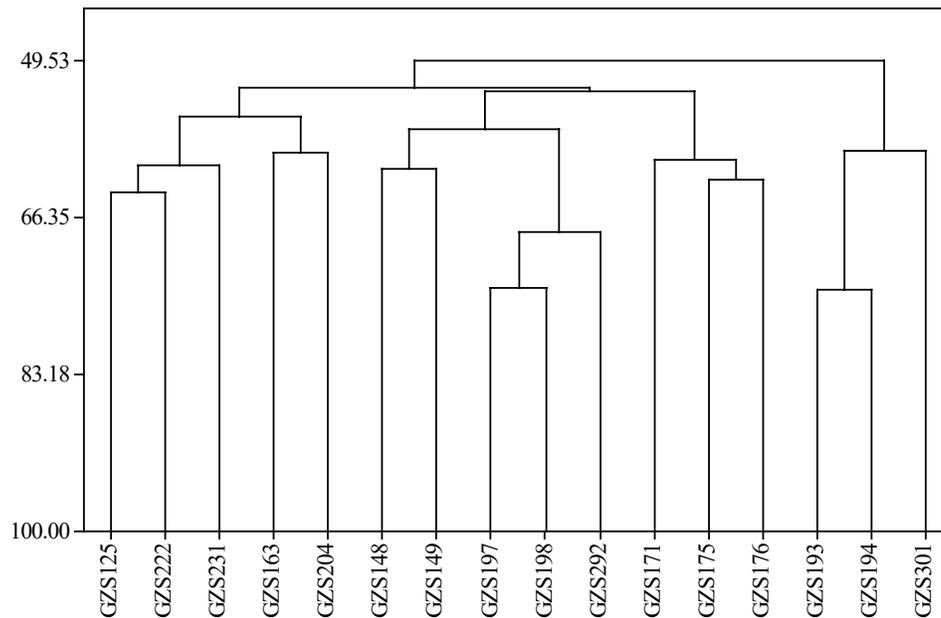


Figura 1. Dendrograma de similitud entre genotipos partenocárpicos.  
Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

De los 50 genotipos evaluados, se identificaron 16 partenocárpicos. Los genotipos partenocárpicos GZS193, GZS194, GZS301, GZS148 y GZS171 presentaron la mayoría de las características, que le confieren a la especie su valor agronómico y económico. El mayor peso y longitud de fruto fueron 148.5 g y 14.7 cm; ocho días fue el mayor valor de vida de anaquel, se presentaron frutos con morfología acostillada y viables para su cosecha manual, así como genotipos resistentes a la cenicilla y el mildiu. Los genotipos identificados se podrían usar como progenitores para mantener la partenocarpia y acumular todas las características en un solo genotipo mediante un siguiente ensayo de cruzamientos dirigidos.

## Agradecimientos

A la empresa Evergreen HLT por proporcionar el material vegetal, las instalaciones y los requerimientos para el desarrollo del presente estudio.

## Referencias

- Ali, M., Saeed, S., Sajjad, A., & Bashir, M. (2014). Exploring the best native pollinators for pumpkin (*Cucurbita pepo*) production in Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(2), 531-539. [http://zsp.com.pk/pdf46/531-539%20\\_29\\_%20PJZ-1660-14%2028-3-14%20CORRECTED%20PAGE%20PROOF.pdf](http://zsp.com.pk/pdf46/531-539%20_29_%20PJZ-1660-14%2028-3-14%20CORRECTED%20PAGE%20PROOF.pdf)
- Anderson, J. T., Inouye, D. W., McKinney, A. M., Colautti, R. I., & Mitchell-Olds, T. (2012). Phenotypic plasticity and adaptive evolution contribute to advancing flowering phenology in response to climate change. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 279(1743), 3843-3852. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1051>

- Arah, I. K., Amaglo, H., Kumah, E. K., & Ofori, H. (2015). Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: A mini review. *International Journal of Agronomy*, 2015(478041), 1-6. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/478041>
- Akter, S., Rasul, M. G., Aminul, A. K. M., & Rahman, M. M. (2013). Genetic variability, correlation and path coefficient analysis of yield and quality traits in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch ex Poir.). *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 26(1), 25-33. doi: <https://doi.org/10.3329/bjpb.v26i1.19981>
- Aruah, B. C., Uguru, M. I., & Oyiga, B. C. (2012). Genetic variability and inter-relationship among some Nigerian pumpkin accessions (*Cucurbita* spp.). *International Journal of Plant Breed*, 6(1), 34-41. [https://www.zef.de/fileadmin/user\\_upload/230e\\_IJPB\\_6%281%2934-41o.pdf](https://www.zef.de/fileadmin/user_upload/230e_IJPB_6%281%2934-41o.pdf)
- Aryal, N., & Reinhold, D. M. (2011). Phytoaccumulation of antimicrobials from biosolids: Impacts on environmental fate and relevance to human exposure. *Water Research*, 45(17), 5545-5552. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.027>
- Balkaya, A., Özbakir, M., & Kurtar, E. S. (2010). The phenotypic diversity and fruit characterization of winter squash (*Cucurbita maxima*) populations from the Black Sea Region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(2), 152-162. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/77781>
- Casals, J., Pascual, L., Canizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., & Nuez, F. (2012). Genetic basis of long shelf life and variability into Penjar tomato. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 219-229. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9677-6>
- Dash, P. K., & Rai, R. (2016). Translating the "Banana genome" to delineate stress resistance, dwarfing, parthenocarpy and mechanisms of fruit ripening. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1543. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01543>
- Dhatt, A. S., & Kaur, G. (2016). Parthenocarpy: A potential trait to exploit in vegetable crops: A review. *Agricultural Reviews*, 37(4), 300-308. doi: <https://doi.org/10.18805/ag.v37i4.6460>
- Formisano, G., Roig, C., Esteras, C., Ercolano, M. R., Nuez, F., Monforte, A. J., & Picó, M. B. (2012). Genetic diversity of Spanish *Cucurbita pepo* landraces: An unexploited resource for summer squash breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 1169-1184. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9753-y>
- Garibaldi, L. A., Aizen, M. A., Cunningham, S., & Klein, A. M. (2009). Pollinator shortage and global crop yield. Looking at the whole spectrum of pollinator dependency. *Communicative & Integrative Biology*, 2(1), 37-39. doi: <https://doi.org/10.4161/cib.2.1.7425>
- Gong, L., Paris, H. S., Nee, M. H., Stift, G., Pachner, M., Vollmann, J., & Lelley, T. (2012). Genetic relationships and evolution in *Cucurbita pepo* (pumpkin, squash, gourd) as revealed by simple sequence repeat polymorphisms. *Theoretical and Applied Genetics*, 124, 875-891. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1752-z>
- Hu, R., Qi, G., Kong, Y., Kong, D., Gao, Q., & Zhou, G. (2010). Comprehensive analysis of NAC domain transcription factor gene family in *Populus trichocarpa*. *BMC Plant Biology*, 10(145). doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-145>
- Joldersma, D., & Liu, Z. (2018). The making of virgin fruit: The molecular and genetic basis of parthenocarpy. *Journal of Experimental Botany*, 69(5), 955-962. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx446>
- Knapp, J. L., Bartlett, L. J., & Osborne, J. L. (2017). Re-evaluating strategies for pollinator-dependent crops: How useful is parthenocarpy? *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1171-1179. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12813>
- Krupnick, G. A., Avila, G., Brown, K. M., & Stephenson, A. G. (2000). Effects of herbivory on internal ethylene production and sex expression in *Cucurbita texana*. *Functional Ecology*, 14, 215-225. <https://www.jstor.org/stable/2656468?seq=1>
- Levy, S. (2011). The pollinator crisis: What's best for bees. *Nature*, 479, 164-165. doi: <https://doi.org/10.1038/479164a>
- Lietzow, C. D., Zhu, H., Pandey, S., Havey, M. J., & Weng, Y. (2016). QTL mapping of parthenocarpic fruit set in North American processing cucumber. *Theoretical and Applied Genetics*, 129, 2387-2401. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2778-z>
- Liu, J., Zhai, R., Liu, F., Zhao, Y., Wang, H., Liu, L., Yang, C., Wang, Z., Ma, F., & Xu, L. (2018). Melatonin induces parthenocarpy by regulating genes in gibberellin pathways of 'Starkrimson' Pear (*Pyrus communis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 9(946). doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00946>

- Loy, J. B. (2012). Breeding squash and pumpkins. In Y. Wang, T. Behera & C. Kole (eds.), *Genetics, genomics and breeding of cucurbits* (pp. 93-139). CRC Press. <https://www.routledge.com/Genetics-Genomics-and-Breeding-of-Cucurbits/Wang-Behera-Kole/p/book/9781578087662>
- Manzano, S., Martínez, C., Megías, Z., Gómez, P., Garrido, D., & Jamilena, M. (2011). The role of ethylene and brassinosteroids in the control of sex expression and flower development in *Cucurbita pepo*. *Plant Growth Regulation*, 65(2), 213-221. doi: <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9589-7>
- Manzano, S., Martínez, C., Megías, Z., Garrido, D., & Jamilena, M. (2013). Involvement of ethylene biosynthesis and signalling in the transition from male to female flowering in the monoecious *Cucurbita pepo*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 789-798. doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9344-6>
- Martínez, C., Manzano, S., Megías, Z., Garrido, D., Picó, B., & Jamilena, M. (2014). Sources of parthenocarpy for Zucchini breeding: Relationship with ethylene production and sensitivity. *Euphytica*, 200, 349-362. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1155-8>
- Mesejo, C., Yuste, R., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Iglesias, D. J., Muñoz-Fambuena, N., Bermejo, A., Germana, M.A., Primo-Millo, E., & Agustí, M. (2016). Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing fruit set in parthenocarpic *Citrus* species. *Plant Science*, 247, 13-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.02.018>
- Montero-Pau, J., Blanca, J., Bombarely, A., Ziarolo, P., Esteras, C., Martí-Gómez, C., Ferriol, M., Gómez, P., Jamilena, M., Mueller, L., Picó, B. & Cañizares, J. (2018). *De novo* assembly of the zucchini genome reveals a whole-genome duplication associated with the origin of the *Cucurbita* genus. *Plant Biotechnology Journal*, 16(6), 1161-1171. doi: <https://doi.org/10.1111/pbi.12860>
- Nepi, M., Cresti, L., Guarnieri, M., & Pacini, E. (2010). Effect of relative humidity on water content, viability and carbohydrate profile of *Petunia* hybrid and *Cucurbita pepo* pollen. *Plant Systematics and Evolution*, 284, 57-64. <https://doi.org/10.1007/s00606-009-0237-x>
- Paris, H. S. (2016). Germplasm enhancement of *Cucurbita pepo* (pumpkin, squash, gourd: *Cucurbitaceae*): Progress and challenges. *Euphytica*, 208, 415-438. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1605-y>
- Pomares-Viciana, T., Die, J., Del Río-Celestino, M., Román, B., & Gómez, P. (2017). Auxin signalling regulation during induced and parthenocarpic fruit set in zucchini. *Molecular Breeding*, 37(56). doi: <https://doi.org/10.1007/s11032-017-0661-5>
- Pomares-Viciana, T., Del Río-Celestino, M., Román, B., Die, J., Pico, B., & Gómez, P. (2019). First RNA-seq approach to study fruit set and parthenocarpy in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *BMC Plant Biology*, 19(61). doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1632-2>
- Ribeiro, F., Neves, S., de Almeida, A., Neves, G., de Abreu, L., & Martins, L. (2020). Pollination techniques in zucchini production in the presence of boron fertilization. *Communication Science*, 11, e3277. doi: <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3328>
- Samarah, N. H., Haddad, N., & Alqudah, A. (2009). Yield potential evaluation in chickpea genotypes under late terminal drought in relation to the length of reproductive stage. *Italian Journal of Agronomy*, 4(3), 111-117. doi: <https://doi.org/10.4081/ija.2009.3.111>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1998). Norma Oficial Mexicana NMX-FF-020-1982, *Productos alimenticios no industrializados para uso humano - Fruta fresca - Calabacita (Cucurbita pepo)*. Dirección General de Normas. <https://www.yumpu.com/es/document/read/37010537/nmx-ff-020-1982>
- Souza, T. L., Ragagnin, V. A., Dessaune, S. N., Sanglard, D. A., Carneiro, J. E., Moreira, M. A., & Barros, E. G. (2014). DNA marker-assisted selection to pyramid rust resistance genes in "carioca" seeded common bean lines. *Euphytica*, 199, 303-316. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1126-0>
- Würschum, T. (2012). Mapping QTL for agronomic traits in breeding populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 125, 201-210. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1887-6>
- Zhang, J., Li, Q., Huang, W., Xu, X., Zhang, X., Hui, M., Zhang, M., & Zhang, L. (2013). A vacuolar processing enzyme RsVPE1 gene of radish is involved in floral bud abortion under heat stress. *International Journal of Molecular Science*, 14(7), 13346-13359. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms140713346>