



# Evaluation of five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) at two population densities under greenhouse and hydroponic conditions

## Evaluación de cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en dos densidades de población bajo condiciones de invernadero e hidroponía

Jesús Francisco-Flores<sup>1</sup>; Aureliano Peña-Lomelí<sup>1</sup>; Natanael Magaña-Lira<sup>1\*</sup>; Rogelio Castro-Brindis<sup>1</sup>; Manuel Sandoval-Villa<sup>2</sup>; Ma Teresa Martínez-Damián<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, C. P. 56230, México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C. P. 56230, México.

\*Corresponding author: mlnatanael@gmail.com

### Abstract

The cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.), native to the mountainous regions of South America, is widely cultivated in Colombia, the world's leading producer and exporter. Expanding its cultivation to new regions requires evaluating its adaptability and performance under technologically advanced production systems. The objective of this research was to assess the productive potential of five cape gooseberry varieties at two plant densities (27 639 and 13 861 plants·ha<sup>-1</sup>) under greenhouse and hydroponic conditions. The experiment was set up in a randomized complete block design with a split-plot arrangement and four replications. The larger plot corresponded to planting density, and the smaller plot to varieties, with a planting pattern of 1.2 m between rows and 0.5 m between plants. Density and variety showed highly significant effects on stem diameter and plant height. Density also had significant effects on fruit weight with and without calyx, and highly significant effects on total yield and yield per plant, evaluated in seven harvests every 20 days. The Sacha variety showed the highest values for polar and equatorial fruit diameter, as well as the highest yield. The Modificada variety had the lowest values for total soluble solids. Significant effects of density on total titratable acidity 4 (TTA4) and of variety on TTA3 were observed. Vitamin C did not show significant differences between treatments. Low density resulted in shorter plants and higher yield. The Sacha variety performed best in terms of yield and fruit quality. There were no interactions between variety and density for yield, but there were interactions for plant height and fruit size.

### Keywords:

quality, hydroponics, agronomic management, production system.

### Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.), originaria de las zonas montañosas de América del Sur, es cultivada ampliamente en Colombia, que es el principal productor y exportador a nivel mundial. La expansión de su cultivo hacia nuevas regiones requiere evaluar su adaptabilidad y desempeño bajo sistemas de producción tecnificados. El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial productivo de cinco variedades de uchuva en dos densidades de población (27 639 y 13 861 plantas·ha<sup>-1</sup>) bajo condiciones de invernadero e hidroponía. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones. La parcela grande correspondió a la densidad y la parcela chica a variedades, bajo un marco de plantación de 1.2 m entre surcos y 0.5 m entre plantas. La densidad y la variedad mostraron efectos altamente significativos sobre el diámetro de tallo y la altura de planta. La densidad presentó efectos significativos en el peso de fruto con cáliz y sin cáliz, y altamente significativos sobre el rendimiento total y el rendimiento por planta, evaluados en siete cortes cada 20 días. La variedad Sacha registró el mayor diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento. La variedad Modificada presentó los valores más bajos en sólidos solubles totales. Se observaron efectos significativos de densidad en la acidez titulable total 4 (ATT4) y de variedad en la ATT3. La vitamina C no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La densidad baja produjo plantas de menor altura y mayor rendimiento. La variedad Sacha presentó el mejor desempeño en términos de rendimiento y calidad de fruto. No hubo interacciones entre variedad y densidad para rendimiento, pero sí para altura de planta y tamaño de fruto.

### Palabras clave:

calidad, hidroponía, manejo agronómico, sistema de producción.

Please cite this article as follows (APA 7): Francisco-Flores, J., Peña-Lomelí, A., Magaña-Lira, N., Castro-Brindis, R., Sandoval-Villa, M., & Martínez-Damián, M. T. (2025). Evaluation of five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) at two population densities under greenhouse and hydroponic conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 31, e25004. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2025.03.004>



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

The cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is a perennial species that grows wild in the mountainous regions of South America, between 800 and 3000 m above sea level. Although its center of origin is not fully defined, Peru, Chile, Colombia, and Venezuela are recognized as the most likely areas (Fischer & Melgarejo, 2014). In recent decades, the cape gooseberry has gained economic and commercial importance due to growing international demand associated with its nutraceutical properties and health benefits (Fischer et al., 2014). Its fruits are rich in vitamins A, B, and C, and contain minerals such as calcium, iron, and phosphorus (Álvarez-Herrera et al., 2021).

Currently, Colombia is the world's leading producer and exporter of cape gooseberries, with markets including the Netherlands, the United States, Germany, Brazil, the United Arab Emirates, and Canada (National Association of Foreign Trade [ANALDEX], 2023). However, despite an increase in cultivated area, productivity has decreased by 23.63 %, from 16.1 to 12.3 t·ha<sup>-1</sup> (Álvarez-Herrera et al., 2021). This phenomenon could be because production is primarily extensive and uses low levels of technification (Rodríguez-Puertas et al., 2022). Because of this situation, several studies have explored strategies to improve yield by increasing planting density and adopting advanced agronomic practices. For example, Quevedo-García et al. (2015) reported yields of 27.7 t·ha<sup>-1</sup> with a density of 5000 plants·ha<sup>-1</sup> in a pigpen-type trellising system, while Peña-Castillo et al. (2024) obtained up to 16.17 t·ha<sup>-1</sup> with the use of biostimulants in combination with densities of 4444 and 10000 plants·ha<sup>-1</sup>.

In addition to optimizing agronomic management practices to increase yields and fruit quality, efforts have been made to introduce the crop to geographically different areas from its origin in order to produce fruit on a commercial scale. However, this has not been fully achieved. In countries such as South Africa, England, New Zealand, and Kenya, the cape gooseberry is cultivated on small plots to supply local markets, with seasonal production, unlike Colombia, which can produce and export throughout the year (Quiroga & Kirschbaum, 2021). These findings underscore the need to evaluate the adaptation and productivity of the crop in new areas using technified production systems. In this context, the objective of this research was to assess the productive potential of five cape gooseberry varieties at two plant densities under greenhouse and hydroponic conditions.

## Materials and methods

The study was conducted from March to November 2023 in a greenhouse at the Plant Science Department

## Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una especie perenne que se puede encontrar de forma silvestre en las regiones montañosas de América del Sur, entre los 800 y 3000 m de altitud. Aunque su centro de origen no está completamente definido, se reconoce a Perú, Chile, Colombia y Venezuela como las zonas más probables (Fischer & Melgarejo, 2014). En las últimas décadas, la uchuva ha adquirido relevancia económica y comercial debido a la creciente demanda internacional asociada a sus propiedades nutraceuticas y a sus beneficios para la salud (Fischer et al., 2014). Sus frutos son ricos en vitaminas A, B y C, y contienen minerales como calcio, hierro y fósforo (Álvarez-Herrera et al., 2021).

Actualmente, Colombia es el principal país productor y exportador de uchuva a nivel mundial, con destinos comerciales como Países Bajos, Estados Unidos, Alemania, Brasil, Emiratos Árabes Unidos y Canadá (Asociación Nacional de Comercio Exterior [ANALDEX], 2023). Sin embargo, pese al aumento del área cultivada, la productividad ha disminuido 23.63 %, al pasar de 16.1 a 12.3 t·ha<sup>-1</sup> (Álvarez-Herrera et al., 2021). Este fenómeno se podría deber a que su producción es principalmente extensiva y con bajo nivel de tecnificación (Rodríguez-Puertas et al., 2022). Por esta situación, diversas investigaciones han explorado estrategias para mejorar el rendimiento mediante el aumento de la densidad de plantación y la adopción de prácticas agronómicas avanzadas. Por ejemplo, Quevedo-García et al. (2015) reportaron rendimientos de 27.7 t·ha<sup>-1</sup> con una densidad de 5000 plantas·ha<sup>-1</sup> en un sistema de tutoreo tipo chiquero, mientras que Peña-Castillo et al. (2024) obtuvieron hasta 16.17 t·ha<sup>-1</sup> con el uso de bioestimulantes en combinación con densidades de 4444 y 10000 plantas·ha<sup>-1</sup>.

Además de optimizar las prácticas de manejo agronómico que propicien el incremento de los rendimientos y la calidad de frutos, se ha buscado introducir el cultivo en zonas geográficamente distintas a las de su origen con la finalidad de producir frutos a escala comercial. No obstante, esto no se ha logrado por completo. En países como Sudáfrica, Inglaterra, Nueva Zelanda y Kenia, la uchuva es cultivada en pequeñas superficies para el abastecimiento de los mercados locales, con producción estacionaria, a diferencia de Colombia, que puede producir y exportar durante todo el año (Quiroga & Kirschbaum, 2021). Estos antecedentes subrayan la necesidad de evaluar la adaptación y productividad del cultivo en nuevas zonas mediante sistemas de producción tecnificados. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial productivo de cinco variedades de uchuva en dos densidades de población bajo condiciones de invernadero e hidroponía.

of the *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH) (19° 29' 24" N and 98° 52' 27" W, at 2250 m a. s. l.). The minimum and maximum temperatures inside the greenhouse were 14.6 and 35.4 °C, respectively, and an average relative humidity of 65 %.

The cape gooseberry varieties evaluated were: 'Sacha', 'Modificada' (Ecuador), 'Chiclayo' (Peru), 'CSAEGRO' (Guerrero, Mexico), and 'Fitos' (Venezuela). The seeds used were obtained from previous experimental cycles at the *Colegio de Postgraduados* (COLPOS), the *Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero* (CSAEGRO), and UACH. Four of the varieties produce yellow fruits with diameters of 1.5 to 2.5 cm and 12 to 18 °Brix. The Modificada variety is the only one that produces brown-greenish fruits, 1.0 to 1.8 cm in diameter and 10 to 11 °Brix (Orozco-Balbuena et al., 2021).

The factors studied were population density (with two levels: high [27639 plants·ha<sup>-1</sup>] and low [13861 plants·ha<sup>-1</sup>], with planting frames of 0.3 × 1.2 m and 0.6 × 1.2 m, respectively) and variety ('Sacha', 'Modificada', 'CSAEGRO', 'Fitos', and 'Chiclayo'). A full factorial treatment design (2 × 5) with a split-plot arrangement was established, where the large plot corresponded to the density and the small plot to the variety.

Sowing was carried out in March 2023 in 200-cell polystyrene trays. Seedlings were kept in seedbeds for 49 days and then transplanted to the greenhouse using a randomized complete block design with four replicates. The experimental unit (EU) consisted of a row of 25 and 13 plants, depending on the population density (high and low, respectively). The crop was grown under greenhouse and hydroponic conditions, using small-grained red *tezontle* ( $\leq 0.5$  cm) as the substrate and Steiner's universal nutrient solution (Steiner, 1984) with an electrical conductivity of 2.5 dS·m<sup>-1</sup>.

The variables evaluated were plant height (PH, cm), stem diameter (SD, mm), fruit weight with calyx (FWC, g), fruit weight without calyx (FWWC, g), total yield (TY, g), yield per plant (YPP, g), polar diameter of the fruit (PD, mm), equatorial diameter of the fruit (ED, mm), total soluble solids (TSS, °Brix), total titratable acidity (TTA, %) and vitamin C (VC, mg·100 g<sup>-1</sup>). The variables PH and SD were measured every two weeks from May 21 to August 26, 2023. The variables FWC, FWSC, PD, ED, TSS, TTA, and VC were evaluated every 20 days between August 10 and November 30, 2023 in fruits at maturity stage 5 according to the *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación* (ICONTEC, 1999). It was verified that all the fruits evaluated did not present any physical or physiological damage.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó de marzo a noviembre de 2023 en un invernadero del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (19° 29' 24" N y 98° 52' 27" O, a 2250 m s. n. m.). Las temperaturas mínima y máxima dentro del invernadero fueron 14.6 y 35.4 °C, respectivamente, y una humedad relativa promedio de 65 %.

Las variedades de uchuva evaluadas fueron: 'Sacha', 'Modificada' (Ecuador), 'Chiclayo' (Perú), 'CSAEGRO' (Guerrero, México) y 'Fitos' (Venezuela). Las semillas utilizadas se obtuvieron de ciclos experimentales anteriores en el Colegio de Postgraduados, el Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO) y la UACH. Cuatro de las variedades producen frutos amarillos con diámetros de 1.5 a 2.5 cm y de 12 a 18 °Brix. La variedad Modificada es la única que presenta frutos café-verdosos, de 1.0 a 1.8 cm de diámetro y 10 a 11 °Brix (Orozco-Balbuena et al., 2021).

Los factores estudiados fueron densidad de población (con dos niveles: alta [27639 plantas·ha<sup>-1</sup>] y baja [13861 plantas·ha<sup>-1</sup>], con marcos de plantación de 0.3 × 1.2 m y 0.6 × 1.2 m, respectivamente) y variedad ('Sacha', 'Modificada', 'CSAEGRO', 'Fitos' y 'Chiclayo'). Se estableció un diseño de tratamientos factorial completo (2 × 5) con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a la densidad y la parcela chica a la variedad.

La siembra se realizó en marzo de 2023 en charolas de poliestireno de 200 cavidades. Las plántulas se mantuvieron en almacigo durante 49 días y, posteriormente, se trasplantaron al invernadero bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) consistió en un surco de 25 y 13 plantas de acuerdo con las densidades de población (alta y baja, respectivamente). El cultivo se desarrolló en condiciones de invernadero e hidroponía, con *tezontle* rojo de granulometría pequeña ( $\leq 0.5$  cm) como sustrato y solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984) a 2.5 dS·m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica.

Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP, cm), diámetro de tallo (DT, mm), peso de fruto con cáliz (PFCC, g), peso de fruto sin cáliz (PFSC, g), rendimiento total (RT, g), rendimiento por planta (RPP, g), diámetro polar del fruto (DP, mm), diámetro ecuatorial del fruto (DE, mm), sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez titulable total (ATT, %) y vitamina C (VC, mg·100 g<sup>-1</sup>). Las variables AP y DT se midieron cada dos semanas del 21 de mayo al 26 de agosto de 2023. Las variables PFCC, PFSC, DP, DE, SST, ATT y VC se evaluaron cada

The PH was measured with a measuring tape (Truper®). The variables SD, PD, and ED were measured with a digital caliper (Daniu®). FWC and FWWC were obtained using a digital scale (SF-400A, Electronic Compact Scale). SST were measured in five fruits per EU using a handheld digital refractometer (ATAGO, PAL-1®). TY (results ratio) was obtained by summing the FWWC from the seven harvests carried out in each EU, and YPP was calculated by dividing TY by the number of plants per EU. TTA and VC were determined according to the AOAC International (2023) methodology. For TTA, 5 g of fruit were blended in 50 mL of distilled water; subsequently, a 10 mL aliquot was taken and titrated with 0.1 N sodium hydroxide using 1 % phenolphthalein as an indicator. For VC, 5 g of fruit were liquefied in 50 mL of oxalic acid, a 5 mL aliquot was taken and titrated with Tillman's solution (DFI-2,6-dichlorophenol-indophenol), the concentration in mg·100 g<sup>-1</sup> of fruit was calculated from the measured flow rate in the titration.

The data were analyzed using an analysis of variance with a randomized complete block design in split-plot arrangement, using the Statistical Analysis System version 9.0. Subsequently, Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ) was performed for factors with a significant effect. For variables with significant interactions, comparisons were made between levels of the variety factor within each density level.

## Results and discussion

### Analysis of variance

Analysis of variance revealed highly significant effects ( $p \leq 0.01$ ) of density and variety on SD and PH starting from measurement four (SD4) and one (PH1), respectively. The density  $\times$  variety interaction was significant ( $p \leq 0.05$ ) in PH5, and highly significant in PH1, PH6, and PH7 (Table 1). Quevedo-García et al. (2015) reported that low planting densities favor plant development due to better branch distribution and larger leaf area, while Mora-Aguilar et al. (2006) maintain that differences in SD and PH are due to genetic variability.

In the FWC and FWWC variables, the density factor showed significant and highly significant effects from the first measurement, as well as highly significant effects for TY and YPP. The variety factor was significant in four of seven harvests for FWC and FWWC, as well as for TY and YPP. The effect of the variety factor could be due to the genetic characteristics of each variety and its differential capacity to produce larger and, consequently, heavier fruits, as well as the number of fruits per plant (Lagos et al., 2007). The effect of the density factor, on the other hand, is related to crop management, since large, branched plants were used,

20 días entre el 10 de agosto y el 30 de noviembre de 2023 en frutos en estado de madurez 5 de acuerdo con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 1999). Se verificó que todos los frutos evaluados no presentarían daños físicos ni fisiológicos.

La AP se midió con un flexómetro (Truper®). Las variables DT, DP y DE se midieron con un vernier digital (Daniu®). El PFCC y PFSC se obtuvieron con una báscula digital (SF-400A, Electronic Compact Scale). Los SST se midieron en cinco frutos por UE con un refractómetro digital manual portátil (ATAGO, PAL-1®). El RT se obtuvo mediante la suma de los PFSC de las siete cosechas realizadas en cada UE, y el RPP se calculó al dividir el RT entre el número de plantas por UE. La determinación de ATT y VC se realizó de acuerdo con la metodología de la AOAC International (2023). Para ATT, se licuaron 5 g de fruto en 50 mL de agua destilada; posteriormente, se tomó una alícuota de 10 mL y se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N utilizando fenolftaleína al 1 % como indicador. Para VC, se licuaron 5 g de fruto en 50 mL de ácido oxálico, se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con la solución de Tillman (DFI-2,6-diclorofenol-indofenol). La concentración en mg·100 g<sup>-1</sup> de fruto se calculó a partir del gasto medido en la titulación.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de acuerdo con el diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, para lo cual se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System versión 9.0. Posteriormente, se realizaron comparaciones de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para los factores con efecto significativo. En las variables con interacciones significativas, las comparaciones se realizaron entre los niveles del factor variedad dentro de cada nivel de densidad.

## Resultados y discusión

### Análisis de varianza

El análisis de varianza evidenció efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) de los factores densidad y variedad sobre el DT y la AP a partir de la medición cuatro (DT4) y uno (AP1), respectivamente. La interacción densidad  $\times$  variedad fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) en AP5, y altamente significativa en AP1, AP6 y AP7 (Cuadro 1). Quevedo-García et al. (2015) reportaron que densidades de plantación bajas favorecen el desarrollo de las plantas debido a una mejor distribución de las ramas y mayor área foliar, mientras que Mora-Aguilar et al. (2006) sostienen que las diferencias en DT y AP se deben a la variabilidad genética.

En las variables PFCC y PFSC, el factor densidad presentó efectos significativos y altamente significativos desde la primera medición, así como efectos altamente significativos para el RT y el RPP. El factor variedad fue significativo en cuatro de siete cortes para PFCC y

**Table 1 Mean squares of the analysis of variance of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) cultivated at two population densities.****Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población.**

SV/FV	DF/GL	SD1/DT1	SD2/DT2	SD3/DT3	SD4/DT4
Block/Bloque	3	3.72**	45.24**	11.34**	17.12**
Density/Densidad	1	0.27	0.03	0.00	42.94**
Error a	3	3.29	7.63	12.03	15.50
Variety/Variedad	4	0.66	9.77	4.21*	11.48**
Den × Var	4	0.56	10.13	2.44	0.73
Error b	742	0.59	11.76	1.74	2.14
Total	757				
CV (%)		12.85	35.96	10.63	10.19
		SD5/DT5	SD6/DT6	SD7/DT7	SD8/DT8
Block/Bloque	3	14.97**	20.78**	14.95**	14.31**
Density/Densidad	1	26.02**	12.82**	6.94*	12.55**
Error a	3	10.44	8.88	3.22	2.16
Variety/Variedad	4	14.26**	12.42**	7.11**	5.87**
Den × Var	4	1.57	2.36	3.24	3.52
Error b	742	2.04	1.77	1.44	1.54
Total	757				
CV (%)		9.37	8.30	7.10	6.96
		PH1/AP1	PH2/AP2	PH3/AP3	PH4/AP4
Block/Bloque	3	182.53	1 184.54*	32.58	49.61
Density/Densidad	1	18.40**	423.56**	7 662.75**	55 139.93**
Error a	3	16.83	42.70	37.05	94.69
Variety/Variedad	4	501.44**	377.51**	223.95**	418.18**
Den × Var	4	57.19**	41.79	62.03	138.13
Error b	742	5.10	23.28	33.58	62.87
Total	757				
CV (%)		16.44	15.02	10.42	8.57
		PH5/AP5	PH6/AP6	PH7/AP7	PH8/AP8
Block/Bloque	3	90.23	370.41	958.51**	1 101.37**
Density/Densidad	1	139 352.70**	166 668.38**	208 132.18**	193 624.04**
Error a	3	385.08	798.95	3 541.05	2 667.18
Variety/Variedad	4	739.85**	669.87**	786.74**	1 494.43**
Den × Var	4	239.66*	738.09**	943.76**	344.62
Error b	742	89.51	165.16	159.99	202.60
Total	757				
CV (%)		7.26	7.89	6.56	6.35

SV: sources of variation; DF: degrees of freedom; SDi: stem diameter (mm); PHi: plant height (cm); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8: measurements from one to eight, every two weeks; CV: coefficient of variation. \*: significant with  $p \leq 0.05$ ; \*\*: highly significant with  $p \leq 0.01$ .

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; DTi: diámetro de tallo (mm); APi: altura de planta (cm); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8: mediciones del uno al ocho, cada dos semanas; CV: coeficiente de variación. \*: significativo con  $p \leq 0.05$ ; \*\*: altamente significativo con  $p \leq 0.01$ .

which increases competition for photoassimilates by the fruits. The density  $\times$  variety interaction was only significant in FWC3 and FWWC3 (Table 2).

Álvarez-Herrera et al. (2021) found that cape gooseberry production in greenhouses decreases when plants are subjected to water stress and high temperatures, while Peña et al. (2021) mentioned that yield depends on the genetic characteristics of the cultivar, agroclimatic conditions, and agronomic management. Quevedo-García et al. (2015) indicated that adequate spacing between plants favors crop development because it improves aeration and light capture in the leaves. Regarding the yield per plant (YPP), Criollo et al. (2014) indicated that it depends on the number of fruits produced per plant, which shows bimonthly peaks that gradually decrease until harvests are minimal (Álvarez-Herrera et al., 2021).

For PD and ED, significant and highly significant effects were observed for both factors, except for PD4, PD7, ED1, ED6, and ED7 for the density factor, and for PD2 and ED2 for the variety factor. For TSS, only the variety factor showed highly significant effects (Table 3). The significance in fruit diameter may be due to genetic variability resulting from additive and non-additive effects (Trevisani et al., 2024). Antúnez-Ocampo et al. (2014) indicated that plants with greater vigor tend to produce fruit with a higher concentration of TSS. These authors also maintain that greater nutrient availability is associated with an increase in fruit size. Miranda and Fischer (2021) observed that soluble sugar content increases during fruit ripening.

In the TTA, significant effects were only detected in TTA4 for density and in TTA3 for variety. In contrast, the VC showed highly significant effects only for the variety factor starting from VC2 (Table 4). Miranda and Fischer (2021) mentioned that acidity decreases as the degree of maturity increases. Likewise, the VC content is influenced by the fruit's maturity stage (Ávila et al., 2006).

### Comparison of means for density

Tukey's test showed no significant differences in SD between densities. However, an increase in AP was observed starting at PH3, where the high density surpassed the low density (Figures 1a and 1b). Quevedo-García et al. (2015) reported heights of 139.5 cm with a density of 5000 plants·ha<sup>-1</sup> in a traditional trellis system. The PH achieved in the present study (up to 236.31 cm) could be due to competition among plants for light capture at the evaluated densities (13861 and 27639 plants·ha<sup>-1</sup> for low and high density, respectively) and to the simple trellis training system used.

Significant differences favoring low density were detected in FWC, FWWC, TY, and YPP (Figures 1c, 1d, 1e, and 1f). Gastelum-Osorio et al. (2013) reported higher

PFSC, al igual que para RT y RPP. El efecto del factor variedad se pudo deber a las características genéticas de cada variedad y a su capacidad diferencial para producir frutos de mayor tamaño y, en consecuencia, de mayor peso, así como a la cantidad de frutos por planta (Lagos et al., 2007). Por su parte, el efecto del factor densidad se relaciona con el manejo del cultivo, ya que se manejaron plantas grandes y ramificadas, lo cual incrementa la competencia por fotoasimilados por parte de los frutos. La interacción densidad  $\times$  variedad solo fue significativa en PFCC3 y PFSC3 (Cuadro 2).

Álvarez-Herrera et al. (2021) encontraron que la producción de uchuva en invernadero disminuye cuando las plantas son sometidas a estrés hídrico y altas temperaturas, mientras que Peña et al. (2021) mencionan que el rendimiento depende de las características genéticas del cultivar, las condiciones agroclimáticas y el manejo agronómico. Quevedo-García et al. (2015) señalan que un espaciamiento adecuado entre plantas favorece el desarrollo del cultivo debido a que mejora la aireación y la captación de la luz en las hojas. En cuanto al RPP, Criollo et al. (2014) indican que depende del número de frutos producidos por planta, el cual presenta picos bimestrales que disminuyen progresivamente hasta que las cosechas son mínimas (Álvarez-Herrera et al., 2021).

Para el DP y DE, se observaron efectos significativos y altamente significativos para ambos factores, excepto en DP4, DP7, DE1, DE6 y DE7 para el factor densidad, y en DP2 y DE2 para el factor variedad. En SST, únicamente el factor variedad presentó efectos altamente significativos (Cuadro 3). La significancia en el diámetro de frutos se puede deber a la variabilidad genética resultante de efectos aditivos y no aditivos (Trevisani et al., 2024). Antúnez-Ocampo et al. (2014) señalan que las plantas con mayor vigor tienden a producir frutos con mayor concentración de SST. Asimismo, estos autores sostienen que una mayor disponibilidad de nutrientes se asocia con un incremento en el tamaño del fruto. Por su parte, Miranda y Fischer (2021) observaron que el contenido de azúcares solubles incrementa durante la maduración de los frutos.

En la ATT, solo se detectaron efectos significativos en ATT4 para densidad y en ATT3 para variedad. En contraste, la VC mostró efectos altamente significativos solo en el factor variedad a partir de VC2 (Cuadro 4). Miranda y Fischer (2021) mencionan que la acidez disminuye conforme aumenta el grado de madurez. Asimismo, el contenido de VC está influenciado por el estado de madurez del fruto (Ávila et al., 2006).

### Comparación de medias para densidad

La prueba de Tukey no mostró diferencias significativas en el DT entre densidades. No obstante, se observó un incremento en AP a partir de AP3, donde la densidad

**Table 2. Mean squares of the analysis of variance of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown at two population densities.**

**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población.**

SV/FV	DF/GL	FWC1/PFCC1	FWC2/PFCC2	FWC3/PFCC3	FWC4/PFCC4
Block/Bloque	3	3920.97*	2615.80	161161.67**	681141.83*
Density/Densidad	1	10497.60**	9548.10*	1168956.10**	933608.03**
Error a	3	799.67	2056.97	81425.77	103006.56
Variety/Variedad	4	556.69	3267.91	118387.09*	575218.28*
Den × Var	4	470.54	2291.91	97008.16*	144496.03
Error b	24	1252.71	1321.78	28375.09	138149.40
Total	39				
CV (%)		31.39	30.73	52.57	38.57
		FWC5/PFCC5	FWC6/PFCC6	FWC7/PFCC7	FWWC1/PFSC1
Block/Bloque	3	2238246.16*	1164090.23**	356151.09	12427.40*
Density/Densidad	1	5140173.02**	6275016.23**	880605.63*	9610.00**
Error a	3	876349.83	157189.89	53309.43	4108.60
Variety/Variedad	4	2847888.21**	597612.65	460837.96*	1038.85
Den × Var	4	398327.21	338688.85	228098.81	1713.75
Error b	24	653024.60	219243.77	131563.82	971.79
Total	39				
CV (%)		43.92	51.12	61.87	32.78
		FWWC2/PFSC2	FWWC3/PFSC3	FWWC4/PFSC4	FWWC5/PFSC5
Block/Bloque	3	2109.07	135727.23**	561676.47**	1813038.49*
Density/Densidad	1	9424.90**	960690.03**	776736.90*	4273890.63**
Error a	3	1688.90	71816.69	96936.97	818074.43
Variety/Variedad	4	2876.21	102051.54**	466541.73**	2275063.90*
Den × Var	4	2097.84	88576.59*	122878.90	343959.50
Error b	24	1162.19	22720.73	105577.28	543082.17
Total	39				
CV (%)		31.02	53.34	36.77	44.28
		FWWC6/PFSC6	FWWC7/PFSC7	TY/RT	YPP/RPP
Block/Bloque	3	1101222.30**	278676.90	13572649.9**	46000.93*
Density/Densidad	1	5598032.40**	759002.50*	48593793.6**	1872630.42**
Error a	3	147586.47	46428.63	2612077.3	3733.12
Variety/Variedad	4	503122.79	369295.69*	9965913.8*	59313.94**
Den × Var	4	302655.46	185190.31	2271946.5	31306.07
Error b	24	189973.84	107788.85	2406480.2	12994.28
Total	39				
CV (%)		51.25	61.92	35.13	29.84

SV: sources of variation; DF: degrees of freedom; FWCi: fresh fruit weight with calyx (g); FWWCi: fresh fruit weight without calyx (g); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: measurements from one to seven, every 20 days; TY: total yield (g); YPP: yield per plant (g); CV: coefficient of variation; \*: significant with  $p \leq 0.05$ ; \*\*: highly significant with  $p \leq 0.01$ .

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; PFCCi: pesos de fruto fresco con cáliz (g); PFSCi: peso de fruto fresco sin cáliz (g); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: mediciones del uno al siete, cada 20 días; RT: rendimiento total (g); RPP: rendimiento por planta (g); CV: coeficiente de variación; \*: significativo con  $p \leq 0.05$ ; \*\*: altamente significativo con  $p \leq 0.01$ .

**Table 3. Mean squares of the analysis of variance of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown at two population densities.**

**Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población.**

SV/FV	DF/GL	PD1/DP1	PD2/DP2	PD3/DP3	PD4/DP4	PD5 DP5	PD6/DP6
Block/Bloque	3	14.62**	4.97	1.70	12.93**	0.97	2.67
Density/Densidad	1	31.73**	32.27**	20.03**	3.60	12.53**	4.63*
Error a	3	4.99	0.78	2.85	1.78	25.89	9.19
Variety/Variedad	4	20.83**	2.25	9.50**	17.94**	12.59**	28.88**
Den × Var	4	5.93*	2.16	1.00	4.61*	1.31	0.56
Error b	184	2.32	2.27	1.87	1.63	1.43	1.10
Total	199						
CV (%)		8.89	9.76	8.58	8.12	6.95	6.17
		PD7/DP7	ED1/DE1	ED2/DE2	ED3/DE3	ED4/DE4	ED5/DE5
Block/Bloque	3	6.54*	19.16**	10.30**	2.30	20.25**	1.24
Density/Densidad	1	0.22	0.52	34.74**	21.98**	8.45*	7.19*
Error a	3	9.15	3.94	3.42	0.72	3.42	1.05
Variety/Variedad	4	43.96**	16.68**	0.95	9.18**	29.73**	17.82**
Den × Var	4	4.83	5.11	5.55	1.32	3.66	1.78
Error b	184	2.12	2.25	2.07	1.84	1.59	1.58
Total	199						
CV (%)		9.10	8.79	9.17	8.50	7.75	7.34
		ED6/DE6	ED7/DE7	TSS1/SST1	TSS2/SST2	TSS3/SST3	TSS4/SST4
Block/Bloque	3	1.29	6.84*	6.46	10.09*	12.04	1.95
Density/Densidad	1	0.03	0.20	5.54	2.71	6.09	0.15
Error a	3	6.10	9.62	15.24	2.12	1.55	1.31
Variety/Variedad	4	52.04**	62.59**	135.42**	122.42**	24.40**	23.58**
Den × Var	4	1.66	5.63	3.10	6.92	3.59	7.75
Error b	184	1.12	2.31	4.88	3.48	4.72	3.65
Total	199						
CV (%)		6.09	9.16	16.77	15.87	17.66	15.76
		TSS5/SST5	TSS6/SST6	TSS7/SST7			
Block/Bloque	3	6.36	8.44	0.95			
Density/Densidad	1	0.11	1.22	0.54			
Error a	3	0.34	0.54	6.13			
Variety/Variedad	4	28.30**	54.56**	149.80**			
Den × Var	4	1.93	5.53	16.77*			
Error b	184	3.39	4.14	4.98			
Total	199						
CV (%)		15.35	15.95	15.74			

SV: sources of variation; DF: degrees of freedom; PDi: polar diameter of the fruit (mm); EDi: equatorial diameter of the fruit (mm); TSSi: total soluble solids (°Brix); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: measurements from one to seven, every 20 days; CV: coefficient of variation; \*: significant with  $p \leq 0.05$ ; \*\*: highly significant with  $p \leq 0.01$ .

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; DPi: diámetro polar del fruto (mm); DEi: diámetro ecuatorial del fruto (mm); SSTi: sólidos solubles totales (°Brix); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: mediciones del uno al siete, cada 20 días; CV: coeficiente de variación; \*: significativo con  $p \leq 0.05$ ; \*\*: altamente significativo con  $p \leq 0.01$ .

**Table 4. Mean squares of the analysis of variance of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown at two population densities.**

**Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población.**

SV/FV	DF/GL	TTA1/ATT1	TTA2/ATT2	TTA3/ATT3	TTA4/ATT4	TTA5/ATT5	TTA6/ATT6
Block/Bloque	3	0.069	0.003	0.170**	0.051	0.026	0.036
Density/Densidad	1	0.001	0.046	0.010	0.215*	0.065	0.000
Error a	3	0.015	0.061	0.090	0.030	0.056	0.020
Variety/Variedad	4	0.024	0.015	0.067*	0.009	0.025	0.014
Den × Var	4	0.017	0.026	0.016	0.018	0.016	0.048
Error b	24	0.031	0.049	0.018	0.036	0.027	0.019
Total	39						
CV (%)		17.3	19.72	11.8	16.8	13.54	10.77
		<b>VC1</b>	<b>VC2</b>	<b>VC3</b>	<b>VC4</b>	<b>VC5</b>	<b>VC6</b>
Block/Bloque	3	2.359	1.037*	0.168	0.345	0.701	0.199
Density/Densidad	1	0.404	0.706	0.011	0.377	0.012	0.589
Error a	3	0.237	0.508	0.176	0.223	0.522	0.525
Variety/Variedad	4	1.290	2.529**	2.320**	3.655**	5.354**	3.293**
Den × Var	4	0.624	0.049	0.095	0.146	0.135	0.496
Error b	24	1.015	0.273	0.229	0.816	0.290	0.394
Total	39						
CV (%)		25.909	15.12	13.22	23.1	13.54	14.98

SV: sources of variation; GL: degrees of freedom; TTAi: total titratable acidity (%); VCi: total vitamin C (mg·100 g<sup>-1</sup>); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6: measurements from one to six, every 20 days; CV: coefficient of variation; \*: significant with  $p \leq 0.05$ ; \*\*: highly significant with  $p \leq 0.01$ .

FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; ATTi: acidez titulable total (%); VCi: vitamina C total (mg·100 g<sup>-1</sup>); i = 1, 2, 3, 4, 5, 6: mediciones del uno al seis, cada 20 días; CV: coeficiente de variación; \*: significativo con  $p \leq 0.05$ ; \*\*: altamente significativo con  $p \leq 0.01$ .

FWC at densities of 8 plants·m<sup>-1</sup> and higher FWWC at 4 plants·m<sup>-1</sup>. Peña-Castillo et al. (2024) obtained 16.17 t·ha<sup>-1</sup> with 4444 plants·ha<sup>-1</sup> and 750 mL·200 L<sup>-1</sup> of biostimulant. In the present study, yields were 8.29 and 4.58 t·ha<sup>-1</sup> for low and high density, respectively.

Regarding fruit diameter, significant differences were only observed in PD2 and ED2 for high density, and in ED3 for low density (Figures 2a and 2b). Quevedo-García et al. (2015) obtained diameters of 2.193 cm with 1,666 plants·ha<sup>-1</sup>, while Peña-Castillo et al. (2024) achieved diameters of 6.2 cm with the application of 750 mL·200 L<sup>-1</sup> of biostimulant and a planting density of 4444 plants·ha<sup>-1</sup>. This suggests that lower densities and appropriate management practices can favor the production of larger fruit.

The mean comparison test showed no significant differences between densities in TSS, TTA, and VC (Figure 2c, 2d, and 2e). Kretschmar et al. (2014) mentioned that high planting densities negatively affect the VC content in cape gooseberry fruits; however, this was not corroborated in the present investigation, as there were no differences between densities.

alta superó a la baja (Figura 1a y 1b). Quevedo-García et al. (2015) reportaron alturas de 139.5 cm con una densidad de 5000 plantas·ha<sup>-1</sup> en un sistema de espaldera tradicional. La AP alcanzada en la presente investigación (hasta 236.31 cm) se pudo deber a la competencia entre las plantas por la captación de luz en las densidades evaluadas (13861 y 27639 plantas·ha<sup>-1</sup> para baja y alta densidad, respectivamente) y por el tutoreo en espaldera simple utilizado.

En PFCC, PFSC, RT y RPP se detectaron diferencias significativas a favor de la densidad baja (Figura 1c, 1d, 1e y 1f). Gastelum-Osorio et al. (2013) reportaron mayor PFCC en densidades de 8 plantas·m<sup>-1</sup> y mayor PFSC en 4 plantas·m<sup>-1</sup>. Peña-Castillo et al. (2024) obtuvieron 16.17 t·ha<sup>-1</sup> con 4444 plantas·ha<sup>-1</sup> y 750 mL·200 L<sup>-1</sup> de biostimulante. En la presente investigación, los rendimientos fueron de 8.29 y 4.58 t·ha<sup>-1</sup> para densidad baja y alta, respectivamente.

En cuanto al diámetro del fruto, solo se observaron diferencias significativas en DP2 y DE2 para la densidad alta, y en DE3 para la densidad baja (Figura 2a y 2b). Quevedo-García et al. (2015) obtuvieron diámetros de

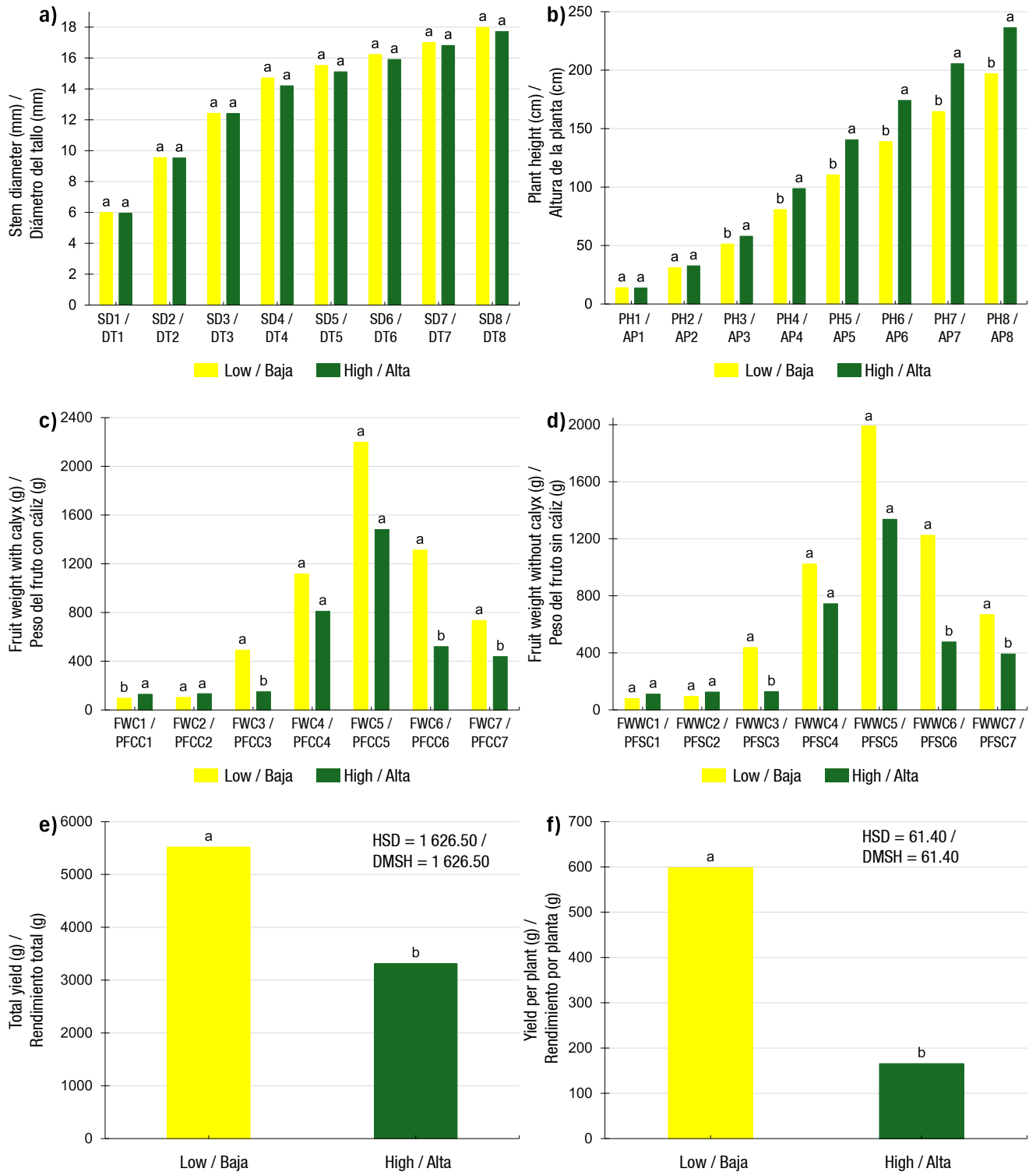


Figure 1. Comparison of means, within the density factor, of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) cultivated at two population densities. HSD: honestly significant difference. Bars with the same letter between the densities in each measurement within each variable do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 1. Comparación de medias, dentro del factor densidad, de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Barras con la misma letra entre las densidades en cada medición dentro de cada variable no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

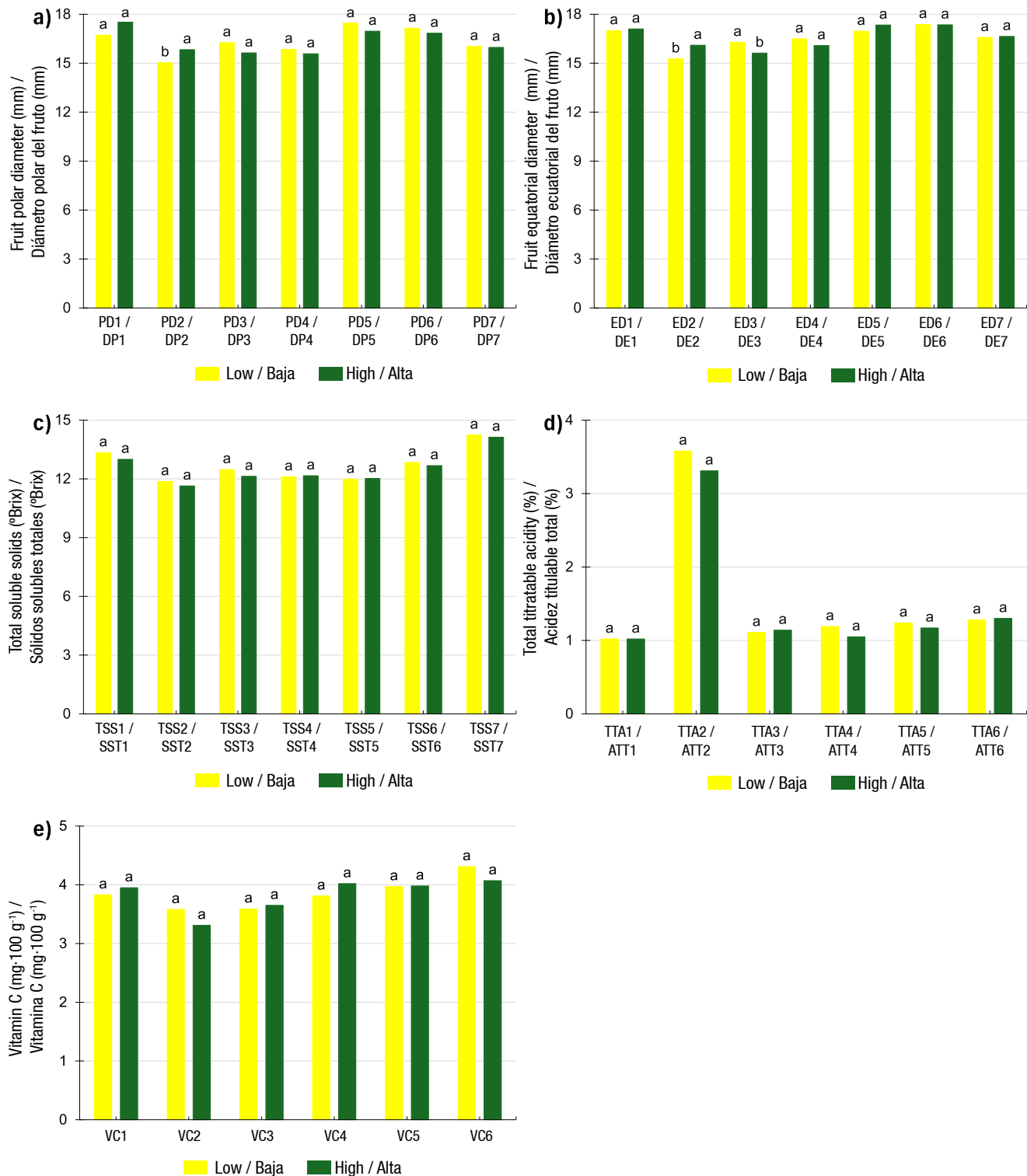


Figure 2. Comparison of means, within the density factor, of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) cultivated at two population densities. Bars with the same letter between the densities in each measurement within each variable do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 2. Comparación de medias, dentro del factor densidad, de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población. Barras con la misma letra entre las densidades en cada medición dentro de cada variable no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

### Comparison of means for variety

The Sacha variety exhibited the largest diameter starting at SD4, with a final diameter of 18.05 mm at SD8, and the greatest height at the end of the evaluations (228.87 cm) (Figures 3a and 3b). This behavior reflects its vigor and adaptation to the agronomic management system used in this study. Mora-Aguilar et al. (2006) reported stem diameters (SD) and stem lengths (SLR) of 72 to 85 cm and 1.30 to 1.33 cm, respectively, at 64 days after transplanting (DAT) in wild cape gooseberry collections, values lower than those observed in the present study. Furthermore, the final plant height of the Sacha, Modificada, and Chiclayo varieties was greater (228.87, 221.27, and 222.63 cm, respectively) than that reported by Orozco-Balbuena et al. (2021) at 52 days after transplanting (94.83, 100.92, and 100.75 cm, respectively). In contrast, the SDs reported for 'Sacha' (17-25 mm), 'Modificada' (10-18 mm), and 'Chiclayo' (17-22 mm) coincide with those reported by these authors. The greater PH could be due to the fact that the varieties were evaluated at higher population densities.

The Modificada variety tended to exhibit significantly lower values for FWC, FWWC, TY, and YPP, while 'Sacha' showed the highest YPP (451.82 g) (Figure 3c, 3d, 3e, and 3f). Peña et al. (2021) reported 7.33 t·ha<sup>-1</sup> with the Celendín ecotype, and Quevedo-García et al. (2015) obtained up to 27.7 t·ha<sup>-1</sup> with 5 000 plants·ha<sup>-1</sup> and a pigpen-type trellis system with the Colombia ecotype, and a yield per plant of 574.50 g with 2 500 plants·ha<sup>-1</sup>. In this study, 'Sacha' reached an average of 6.26 t·ha<sup>-1</sup> and 8.29 t·ha<sup>-1</sup> at low density, comparable to that obtained by Peña et al. (2021).

The Sacha variety also stood out in PD, ED, and TSS (Figures 4a, 4b, and 4c). Peña et al. (2021) reported 19.56 mm ED and 14.97 °Brix in fruits of the Celendín ecotype. Grigolo et al. (2021), for their part, obtained values of 15 °Brix in fresh cape gooseberry fruits. These results are comparable to those obtained in the present study (10 to 16 °Brix).

The Modificada variety showed the lowest values for VC (except in VC1) and TTA3 (Figures 4d and 4e). These results could be due to factors adverse to VC accumulation in the fruit, such as high temperatures inside the greenhouse or irrigation frequency. The VC values (2.49 to 4.74 mg·100 g<sup>-1</sup> of fresh fruit) are higher than those reported by Bazalar-Pereda et al. (2020) (0.34 to 1.77 mg·100 g<sup>-1</sup> of fresh fruit), although lower than those obtained by Álvarez-Herrera et al. (2014) (up to 22.5 mg·100 g<sup>-1</sup> of fresh fruit). This variation may be due to variability between plants (Grigolo et al., 2021) and agronomic management, particularly irrigation

2.193 cm con 1666 plantas·ha<sup>-1</sup>, mientras que Peña-Castillo et al. (2024) alcanzaron diámetros de 6.2 cm con la aplicación de 750 mL·200 L<sup>-1</sup> de bioestimulante y densidad de plantación de 4444 plantas·ha<sup>-1</sup>. Esto sugiere que densidades más bajas y prácticas adecuadas de manejo pueden favorecer la producción de frutos de mayor calibre.

La prueba de comparación de medias no mostró diferencias significativas entre densidades en SST, ATT y VC (Figura 2c, 2d y 2e). Kretzschmar et al. (2014) mencionan que altas densidades de siembra afectan negativamente el contenido de VC en los frutos de uchuva; sin embargo, esto no se corroboró en la presente investigación, pues no hubo diferencias entre densidades.

### Comparación de medias para variedad

La variedad Sacha presentó el mayor diámetro a partir de DT4, con diámetro final de 18.05 mm en DT8, y la mayor altura al final de las evaluaciones (228.87 cm) (Figura 3a y 3b). Este comportamiento refleja su vigor y adaptación al sistema de manejo agronómico empleado en este trabajo. Mora-Aguilar et al. (2006) reportaron AP y DT de 72 a 85 cm y de 1.30 a 1.33 cm, respectivamente, a los 64 días después del trasplante (ddt) en colectas silvestres de uchuva, valores por debajo de los observados en la presente investigación. Asimismo, la altura final de las plantas de las variedades Sacha, Modificada y Chiclayo fue superior (228.87, 221.27 y 222.63 cm, respectivamente) a la reportada por Orozco-Balbuena et al. (2021) a los 52 ddt (94.83, 100.92 y 100.75 cm, respectivamente). En contraste, los DT reportados para 'Sacha' (17-25 mm), 'Modificada' (10-18 mm) y 'Chiclayo' (17-22 mm) coinciden con los reportados por dichos autores. La mayor AP se pudo deber a que las variedades se evaluaron en densidades de población más altas.

La variedad Modificada tendió a presentar los valores significativamente más bajos de PFCC, PFSC, RT y RPP, mientras que 'Sacha' mostró el mayor RPP (451.82 g) (Figura 3c, 3d, 3e y 3f). Peña et al. (2021) reportaron 7.33 t·ha<sup>-1</sup> con el ecotipo Celendín, y Quevedo-García et al. (2015) obtuvieron hasta 27.7 t·ha<sup>-1</sup> con 5 000 plantas·ha<sup>-1</sup> y espaldera tipo chiquero con el ecotipo Colombia, y un rendimiento por planta de 574.50 g con 2 500 plantas·ha<sup>-1</sup>. En este estudio, 'Sacha' alcanzó en promedio 6.26 t·ha<sup>-1</sup> y 8.29 t·ha<sup>-1</sup> en la densidad baja, comparable con lo obtenido por Peña et al. (2021).

La variedad Sacha también destacó en DP, DE y SST (Figura 4a, 4b y 4c). Peña et al. (2021) reportaron 19.56 mm de DE y 14.97 °Brix en frutos del ecotipo Celendín. Por su parte, Grigolo et al. (2021) obtuvieron

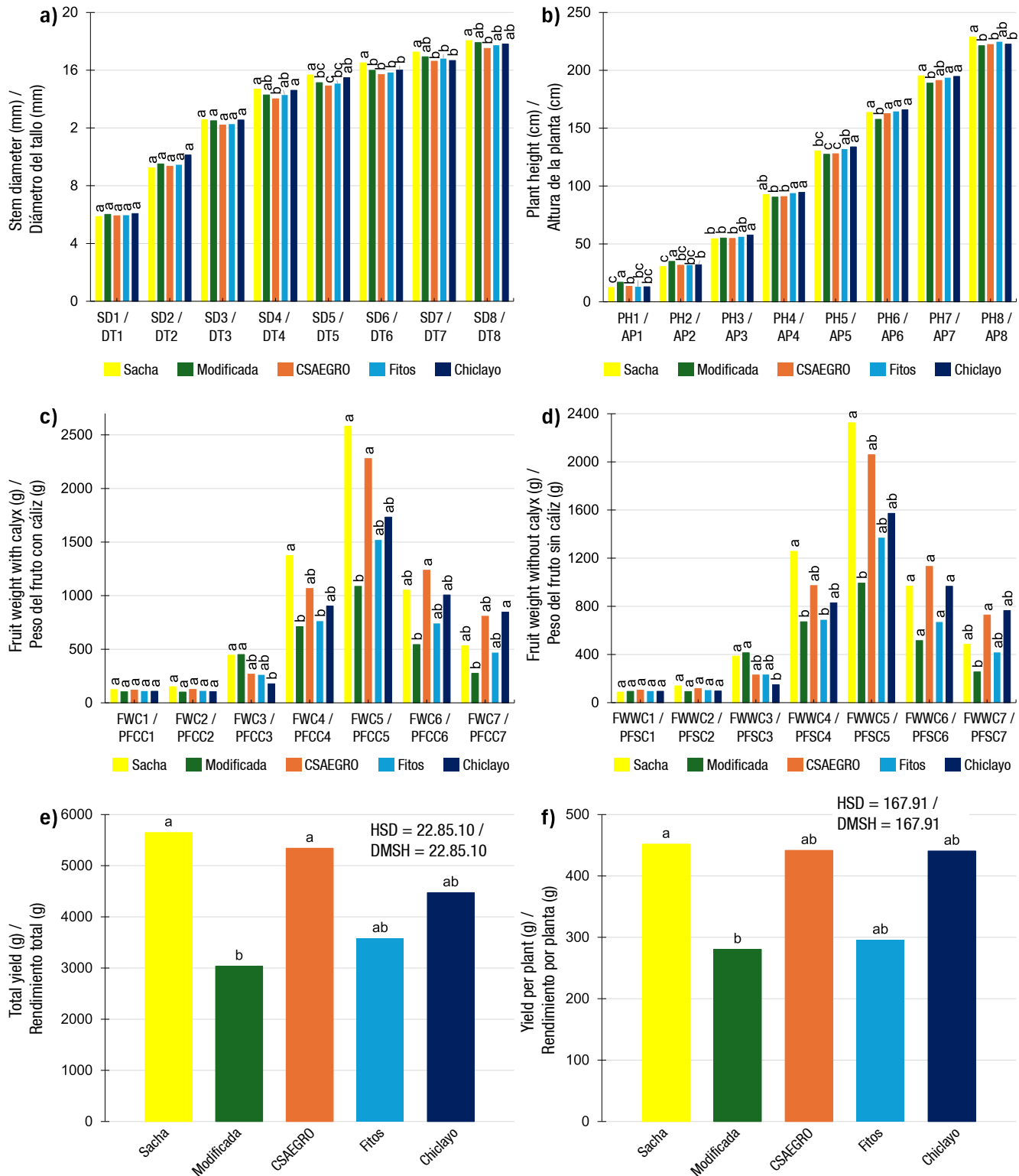


Figure 3. Comparison of means, within the variety factor, of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) cultivated at two population densities. HSD: honestly significant difference. Bars with the same letter between varieties in each measurement within each variable do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 3. Comparación de medias, dentro del factor variedad, de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Barras con la misma letra entre las variedades en cada medición dentro de cada variable no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

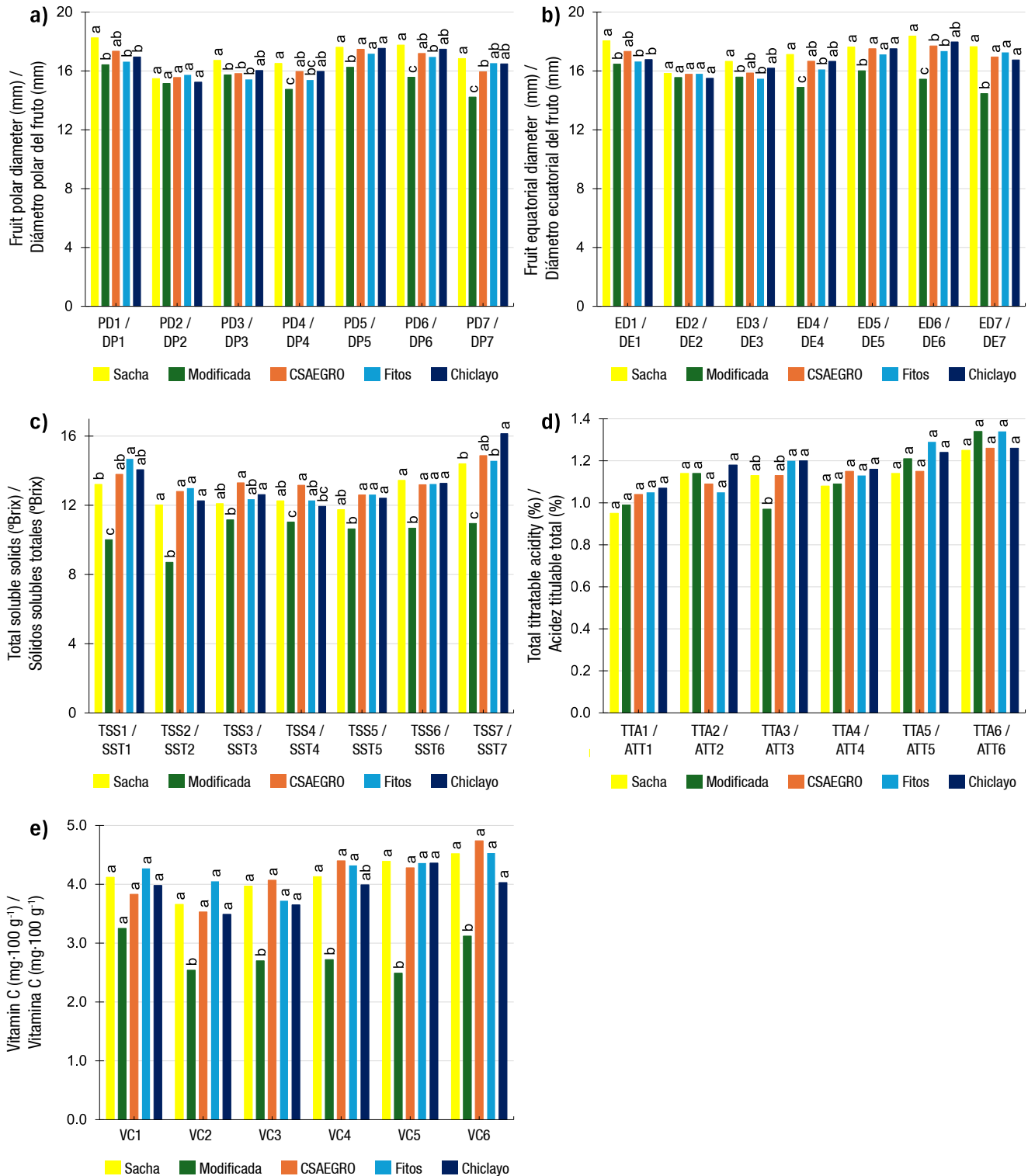


Figure 4. Comparison of means, within the variety factor, of variables evaluated in five varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) cultivated at two population densities. Bars with the same letter between varieties in each measurement within each variable do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 4. Comparación de medias, dentro del factor variedad, de variables evaluadas en cinco variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivadas en dos densidades de población. Barras con la misma letra entre las variedades en cada medición dentro de cada variable no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

frequency, since low frequencies contribute to a higher concentration of VC in the fruits (Álvarez-Herrera et al., 2014).

### Interaction analysis

Mean comparisons were performed only for variables where the density  $\times$  variety interaction was significant ( $p < 0.05$ ). The analysis focused on evaluating the performance of the varieties within each density level. In PH1, 'Modificada' showed the greatest height, with a significant difference ( $p < 0.05$ ) compared to the other varieties at both densities (Figure 5a). Likewise, 'Modificada' was statistically different at the high density in PH6 and

valores de 15 °Brix en frutos frescos de uchuva. Estos resultados son comparables a los obtenidos en la presente investigación (de 10 a 16 °Brix).

La variedad Modificada presentó los valores más bajos de VC (excepto en VC1) y ATT3 (Figura 4d y 4e). Los resultados obtenidos se podrían deber a factores adversos para la acumulación de VC en los frutos, como las temperaturas altas dentro del invernadero o la frecuencia de riego. Los valores de VC (2.49 a 4.74 mg·100 g<sup>-1</sup> de fruto fresco) son superiores a los reportados por Bazalar-Pereda et al. (2020) (0.34 a 1.77 mg·100 g<sup>-1</sup> de fruto fresco), aunque inferiores a los obtenidos por Álvarez-Herrera et al. (2014) (hasta 22.5 mg·100 g<sup>-1</sup> de fruto fresco). Esta variación se

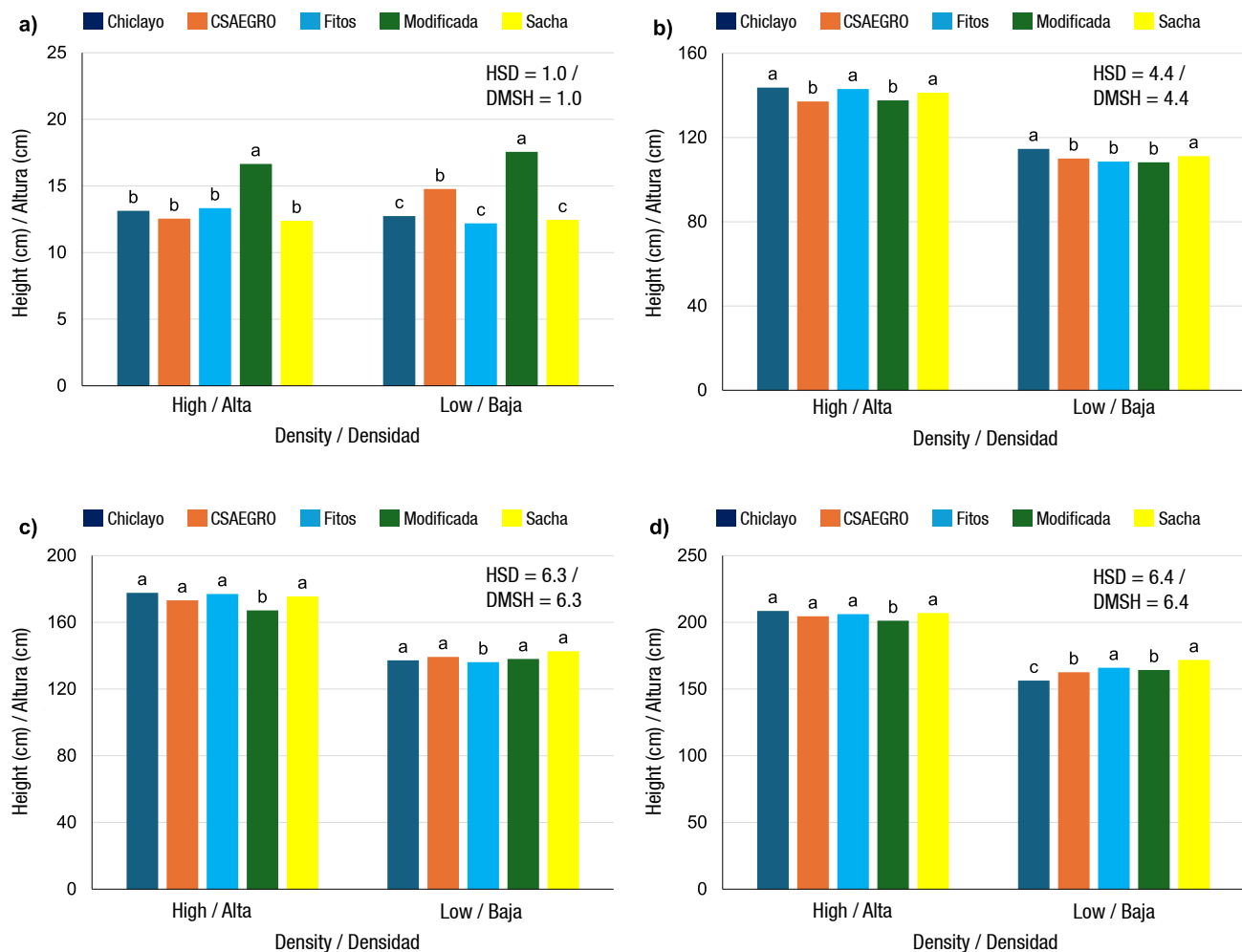


Figure 5. Comparison of means between varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) at each density: a) plant height at evaluation 1 (PH1), b) plant height at evaluation 5 (PH5), c) plant height at evaluation 6 (PH6), and d) plant height at evaluation 7 (PH7). HSD: honestly significant difference. Bars with the same letter between varieties within each density do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 5. Comparación de medias entre variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en cada densidad: a) altura de planta en la evaluación 1 (AP1), b) altura de planta en la evaluación 5 (AP5), c) altura de planta en la evaluación 6 (AP6), y d) altura de planta en la evaluación 7 (AP7). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Barras con la misma letra entre las variedades dentro de cada densidad no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

PH7 (Figures 5c and 5d), while 'Fitos' exhibited different behavior at the low density in PH6 (Figure 5c), and at the low density in PH7, 'Chiclayo' had the lowest value, with significant differences ( $p < 0.05$ ) compared to the other treatments (Figure 5d).

In FWWC3, the varieties did not differ ( $p > 0.05$ ) at high density, while at low density, 'Modificada' and 'Sacha' showed different behavior compared to the other variables ( $p < 0.05$ ), but similar behavior among themselves ( $p > 0.05$ ) (Figure 6a). For PD1 and PD4, 'Modificada' differed significantly from the other varieties at high density (Figures 6b and 6c). In contrast, at low density, 'CSAEGRO' and 'Sacha' were

puede deber a la variabilidad entre plantas (Grigolo et al., 2021) y al manejo agronómico, particularmente la frecuencia de riego, ya que frecuencias bajas contribuyen a una mayor concentración de VC en los frutos (Álvarez-Herrera et al., 2014).

### Análisis de interacciones

La comparación de medias se realizó únicamente en las variables donde la interacción densidad  $\times$  variedad fue significativa ( $p < 0.05$ ). El análisis se enfocó en evaluar el comportamiento de las variedades dentro de cada nivel de densidad. En AP1, 'Modificada' mostró la mayor altura con diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en comparación

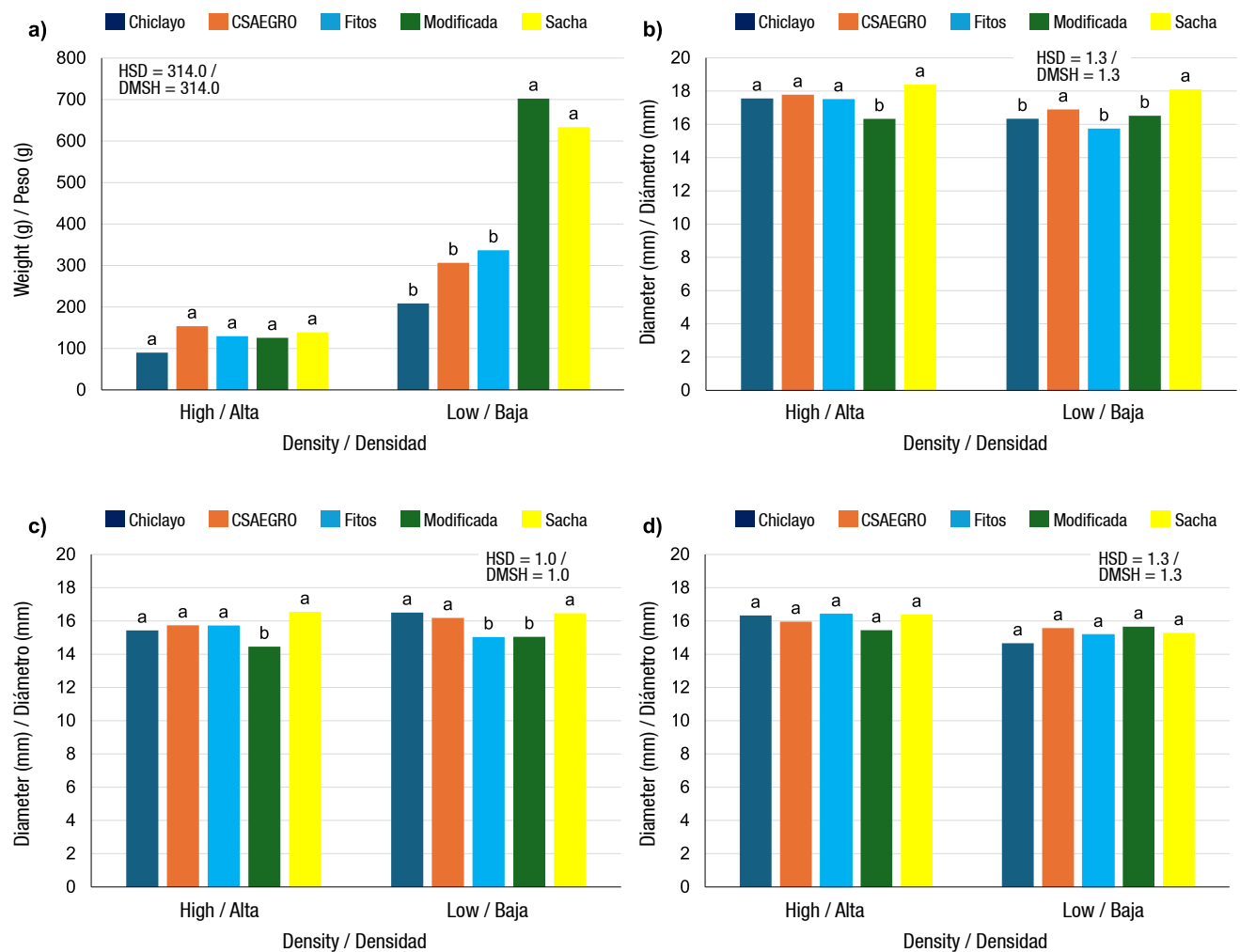


Figure 6. Comparison of means between varieties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) at each density: a) weight of fruit without calyx in evaluation 3 (FWWC3), b) polar diameter of the fruit in evaluation 1 (PD1), c) polar diameter of the fruit in evaluation 4 (PD4), and d) equatorial diameter of the fruit in evaluation 2 (ED2). HSD: honestly significant difference. Bars with the same letter between varieties within each density do not differ statistically (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Figura 6. Comparación de medias entre variedades de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en cada densidad: a) peso de fruto sin cáliz en la evaluación 3 (PFSC3), b) diámetro polar del fruto en la evaluación 1 (DP1), c) diámetro polar del fruto en la evaluación 4 (DP4), y d) diámetro ecuatorial del fruto en la evaluación 2 (DE2). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Barras con la misma letra dentro de cada densidad no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

significantly different from the other variables in PD1 (Figure 6b), while 'Fitos' and 'Modificada' were statistically inferior at low density in PD4 (Figure 6c). No differences ( $p > 0.05$ ) were detected between varieties for ED2 at any density (Figure 6d).

According to Orozco-Balbuena et al. (2021), high planting densities increase yield per hectare but reduce fruit quality in terms of weight and size. This could explain the differences between varieties within each density and highlights the genetic capacity of each variety to thrive under different levels of competition.

## Conclusions

Low density favored yield, although it reduced plant height. The Sacha variety stood out for its higher yield and fruit quality. Although no significant interaction was observed between variety and density for yield, interactions were detected between plant height and fruit size, demonstrating that the Fitos, Chiclayo, and CSAEGRO varieties respond differently to population density.

### End of English version

## References / Referencias

- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., & Vélez, J. E. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 109-121. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>
- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., Restrepo, L. P. & Quicazán, M. (2014). Contenidos de carotenoides totales y ácido ascórbico en frutos sanos y rajados de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Horticulturae*, 1016, 77-81. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.8>
- Antúñez-Ocampo, O., Sandoval-Villa, M., Alcantar-González, G., & Solís-Martínez, M. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8), 805-817. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1121>
- Asociación Nacional de Comercio Exterior (ANALDEX). (2023, February). *Dirección de asuntos económicos. Informe exportaciones de uchuva 2022*. ANALDEX. <https://www.analdex.org/2023/02/09/informe-exportaciones-de-uchuvas-2022/>
- AOAC International. (2023). *Official methods of analysis* (22 th Ed.). AOAC International. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Ávila, J. A., Moreno, P., Fischer, G., & Miranda, D. (2006). Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. *Acta Agronómica*, 55(4), 29-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920333005>

con el resto de las variedades en ambas densidades (Figura 5a). Asimismo, 'Modificada' fue estadísticamente diferente en la densidad alta en AP6 y AP7 (Figuras 5c y 5d), mientras que 'Fitos' presentó un comportamiento diferente en la densidad baja en AP6 (Figura 5c), y en la densidad baja de AP7 'Chiclayo' tuvo el valor más bajo, con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto del resto de los tratamientos (Figura 5d).

En PFSC3, las variedades no difirieron ( $p > 0.05$ ) en densidad alta, mientras que en la densidad baja 'Modificada' y 'Sacha' presentaron un comportamiento diferente al resto de las variables ( $p < 0.05$ ), pero similar entre ellas ( $p > 0.05$ ) (Figura 6a). Para DP1 y DP4, 'Modificada' difirió significativamente al resto de las variedades en la densidad alta (Figuras 6b y 6c). En cambio, en la densidad baja, 'CSAEGRO' y 'Sacha' fueron significativamente diferentes del resto de las variables en DP1 (Figura 6b), mientras que 'Fitos' y 'Modificada' fueron estadísticamente inferiores en la densidad baja en DP4 (Figura 6c). No se detectaron diferencias ( $p > 0.05$ ) entre variedades para DE2 en ninguna densidad (Figura 6d).

De acuerdo con Orozco-Balbuena et al. (2021), las altas densidades de plantación incrementan el rendimiento por hectárea, pero reducen la calidad del fruto en cuanto al peso y tamaño. Esto podría explicar las diferencias de las variedades dentro de cada densidad y deja clara la capacidad genética de cada variedad para desarrollarse en diferentes niveles de competencia.

## Conclusiones

La densidad baja favoreció el rendimiento, aunque redujo la altura de las plantas. La variedad Sacha destacó por su mayor rendimiento y calidad de fruto. Aunque no se observó interacción significativa entre variedad y densidad para el rendimiento, sí se detectaron interacciones entre la altura de la planta y el tamaño del fruto, lo cual evidenció que las variedades Fitos, Chiclayo y CSAEGRO responden de manera distinta a la densidad de población.

### Fin de la versión en español

- Bazalar-Pereda, M. S., Nazareno, M. A., & Viturro, C. I. (2020). Optimized formulation of a *Physalis peruviana* L. fruit nectar: physicochemical characterization, sensorial traits and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3267-3277. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04358-w>
- Criollo, H., Lagos, T. C., Fischer, G., Mora, L., & Zamudio, L. (2014). Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 34-43. <https://>

- revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\_hortícolas/article/view/2798/2565
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 1-15. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>
- Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). In C. P. P. Pássaro & D. A. Moreno (Eds.), *Physalis peruviana L.: Fruta Andina para el Mundo*. (pp. 29-47). CEBAS-CSIC.
- Gastelum-Osorio, D. A., Sandoval-Villa, M., Trejo-López, C., & Castro-Brindis, R. (2013). Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 197-210. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.002>
- Grigolo, C. R., de Cacia, O. M., Schroll, L. E., Ropelato, J., Oldoni, T., & Boeira, B. C. (2021). Physico-chemical characterization and antioxidant content of *Physalis* fruits. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 607-618. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2080>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1999). *Norma Técnica Colombiana 4580: Caracterización grados de madurez de la uchuva*. ICONTEC.
- Kretschmar, A. A., Muniz, J., Muniz, J. N., Pelizza, T. R., Marchi, T., & Rufato, L. (2014). The effects of harvest date, training system and spacing on physical and chemical characteristics of *Physalis* fruit. *Acta Horticulturae*, 1058, 165-173. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1058.18>
- Lagos, T. C., Alirio-Vallejo, F. & Criollo, H. (2007). Análisis de la aptitud combinatoria de algunas características del fruto de *Physalis peruviana* L. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 36-46. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14395/15206>
- Miranda, D., & Fischer, G. (2021). Avances tecnológicos en el cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. In G. Fischer, D. Miranda, S. Magnitskiy, H. E. Balaguera-López, & Z. Molano (Eds.), *Avances en el cultivo de berries en el trópico* (pp. 14-36).
- Mora-Aguilar, R., Peña-Lomelí, A., López-Gaytán, E., Ayala-Hernández, J. J., & Ponce-Aguirre, D. (2006). Agrofenología de *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 57-63. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912109>
- Orozco-Balbuena, D. I., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., & Antúnez-Ocampo, M. (2021). Phenology of four varieties of gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in greenhouses and hydroponics for its commercial production in México. *Agro Productividad*, 14(3), 3-9. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i3.1747>
- Peña, R., Gelacio, M., & Guerrero, J. (2021). Producción, calidad y rentabilidad de tres ecotipos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Manglar*, 18(3), 231-238.
- Peña-Castillo, R., Neira-Ojeda, M., Javier-Alva, J., Arévalo-Valladolid, D., Chanduvi-García, R., Lindo-Seminario, D., Vera, E., Calero-Merino, M., Quiroz, C. M., & Morales-Pizarro, A. (2024). Dosis de bioestimulante y distanciamiento de siembra en correlación con los parámetros productivos en aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1), 1-9. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5058>
- Quevedo-García, E., Sánchez-García, O., & Veloza-Sandoval, C. E. (2015). Efecto del tutorado y distancias de siembra sobre el rendimiento de *Physalis peruviana* L. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 91-99. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262015000100011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262015000100011)
- Quiroga, R. J., & Kirschbaum, D. S. (2021). *Physalis* (goldenberry): native fruit species of the sub-Andean Yungas with high cultivation potential in Argentina. *Horticultura Argentina*, 40(103), 90-114. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/b1hh3umjs>
- Rodríguez-Puertas, D., Luna-Mancilla, L. T., Campo-Quesada, J. M., Guerrero-Díaz, G. F., Meneses-Buitrago, D. H., Ramos-Zambrano, H. S., & Rincón-Manrique, L. F. (2022). Tipología de productores de uchuva en el departamento de Nariño, Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1313-1318. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2766>
- Trevisani, N., Melo, R. C., Cerutti, P. H., Pierre, P. M. O., Coimbra, J. L. M., & Guidolin, A. F. (2024). Heterotic potential for *Physalis peruviana* fruit traits in hybrid combinations. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 46, e-935 <https://doi.org/10.1590/0100-29452024935>