



PRODUCCIÓN DE CALABACITA CON Y SIN POLINIZACIÓN MANUAL EN CONDICIONES DE CASA MALLA

ZUCCHINI PRODUCTION WITH AND WITHOUT MANUAL POLLINATION UNDER NETHOUSE CONDITIONS

Leonardo Román-Román¹, Felipe Ayala-Tafoya^{1*}, Juan Martín Parra-Delgado¹, Tomás Díaz-Valdés², Carlos Alfonso López-Orona¹ y Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz¹

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. ²Universidad Central del Este, Dirección de Gestión de Investigaciones Científicas, San Pedro de Macorís, República Dominicana.

*Autor de correspondencia (tafoya@uas.edu.mx)

RESUMEN

La agricultura protegida promueve mejores condiciones de crecimiento para maximizar la producción de cultivos, la calidad del producto y la eficiencia en el uso de recursos. La polinización influye en la calidad o cantidad del rendimiento y su adecuado manejo puede contribuir a la obtención de rendimientos sostenibles. El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de conocer la influencia de la polinización manual sobre el crecimiento de plantas y rendimiento de frutos de cultivares comerciales de calabacita (*Cucurbita pepo*) bajo condiciones de casa malla. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2 × 10 (dos tipos de polinización y 10 cultivares) con seis repeticiones. Cinco de los cultivares de calabacita fueron del tipo Gray zucchini (Chabela, HMX586429, Aurora, Macaria y Hurakan) y cinco del tipo Green zucchini (Prestige, Ebano, Verona, Jacobo y Torino); éstos fueron cultivados con polinización manual de flores (CP) y sin polinización manual (SP). El cultivo sin polinización manual ocasionó incrementos en altura de plantas (SP/HMX586429: 196.7 cm), diámetro de tallo (SP/Ebano: 20.4 mm), índice de área foliar (SP/Ebano: 3.5 m² m⁻²), peso seco de planta (SP/HMX586429: 425.7 g) y rendimiento para mercado nacional (SP/Aurora: 24.9 t ha⁻¹), mientras que con polinización manual hubo incremento en el cuajado de frutos (CP/Verona, CP/Jacobo y CP/Torino: 100 %), diámetro de fruto (CP/Hurakan: 52.3 mm), longitud de fruto (CP/Verona: 204 mm), peso de fruto (CP/Jacobo: 263.2 g), rendimiento total (CP/HMX586429: 79.7 t ha⁻¹) y rendimiento con calidad de exportación (CP/HMX586429: 74.1 t ha⁻¹). Aún sin polinización manual, desde 4.9 (SP/Aurora) hasta 52.1 % (SP/Torino) de los frutos pudieron alcanzar el tamaño y la forma comercializables.

Palabras clave: *Cucurbita pepo*, altura de planta, cuajado de frutos, índice de área foliar, rendimiento.

SUMMARY

Protected agriculture promotes better growing conditions to maximize crop production, product quality and resource efficiency. Pollination influences yield quality or quantity and its proper management can contribute to obtaining sustainable yields. The present study was carried out with the objective of knowing the influence of manual pollination on plant growth and fruit yield of commercial zucchini cultivars (*Cucurbita pepo*) under nethouse conditions. A randomized complete block design with a 2 × 10 factorial arrangement (two types of pollination and 10 cultivars) with six replications was used. Five of the zucchini cultivars were of the Gray zucchini type (Chabela, HMX586429,

Aurora, Macaria and Hurakan) and five of the Green zucchini type (Prestige, Ebano, Verona, Jacobo and Torino); these were grown with hand pollination of flowers (WP) and without hand pollination (WOP). Cultivation without hand pollination caused increases in plant height (WOP/HMX586429: 196.7 cm), stem diameter (WOP/Ebano: 20.4 mm), leaf area index (WOP/Ebano: 3.5 m² m⁻²), plant dry weight (WOP/HMX586429: 425.7 g) and yield for the national market (WOP/Aurora: 24.9 t ha⁻¹), while manual pollination increased fruit set (WP/Verona, WP/Jacobo and WP/Torino: 100 %), fruit diameter (WP/Hurakan: 52.3 mm), fruit length (WP/Verona: 204 mm), fruit weight (WP/Jacobo: 263.2 g), total yield (WP/HMX586429: 79.7 t ha⁻¹) and yield with export quality (WP/HMX586429: 74.1 t ha⁻¹). Even without hand pollination, from 4.9 (WOP/Aurora) to 52.1 % (WOP/Torino) of the fruits were able to reach marketable size and shape.

Index words: *Cucurbita pepo*, fruit set, leaf area index, plant height, yield.

INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida mexicana (invernadero + casa malla + macro túnel) alcanzó una extensión de 42,515 ha en 2017, de la cual 60.6 % correspondió al cultivo de hortalizas, 33.9 % fue destinada al cultivo de frutales y 5.5 % a la floricultura. La mayor parte de la superficie está concentrada principalmente en tres estados: Sinaloa (20 %), Jalisco (20 %) y Michoacán (17 %). El cultivo protegido de hortalizas representó más de 3.2 millones de toneladas anuales, con un valor comercial de 3232 millones de dólares, del cual 68 % correspondió a tomate, 15 % a pepino, 13.5 % a chile verde, 3.1 % a berenjena y 0.2 % a calabacita (SIAP, 2019).

En 2019, a nivel mundial se cultivaron 1.54 millones de hectáreas y se produjeron 22.9 millones de toneladas de calabaza (*Cucurbita* spp.) (FAOSTAT, 2019). México participó con 33,941 ha y 821,277 t, de las cuales 79.1 y 84 %, respectivamente, correspondieron a calabacita o fruto verdura (SIAP, 2019), que es la forma de aprovechamiento

más importante tanto para consumo nacional como para exportación (Sedano-Castro *et al.*, 2011).

En México, el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) se realiza principalmente a cielo abierto y sólo en 4 ha bajo condiciones de agricultura protegida, con rendimientos de 25.7 y 74.8 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2019). En países como España ha sucedido lo contrario, ya que el 78 % de la superficie cultivada con calabacita (10,851 ha) se realizó bajo condiciones protegidas, con un rendimiento de 61.3 t ha⁻¹ (MAPA, 2019), con lo cual obtuvieron el equivalente a 87.8 % de la producción de México, pero en 40.4 % de la superficie respectiva.

El cultivo de calabacita bajo condiciones protegidas tiene, con respecto al cultivo a cielo abierto, las ventajas de mejorar la calidad y producción de frutos por unidad de superficie, reducir el daño por plagas y enfermedades, así como el uso de agroquímicos (Ayala-Tafoya *et al.*, 2020; Francisco-Illescas *et al.*, 2013; Shaw y Cantliffe, 2005); sin embargo, la monoecia de las plantas de calabaza sugiere la introducción de colonias de insectos polinizadores para conseguir el cuajado y crecimiento de los frutos (Artz y Nault, 2011; Petersen *et al.*, 2013; Vidal *et al.*, 2010).

El cuajado y crecimiento de los frutos pueden verse limitados debido a una polinización ineficaz en cultivos de calabacita por condiciones climáticas y ambientales adversas; por ejemplo, debido a una mala maduración del polen o pocas especies polinizadoras, lo que normalmente ocurren en invernaderos o durante períodos de poca luz y temperaturas frías (Knapp *et al.*, 2016; Knapp y Osborne, 2017). Este problema puede evitarse mediante la partenocarpia; es decir, el desarrollo natural o artificial del fruto sin polinización/fertilización. La aplicación de reguladores de crecimiento sintéticos es una práctica común para inducir partenocarpia estimulante en cultivares de calabacita, pero con este método se aumentan los costos de producción y se pueden inducir defectos en los frutos. Las desventajas asociadas con esto se pueden superar mediante el uso de cultivares con partenocarpia vegetativa, los cuales logran el cuajado de los frutos sin ningún estímulo externo (Pomares-Viciano *et al.*, 2017); sin embargo, la partenocarpia vegetativa todavía tiene un uso limitado en calabacita.

Estudios fisiológicos y moleculares sobre partenocarpia en calabaza han dilucidado la implicación de genes tan diversos como aquellos que controlan la síntesis de auxinas, giberelinas y citocininas (Méndez-López *et al.*, 2018; Pomares-Viciano *et al.*, 2017; 2019); pero, aunque la partenocarpia inducida por reguladores del crecimiento ha sido objeto de numerosos estudios en calabacita (Ayala-Tafoya *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2005; Pagoto *et al.*, 2020;

Pomares-Viciano *et al.*, 2017), y otros se han realizado para evaluar el nivel de partenocarpia natural o genética (Kurtar, 2003; Méndez-López, 2018; Robinson y Reiners, 1999), pocos estudios se han llevado a cabo para evaluar la dependencia a la polinización (Knapp *et al.*, 2016) en cultivares de calabacita utilizados actualmente. Por lo tanto, es importante conocer la manera en que la polinización o la falta de ésta influye la calidad o cantidad del rendimiento como una forma de contribuir a mejorar la orientación a los productores para obtener rendimientos productivos y sostenibles. El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia de la polinización en el crecimiento de plantas y rendimiento de frutos bajo condiciones de casa malla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó dentro de una estructura de protección de cultivos tipo invernadero (Bativenal 740-350® ACEA), constituida por tres naves de 7.4 m de ancho y 50 m de largo, orientadas de norte a sur y con una cobertura total de malla anti-áfidos (16 × 10 hilos cristalinos cm⁻²; 25 % de sombra), ubicada en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, a 24° 48' 30" LN, 107° 24' 30" LO y 38.5 m de altitud.

El suelo tiene textura arcillosa (arcilla 56 %, arena 22 % y limo 22 %), bajo contenido de materia orgánica (1.1 %), con 32 mg kg⁻¹ de N-NO₃, 88 mg kg⁻¹ de P-PO₄ y 3.3 cmol kg⁻¹ de K, conductividad eléctrica de 1.2 dS m⁻¹ y pH ligeramente alcalino (7.6). En Culiacán, Sinaloa el clima es BS1(h')w(w) (e), que se describe como semiseco muy cálido, extremoso con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal con respecto al total anual menor de 5 (García, 2004). Las medias de temperatura (21.9 °C) y humedad relativa (69.5 %) registradas durante el ciclo de cultivo (01/11/2018 al 19/03/2019), registradas mediante termohigrómetros (DT171, Twilight, Monterrey, México), estuvieron dentro de los intervalos óptimos (18 a 24 °C y 65 a 80 %) para el cultivo de calabaza (Cortés, 2003; Molinar *et al.*, 1999).

Manejo agronómico

El suelo del área experimental se preparó manualmente hasta lograr un buen desmenuzamiento de los terrones, luego se formaron camas hortícolas separadas a 1.8 m una de otra, las cuales fueron acolchadas con polietileno coextruido blanco/negro. La siembra se hizo en charolas de poliestireno de 128 cavidades llenas de turba (Brown 025W, Kekkila) y tapada con vermiculita (Gruesa A3, KBW Supply). El trasplante se realizó cuando las plántulas

contaban con dos hojas verdaderas, colocándolas a hilera sencilla con una separación de 45 cm, para una densidad de población de 12,346 plantas ha⁻¹.

El suministro de agua y fertilizantes se realizó con un sistema de riego por goteo. Se empleó la solución nutritiva de Steiner (1984), a una concentración de nutrientes del 50 % desde el trasplante hasta la antesis de la segunda o tercera flor femenina, y posteriormente se aplicó la solución completa. Los riegos se suministraron cuando los tensiómetros (2725ARL, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, California, EUA) colocados a 30 cm de profundidad indicaban una tensión de humedad de 20 a 25 kPa.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. El diseño de tratamientos fue factorial completo 2 × 10, con un total de 20 tratamientos. El tamaño de la unidad experimental fue de 4.86 m² (seis plantas). Un factor de variación correspondió a la polinización, cuyos niveles fueron: con polinización de flores a mano, realizada el día de la antesis mediante el frote de anteras de dos a tres flores masculinas en el estigma de cada flor femenina (1176 flores femeninas fueron polinizadas a mano, con un promedio de 18.4 flores/planta); y sin polinización, para lo cual las flores femeninas se cubrieron con bolsas de papel glassine, 1 a 2 días antes de la antesis (1536 flores femeninas fueron cubiertas, con un promedio de 24 flores/planta). Otro factor fue el cultivar de calabaza utilizado, con 10 niveles, cinco de los cuales fueron del tipo calabacita gris o Grey zucchini (Aurora de Sakata, Chabela, HMX586429, Macaria y Hurakan de HM Clause) y cinco del tipo calabacita verde o Green zucchini (Prestige de HM Clause, Verona y Torino de Lark Seeds, Ebano y Jacobo de Syngenta).

Variables evaluadas

Con relación al crecimiento de las plantas, se evaluaron las siguientes variables: longitud de tallo, en cm desde la base hasta el ápice de crecimiento por medio de una cinta métrica; diámetro de tallo en mm, en el primer entrenudo del tallo, mediante un vernier digital (6MP, Truper, México); índice de área foliar (IAF), obtenida al dividir el área foliar por planta en m² entre la superficie ocupada por cada planta (0.81 m²). El área foliar de cada hoja fue estimada con la ecuación: $AF = 4.77 + (0.61 \times \text{Ancho}^2)$, propuesta por Rouphael *et al.* (2006); peso seco de la parte aérea de las plantas (hojas y tallo) obtenido al final del ciclo de cultivo con una balanza de precisión (CP622, Sartorius, Göttingen, Alemania) y después de secar el material vegetal en horno eléctrico (Modelo 292, Felisa, Zapopan, Jalisco, México) a 70 °C hasta peso seco constante.

Para las variables de producción, los frutos fueron cosechados 5 a 7 días después de la antesis y se analizaron las siguientes: cuajado de frutos, obtenido mediante la ecuación: $\text{cuajado (\%)} = (\text{Número de frutos con longitud} \geq 127 \text{ mm} / \text{número de flores polinizadas o cubiertas}) \times 100$; diámetro y longitud de fruto en cm, determinados con vernier digital (6MP, Truper, México); peso de fruto en g, obtenido con balanza de precisión (CP622, Sartorius); rendimiento con calidad de exportación en t ha⁻¹: frutos con longitud entre 127 y 203 mm (Molinar *et al.*, 1999; USDA, 2016); rendimiento para mercado nacional en t ha⁻¹: frutos con longitud entre 80 y 126 mm (SECOFI, 1982); en ambos casos, se consideraron frutos bien desarrollados, enteros, sanos, frescos, limpios, de consistencia firme y buen color; y rendimiento total (exportación + nacional) en t ha⁻¹.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el paquete STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura de las plantas cultivadas sin polinización fue 17 % mayor a la alcanzada por las plantas con polinización. El cultivar HMX586429 (HMX58) presentó las plantas más altas, sin diferencias con respecto a Aurora, pero que superaron a los demás cultivares desde 9.5 (Ebano) hasta 138.3 % (Verona). Las plantas del tratamiento SP/HMX58 alcanzaron 196.7 cm, sin diferencia con la altura de las plantas de SP/Aurora (Figura 1A), pero superaron a las plantas del resto de tratamientos desde 10.5 (CP/HMX58) hasta 194.9 % (CP/Verona). Dasgan y Bozkoylu (2007), Díaz *et al.* (2016) y Ayala-Tafoya *et al.* (2020) informaron alturas de 210.9 a 288.3, 76 y 53.2 cm en plantas de calabaza Alata Yesili, Spineless Perfection y Obsession, respectivamente, en condiciones de invernadero.

El diámetro de tallo en las plantas sin polinización fue 11.2 % más grueso que el de las plantas polinizadas. Los cultivares Ebano, Jacobo, Torino, Verona, HMX58 y Aurora presentaron las plantas con diámetro de tallo más grueso, sin diferencias entre sí. El mayor diámetro de tallo lo presentaron las plantas del tratamiento SP/Ebano (20.4 mm), sin diferencia con CP/Jacobo, SP/Verona, SP/Torino, SP/Prestige, CP/Torino y SP/Jacobo, pero superior desde 24.9 hasta 72.4 % con relación al grosor de tallo de SP/Aurora y CP/Chabela, respectivamente (Figura 1B). Ayala-Tafoya *et al.* (2020) reportaron 11.3 mm de diámetro de tallo para plantas de calabaza Obsession.

A los 56, 63, 77, 91 y 105 días después del trasplante

(ddt) se podaron entre cinco y siete hojas de cada planta, por senectud y para reducir inóculo de *Oidium* sp., lo cual ocasionó que durante ese período las plantas mantuvieran más o menos constante el número de hojas (20 a 25 hojas/planta); no obstante, el IAF de las plantas sin polinización fue 71.8 % mayor al de las plantas con polinización, lo cual pudo deberse a una menor competencia por asimilados entre órganos vegetativos y reproductivos; es decir, fue menor la fuerza de demanda de los frutos en las plantas con menor porcentaje de cuajado, y los asimilados restantes se utilizaron en la expansión de las hojas (Queiroga et al., 2009). El mayor IAF se presentó en SP/Ebano (3.5 m² m⁻²), el cual no mostró diferencias con respecto a los demás cultivares sin polinización (excepto Hurakan) y CP/HMX58, CP/Aurora y CP/Jacobo, pero superó a los tratamientos restantes desde 80 (CP/Chabela) hasta 350 % (CP/Hurakan) (Figura 1C). Rouphael y Colla (2005) reportaron IAF de 2.7 m² m⁻² (verano-otoño) a 5.1 m² m⁻²

(primavera-verano) en plantas de calabacita Afrodite en condiciones de invernadero.

La producción de materia seca en las plantas sin polinización fue 42.2 % superior al peso seco de las plantas con polinización, lo cual concuerda con los resultados de El-Keblawy y Lovett-Doust (1996), quienes encontraron que plantas de melón con menor carga de frutos tenían significativamente más materia seca en tallos, hojas y zarcillos en relación con plantas con mayor carga de frutos, debido al dominio de los frutos sobre la asignación proporcional y absoluta de fotosintatos. El mayor peso seco de la parte aérea se presentó en plantas de SP/HMX58 (425.7 g), sin diferencias con las plantas de los demás cultivares sin polinización (excepto Verona y Hurakan) y CP/HMX58, pero superó a los demás cultivares desde 23.4 (CP/Verona) hasta 120.6 % (CP/Hurakan) (Figura 1D). Rauphael y Colla (2005) obtuvieron 462.4 g/

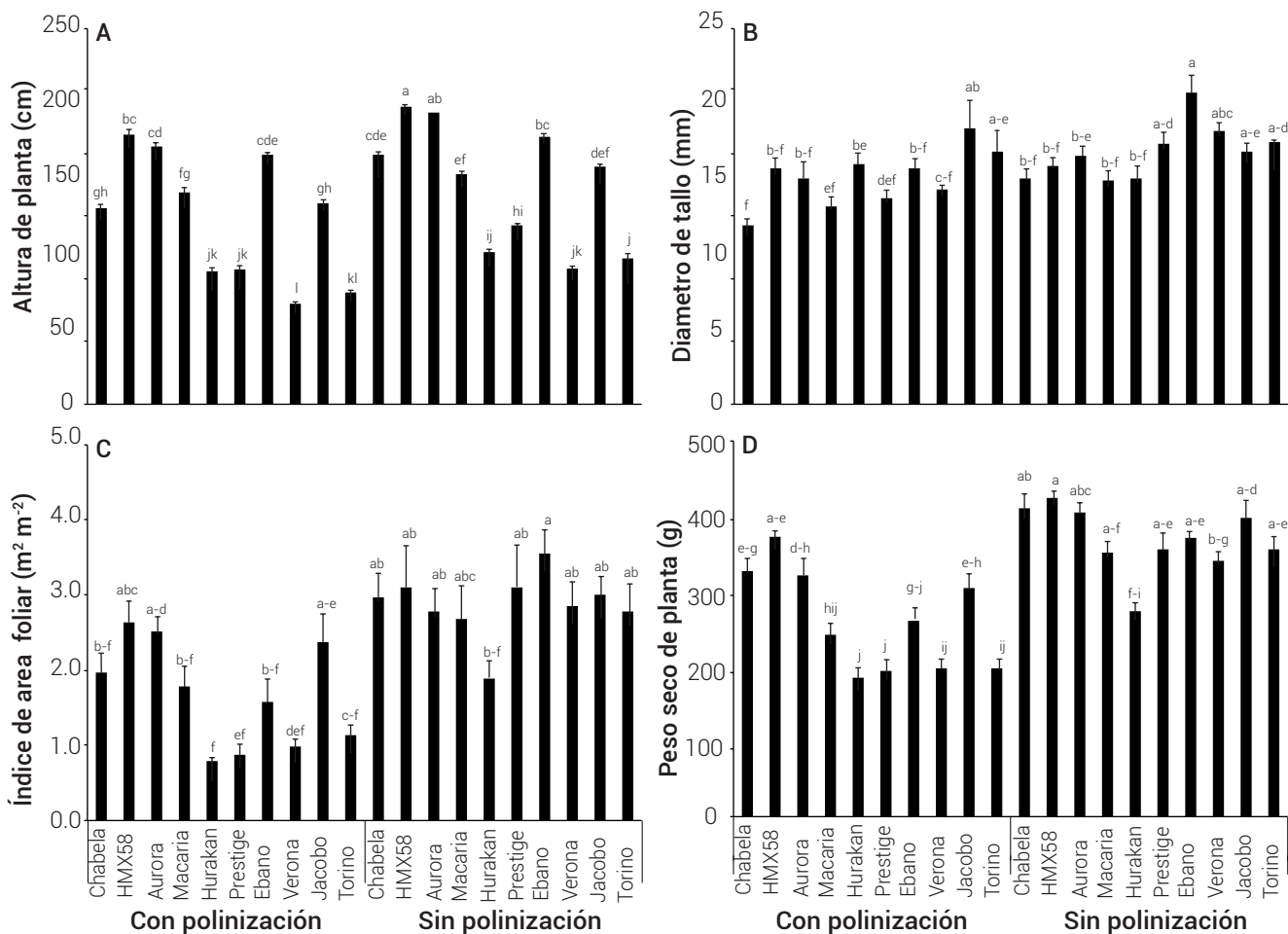


Figura 1. Efecto de la polinización sobre: A) altura de planta. B) diámetro de tallo, C) índice de área foliar y D) peso seco de parte aérea en plantas de 10 cultivares de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) bajo condiciones de casa malla. Medias ± error estándar con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

planta en calabaza Afrodite.

Las diferencias observadas en altura de planta, diámetro de tallo, índice de área foliar y peso seco de parte aérea concuerdan con lo reportado por Loy (2004), quien señaló una considerable variación morfo-fisiológica entre calabazas (*Cucurbita* spp.) y aún entre cultivares de la misma especie. Por otro lado, la fuerza dominante sobre la demanda de fotosintatos por parte de los frutos, en relación con la capacidad de producción de asimilados por la planta, puede regular tanto el desarrollo vegetativo como la formación de nuevos frutos (Loy, 2004; Orozco *et al.*, 2016; Sedano-Castro *et al.*, 2005), lo cual explica el mayor desarrollo vegetativo en las plantas sin polinización, en comparación con las polinizadas, las cuales presentaron mayores porcentajes de cuajado de frutos (Figura 2A).

El cuajado de frutos en las plantas con polinización

fue 2.7 veces mayor comparado con el registrado en las plantas sin polinización (31.6 %). Las plantas de los tratamientos CP/Verona, CP/Jacobo y CP/Torino presentaron el mayor cuajado de frutos (100 %), el cual no mostró diferencias con respecto a CP/Ebano, CP/Prestige y CP/HMX58, pero también significó desde 1.3 hasta 20.6 veces el cuajado de frutos ocurrido en CP/Chabela y SP/Aurora, respectivamente (Figura 2A). La variación en el cuajado de los cultivares manejados sin polinización (4.9 a 52.1 %) concuerda con aquella observada por Robinson y Reiners (1999), quienes señalaron que la capacidad de algunos cultivares para producir frutos sin polinización es fortuita porque no fueron seleccionados para esa característica; también concuerdan con los resultados de Kurtar (2003), quien obtuvo los porcentajes de cuajado más altos en cultivares de tipo calabacita verde con respecto a otros tipos de calabazas, lo cual también sucedió en este estudio, ya que ese grupo superó a las del tipo calabacita

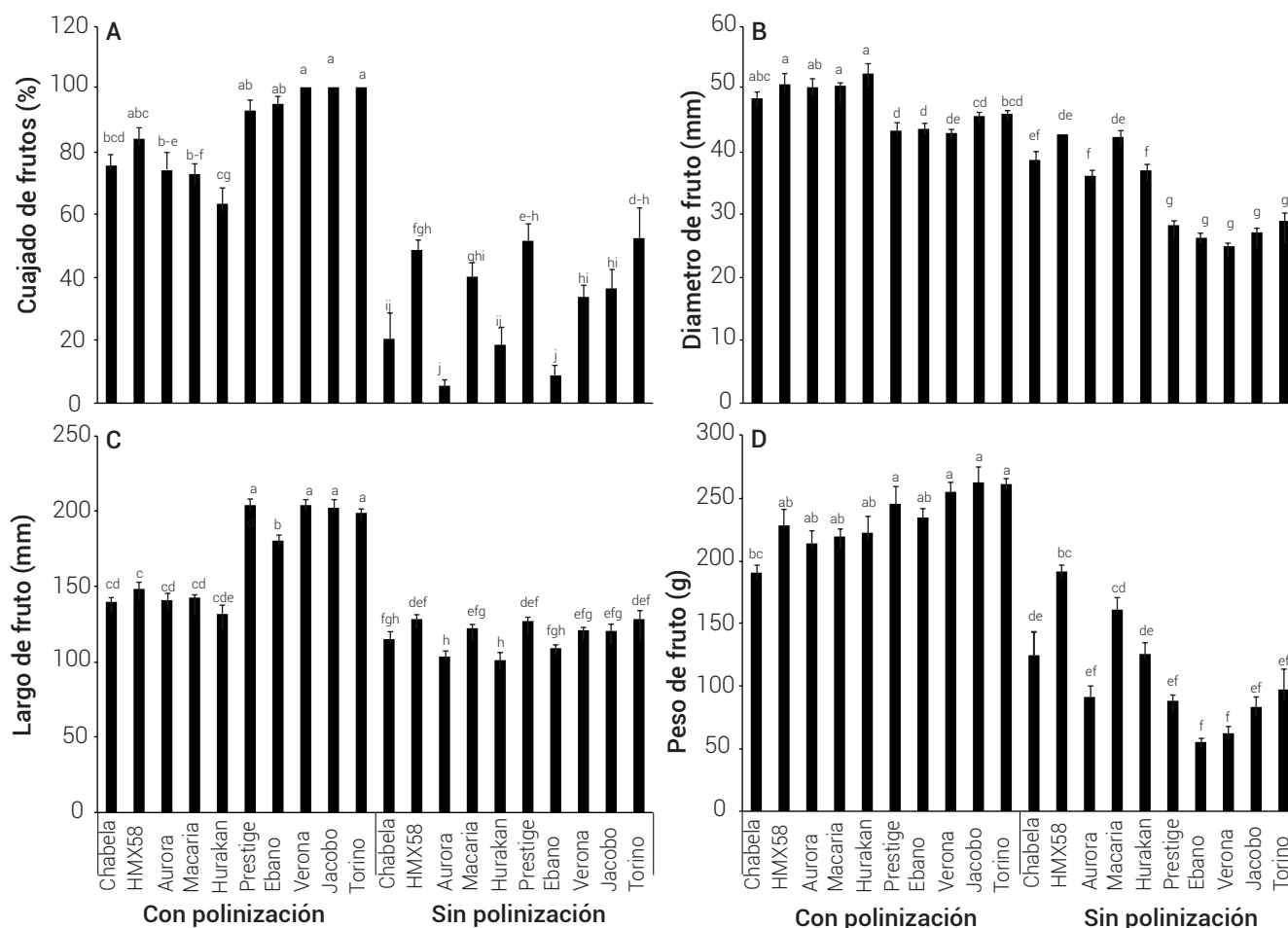


Figura 2. Efecto de la polinización sobre características del fruto: A) cuajado, B) diámetro, C) largo y D) peso de 10 cultivares de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) bajo condiciones de casa malla. Medias ± error estándar con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

gris en 32.3 y 35.7 %, al considerar las plantas con y sin polinización, respectivamente. En general, los resultados tienen relación con el 49.3 % de cuajado de frutos obtenido por Pagoto *et al.* (2020) con la calabaza Antonella, también con el intervalo de 59.5 a 77.9 % de cuajado en calabaza Obsession informado por Ayala-Tafoya *et al.* (2020), así como con el 56 % de cuajado en calabaza Tosca sin polinización y el 98 % de cuajado que alcanzó cuando las flores fueron polinizadas a mano (Knapp y Osborne, 2017).

Las plantas con polinización originaron frutos de mayor diámetro (42.4 %) y longitud (43.6 %) que aquellos producidos por las plantas sin polinización; también mostraron características relacionadas con el tipo de calabacita, ya que el diámetro de fruto de la calabacita gris fue mayor en 14 y 44.6 % en comparación con el diámetro de la calabacita verde con y sin polinización, respectivamente, mientras que la calabacita verde presentó una longitud 39.9 y 5.9 % mayor que la calabacita gris con y sin polinización, respectivamente. Los frutos de CP/Hurakan presentaron el mayor diámetro (52.3 mm), sin diferencias con respecto a CP/HMX58, CP/Macaria, CP/Aurora y CP/Chabela, pero superaron a los demás desde 14.5 (CP/Torino) hasta 111 % (SP/Verona) (Figura 2B). Por otra parte, los frutos de CP/Verona promediaron la mayor longitud (204 mm), la cual no mostró diferencias con CP/Prestige, CP/Jacobo y CP/Torino, pero superaron a los demás desde 13.2 (CP/Ebano) hasta 99.6 % (SP/Hurakan) (Figura 2C). Estos resultados son similares a los observados por Pomares-Viciano *et al.* (2017) en frutos de calabaza MUCU-16 (no partenocárpica), Cavilli y Whitaker (partenocárpicas), cuyo diámetro de fruto procedente de flores polinizadas a mano o no polinizadas promedió 50 y 30 mm, respectivamente, y con la longitud que alcanzaron los frutos de MUCU-16 sin polinización (130 mm); no obstante, fueron relativamente inferiores a la longitud de 200 mm o más alcanzada por los frutos de Cavilli y Whitaker, con o sin polinización, ya que sólo con CP/Verona, CP/Prestige y CP/Jacobo se obtuvo esa longitud de fruto. De forma semejante, Knapp y Osborne (2017) registraron 228 y 156 mm de longitud de fruto en calabaza Tosca polinizada y sin polinización, respectivamente.

En cuanto al peso de fruto, las plantas con polinización (233.4 g) produjeron frutos que pesaron 115.5 % más que los frutos de las plantas sin polinización. El mayor peso de fruto registrado fue de 263.2 g con CP/Jacobo, sin diferencia con respecto a los frutos de otros cultivares con polinización, con excepción de CP/Chabela, cuyos frutos pesaron 38.4 % menos (Figura 2D). El peso de fruto en los cultivares sin polinización fue desde 1.4 hasta 4.8 veces menor (SP/HMX58 y SP/Ebano, respectivamente) comparados con CP/Jacobo. Ayala-Tafoya *et al.* (2020) registraron pesos desde 133.7 hasta 164.3 g en frutos de

calabacita cultivar Obsession, en los tratamientos testigo y con aplicación foliar de auxinas sintéticas, respectivamente, semejantes al peso de fruto de los cultivares sin polinización. Rauphael y Colla (2005) obtuvieron 201 g de peso de fruto con Afrodite, similar a lo observado con los cultivares con polinización del presente estudio.

En general, todos los componentes del rendimiento estudiados fueron positivamente influidos por la fertilización de óvulos de las flores polinizadas, lo cual ocasionó la formación de semillas, cuyos embriones en desarrollo promovieron la síntesis de fitohormonas en niveles necesarios para provocar el agrandamiento celular, cuajado y crecimiento normal de los frutos (Li *et al.*, 2005; Knapp *et al.*, 2016; Pomares-Viciano *et al.*, 2017), mientras que los ovarios de las flores no polinizadas, desde 4.9 (SP/Aurora) hasta 52.1 % (SP/Torino) aumentaron el tamaño que presentaban el día de la antesis: 14.4 mm de diámetro y 50.8 mm de longitud, hasta alcanzar o superar la talla mínima de fruto para exportación: 25.4 mm de diámetro y 127 mm de longitud (Molinar *et al.*, 1999; USDA, 2016).

El rendimiento, total y con calidad de exportación, logrado con polinización de flores superó en 74.7 y 226.4 %, respectivamente, al obtenido sin polinización, mientras que el rendimiento para mercado nacional obtenido sin polinización fue 269.4 % superior al cosechado con polinización. Con CP/HMX58 se lograron los rendimientos más altos, tanto total (79.7 t ha⁻¹) como exportable (74.1 t ha⁻¹), sin diferencias con respecto a los obtenidos con CP/Macaria. Con polinización, 92.5 % del rendimiento alcanzó la calidad de exportación y 7.5 % fue para mercado nacional, mientras que 54.4 % del rendimiento obtenido sin polinización cumplió los requerimientos del mercado nacional y sólo 45.6 % los de exportación (Figura 3). El rendimiento obtenido con cultivares polinizados, y por dos sin polinización (HMX58 y Macaria), superó al rendimiento más alto obtenido por Ayala-Tafoya *et al.* (2020) con Obsession (40.5 t ha⁻¹). También se observa analogía con los rendimientos de 25.2 y 68.9 t ha⁻¹ en cultivo de calabacita Anita de otoño/invierno y primavera, respectivamente, obtenidos por Neocleous y Savvas (2018) bajo condiciones de invernadero. Knapp y Osborne (2017) refieren que alrededor de la mitad (56 %) de las flores experimentales de calabaza Tosca sometidas al tratamiento de no polinización pudieron producir frutos de tamaño y peso comercializables, lo cual tiene relación con los resultados obtenidos con los cultivares HMX58 (49.3 %), Prestige (51.4 %) y Torino (52.1 %), del presente estudio.

CONCLUSIONES

Los cultivares de calabacita manejados sin polinización presentaron un incremento en las variables altura de planta,

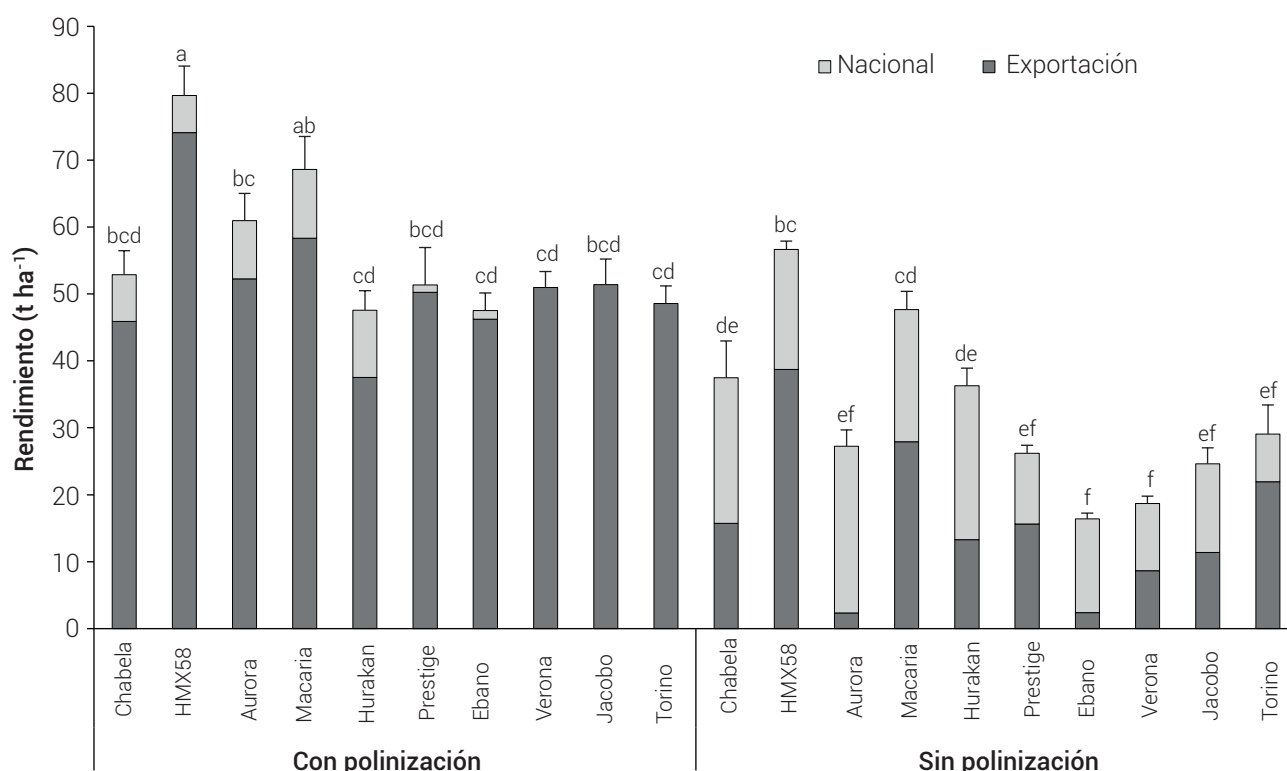


Figura 3. Efecto de la polinización en el rendimiento de 10 cultivares de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) bajo condiciones de casa malla. Medias de rendimiento total (exportación + nacional) \pm error estándar con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

diámetro de tallo, índice de área foliar, peso seco de planta y rendimiento para mercado nacional. Con polinización manual se presentó un incremento en las variables cuajado, diámetro, longitud y peso de frutos, rendimiento total y con calidad de exportación. Los cultivares más destacados, con y sin polinización, fueron HMX586429 y Macaria, ambos del tipo calabacita gris.

BIBLIOGRAFÍA

- Artz D. R. and B. A. Nault (2011) Performance of *Apis mellifera*, *Bombus impatiens*, and *Peponapis pruinosa* (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of pumpkin. *Journal of Economic Entomology* 104:1153-1161, <https://doi.org/10.1603/ec10431>
- Ayala-Tafuya F., G. A. López-Urquidez, J. M. Parra-Delgado, J. E. Retes-Manjarrez, C. A. López-Orona y M. G. Yáñez-Juárez (2020) Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en invernadero. *Terra Latinoamericana* 38:257-265, <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620>
- Cortés M. M. M. (2003) El cultivo protegido del calabacín. In: Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. Tomo 2. F. Camacho F. (coord.). Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. pp:723-738.
- Dasgan H. Y. and A. Bozkoylu (2007) Comparison of organic and synthetic-inorganic nutrition of soilless grown summer squash. *Acta Horticulturae* 747:523-528, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.747.68>
- Díaz F. A., M. Alvarado C., F. Alejandro A. y F. E. Ortiz C. (2016) Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32:445-453, <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.08>
- El-Keblawy A. and J. Lovett-Doust (1996) Resource re-allocation following fruit removal in cucurbits: patterns in cantaloupe melons. *New Phytologist* 134:413-422, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb04358.x>
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (2019) Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (December 2020).
- Francisco-Illescas M. X., J. Villegas-Ramos and F. Camacho-Ferre (2013) Effects of interplanting on the yield and quality of zucchini crops (*Cucurbita pepo*) grown in greenhouses. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4:2361-2365.
- García E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F., México. 98 p.
- Knapp J. L., L. J. Bartlett and J. L. Osborne (2016) Re-evaluating strategies for pollinator-dependent crops: how useful is parthenocarp? *Journal of Applied Ecology* 54:1171-1179, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12813>
- Knapp J. L. and J. L. Osborne (2017) Courgette production: pollination demand, supply, and value. *Journal of Economic Entomology* 110:1973-1979, <https://doi.org/10.1093/jee/tox184>
- Kurtar E. S. (2003) An investigation on parthenocarp in some summer squash (*Cucurbita pepo* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Agronomy* 2:209-213, <https://doi.org/10.3923/ja.2003.209.213>
- Li X. X., J. Yasukawa and Y. Hayata (2005) Role of endogenous indole-3-acetic acid in fruit set of zucchini. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 74:167-169, <https://doi.org/10.2503/jjshs.74.167>
- Loy J. B. (2004) Morpho-physiological aspects of productivity and quality in squash and pumpkins (*Cucurbita* spp.).

- Critical Reviews in Plant Sciences* 23:337-363, <https://doi.org/10.1080/07352680490490733>
- MAPA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2019) Superficies y producciones anuales de cultivos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/> (Diciembre 2020).
- Méndez-López A., M. Sánchez-Vega, C. Villanueva-Verduzco, R. I. Rojas-Martínez y Y. Rodríguez-Pagaza (2018) Diversidad genética en variedades partenocárpicas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) mediante RAPD. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21:447-455.
- Molinar R., J. Aguiar, M. Gaskell and K. Mayberry (1999) Summer squash production in California. Publication Number 7245. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. Davis, California, USA. pp:1-4, <https://doi.org/10.3733/ucanr.7245>
- Neocleous D. and D. Savvas (2018) Modelling Ca^{2+} accumulation in soilless zucchini crops: physiological and agronomical responses. *Agricultural Water Management* 203:197-206, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.017>
- Orozco V. J. A., E. Galindo P., M. A. Segura C., M. Fortis H., P. Preciado R., P. Yescas C. y J. A. Montemayor T. (2016) Dinámica de crecimiento de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en un sustrato a base de vermicomposta en invernadero. *Phyton* 85:117-124.
- Pagoto S. N., A. A. Laudete, G. J. Neves, L. A. Degaspari, L. M. Araujo and F. R. Andrade (2020) Pollination techniques in zucchini production in the presence of boron fertilization. *Comunicata Scientiae* 11:e3326, <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3328>
- Petersen J. D., S. Reiners and B. A. Nault (2013) Pollination services provided by bees in pumpkin fields supplemented with either *Apis mellifera* or *Bombus impatiens* or not supplemented. *PLoS ONE* 8:e69819, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069819>
- Pomares-Viciana T., J. Die, M. Del Río-Celestino, B. Román and P. Gomez (2017) Auxin signaling regulation during induced and parthenocarpic fruit set in zucchini. *Molecular Breeding* 37:56, <https://doi.org/10.1007/s11032-017-0661-5>
- Pomares-Viciana T., M. Del Río-Celestino, B. Román, J. Die, B. Pico and P. Gómez (2019) First RNA-seq approach to study fruit set and parthenocarpy in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *BMC Plant Biology* 19:61, <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1632-2>
- Queiroga R. C. F., M. Puiatti, P. C. R. Fontes and P. R. Cecon (2009) Yield and quality of muskmelon varying fruit number and position in the plant, in protected cultivation. *Horticultura Brasileira* 27:23-29, <https://doi.org/10.1590/S0102-05362009000100005>
- Robinson R. W. and S. Reiners (1999) Parthenocarpy in summer squash. *HortScience* 34:715-717.
- Rouphael Y. and G. Colla (2005) Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy* 23:183-194, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.10.003>
- Rouphael Y., C. M. Rivera, M. Cardarelli, S. Fanasca and G. Colla (2006) Leaf area estimation from linear measurements in zucchini plants of different ages. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81:238-241, <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512056>
- SECOFI, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1982) Norma Mexicana NMX-FF-020-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca calabacita - (*Cucurbita pepo*). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F. <https://www.yumpu.com/es/document/read/37010537/nmx-ff-020-1982> (Diciembre 2020).
- Sedano-Castro G., V. A. González-Hernández, E. M. Engleman y C. Villanueva-Verduzco (2005) Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11:291-297, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.08.047>
- Sedano-Castro G., V. A. González-Hernández, C. Saucedo-Veloz, M. Soto-Hernández, M. Sandoval-Villa y J. A. Carrillo-Salazar (2011) Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. *Terra Latinoamericana* 29:133-142.
- Shaw N. L. and D. J. Cantliffe (2005) Hydroponic greenhouse production of "baby" squash: selection of suitable squash types and cultivars. *HortTechnology* 15:722-728, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.3.0722>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Diciembre 2020).
- StatSoft Inc. (2004) STATISTICA (data analysis software system), version 7. StatSoft Inc. Tulsa, Oklahoma, USA. <https://www.crunchbase.com/organization/statsoft> (May 2022).
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- USDA, United States Department of Agriculture (2016) United States standards for grades of summer squash. United States Department of Agriculture. Washington, D. C. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/SummerSquashStandard.pdf> (December 2020).
- Vidal M. G., D. de Jong, H. C. Wein and R. A. Morse (2010) Pollination and fruit set in pumpkin (*Cucurbita pepo*) by honeybees. *Revista Brasileira de Botânica* 33:107-113, <https://doi.org/10.1590/S0100-84042010000100010>