

CAMBIOS AGRONÓMICOS Y FISICOQUÍMICOS EN CÁLCICES DE *Hibiscus sabdariffa* EN FUNCIÓN DEL AMBIENTE Y DENSIDAD DE PLANTACIÓN

Mao Aguilar-Luna¹, Manuel Loeza-Corte² y Ángel Alcántara-Jiménez³

RESUMEN

Es escasa la información referente al potencial productivo del cultivo de *Hibiscus sabdariffa* en diferentes ambientes y densidades de plantación. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto sobre los cálices de las variedades Alma Blanca, Escarlata, Quinba y Sudán, en función del ambiente (estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla y Quintana Roo) y la densidad de 15625, 20833, 31250 y 41666 pl·ha⁻¹. Se empleó un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones y tratamientos en arreglo factorial 4x4x4. Los resultados indican que a los 200 días después del trasplante se obtuvo más del 85 % de cálices maduros (con color rojo y separación de brácteas). Sudán desarrolló cálices con mayor diámetro y peso seco por cáliz (7,42 cm y 2,61 g, respectivamente), y hasta 20 semillas por fruto en Quintana Roo a 15625 pl·ha⁻¹. El pH (2,88) y la acidez (24 %) de los extractos fueron más altos en Alma Blanca, en Oaxaca a 41666 pl·ha⁻¹; mientras que los sólidos solubles totales (85 %) y las antocianinas (4,0 mg·g⁻¹) lo fueron en Sudán, en Oaxaca a 15625 pl·ha⁻¹. Las antocianinas más importantes fueron delphinidina-3-sambubiósido y cianidina-3-sambubiósido, con 62,56 y 25,49 %, respectivamente, se obtuvieron en Sudán, en Guerrero a 15625 pl·ha⁻¹. Se concluye que la variedad, el ambiente de producción y la densidad de plantación influyen en la calidad y composición química de los cálices.

Palabras clave adicionales: Antioxidantes, antocianinas, cianidina, delphinidina

ABSTRACT

Agronomic and physicochemical changes in calyxes of *Hibiscus sabdariffa* according to the environment and the plantation density

Information regarding the productive potential of *Hibiscus sabdariffa* in different environments and planting densities is scarce. The objective of the study was to evaluate the effect on the calyxes of the Alma Blanca, Escarlata, Quinba and Sudán varieties, in various environments (Guerrero, Oaxaca, Puebla and Quintana Roo States) and densities of 15625, 20833, 31250 and 41666 pl·ha⁻¹. A randomized block design, with four repetitions, and 4x4x4 factorial arrangement of the treatments was used. The results indicate that at 200 days after transplant more than 85 % of mature calyxes (with red color and separation of bracts) were obtained. The Sudan variety developed calyxes with a larger diameter and dry weight per calyx (7.42 cm and 2.61 g, respectively), and up to 20 seeds per fruit in Quintana Roo at 15625 pl·ha⁻¹. The pH (2.88) and acidity (24 %) of the extracts were higher in Alma Blanca, in Oaxaca at 41666 pl·ha⁻¹; while total soluble solids (85 %) and anthocyanins (4.0 mg·g⁻¹) were higher in Sudan, in Oaxaca at 15625 pl·ha⁻¹. The most important anthocyanins found were delphinidin-3-sambubioside and cyanidin-3-sambubioside, with 62.56 and 25.49 %, respectively; these compounds were obtained in Sudan, in Guerrero at 15625 pl·ha⁻¹. It is concluded that the variety, the production environment, and the plant density influence the quality and chemical composition of the calyxes.

Additional keywords: Anthocyanins, antioxidants, cyanidin, delphinidin

INTRODUCCIÓN

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L., Malvaceae) es una planta arbustiva, semileñosa, anual o bianual; que alcanza de 1 a 3 m de altura. Tiene un periodo vegetativo de cuatro a cinco meses, es autógama (con 0,2 a 0,6 % de polinización cruzada) (Vaidya, 2000). Es sensible al fotoperiodo, requiere días largos para su desarrollo vegetativo y días cortos para la

inducción floral (Ariza y Gálvez, 2020). Es tetraploide y contiene 72 cromosomas que le permiten adaptarse a condiciones adversas de sequía (Nnbue et al., 2014).

Lo más destacable de la planta es el cáliz, el cual, deshidratado se usa para preparar infusiones y extractos para diversos usos industriales. Este mide de 3,2 a 5,7 cm de longitud, es típicamente rojo y consiste de cinco sépalos largos llamados epicáliz. Durante la fructificación el cáliz se

Recibido: Mayo 12, 2022

Aceptado: Enero 9, 2023

¹Ingeniería Agroforestal, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México. e-mail: mao.aguilar@correo.buap.mx (autor de correspondencia)

²Ingeniería en Agroindustrias, Universidad de la Cañada (UNCA), México. e-mail: manuel_loeza@unca.edu.mx

³Centro de Estudios Profesionales, Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), México. e-mail: aaja61@hotmail.com

alarga, se ensancha, se hace carnosos, quebradizo y succulento. Hacia la madurez del fruto, el cáliz envuelve completamente una cápsula aterciopelada de 1,25 a 2 cm de longitud. La cápsula es verde cuando está inmadura, y contiene cinco valvas unicarpelares que pueden ser esquizocárpicas en la madurez. Cada valva presenta de 3 a 4 semillas afelpadas de color café, en forma de riñón que miden de 3 a 5 mm de longitud (Das y Kumar, 2014).

El color de los cálices depende de la variedad y grado de madurez (ya que la fructificación es gradual), pueden ir desde verde-amarillento hasta rojo-oscuro; siendo los oscuros los que poseen mayor actividad antioxidante (compuestos fenólicos) (Christian y Jackson, 2009). Son seguidos por los rojos, mientras que los blancos solo tienen alto contenido de ácido ascórbico (Salinas et al., 2012). El ambiente de producción afecta la concentración de antocianinas, la cual cambia con la variedad (Juliani et al., 2009), por lo que estos factores deben considerarse en la madurez óptima de cosecha y composición fitoquímica de los extractos acuosos.

El 95 % del consumo de jamaica es en forma de cálices deshidratados (Sumaya et al., 2014). Se estima que cada año se comercializan 15 mil Mg a nivel internacional; los mayores productores son China, India, Tailandia, Sudán, Taiwán, México y Jamaica. En México se cultivan cerca de 20 mil ha, con rendimientos de 0,37 a 0,60 Mg·ha⁻¹ y precios hasta 9,77 USD·kg⁻¹, siendo el mayor productor el estado de Guerrero, con alrededor de 14 mil ha de jamaica, lo cual representa más del 75 % de la producción nacional (Hernández et al., 2021).

Diversos trabajos han abordado el sistema de producción de jamaica (Richardson y Arlotta, 2021), el crecimiento y calidad (Liu et al., 2021), la caracterización morfológica (Hidalgo et al., 2009), la actividad antioxidante y el color (Camelo et al., 2016), el secado de cálices (Chai et al., 2018), la composición fitoquímica de extractos y la acción farmacológica (Jeffery y Richardson, 2021). Sin embargo, es escasa la información referente al potencial del cultivo en diferentes ambientes de producción, rendimiento, nutrición, densidad de plantación, momento óptimo de cosecha, lo cual se complica debido a la amplitud de variedades criollas, en las diferentes latitudes (Hidalgo et al., 2009; Torres et al., 2011; Ariza et

al., 2014).

El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios agronómicos y fisicoquímicos en cálices de jamaica (Alma Blanca, Escarlata de Chiautla, Quinba R-TC y Sudán), en función del ambiente de producción y la densidad de plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales. El cultivo se estableció en junio de 2020, en cuatro sitios experimentales en varios estados de México (Cuadro 1). Las semillas fueron sembradas en bandejas de germinación usando turba de musgo como sustrato, para posteriormente realizar el trasplante a los 35 días y cortando la yema apical para promover más tallos con mayor número de flores. Cada parcela experimental consistió de 16 surcos de 20 m de largo: cuatro con distancia entre plantas a 30 x 80 cm (41666 pl·ha⁻¹), cuatro a 40 x 80 cm (31250 pl·ha⁻¹), cuatro a 60 x 80 cm (20833 pl·ha⁻¹) y cuatro a 80 x 80 cm (15625 pl·ha⁻¹). Las plantas se fertilizaron con dos aplicaciones de 17-17-17 kg·ha⁻¹ de N-P-K, la primera al momento del trasplante y la segunda 45 días después.

Tratamientos y diseño experimental. Resultaron al combinar densidades de plantación-DP (15625, 20833, 31250 y 41666 pl·ha⁻¹), variedades-V (Alma Blanca, Escarlata de Chiautla, Quinba R-TC y Sudán) y ambientes de producción-AP (estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla y Quintana Roo). El experimento tuvo un diseño factorial 4x4x4, en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Las plantas se mantuvieron en condiciones de campo y se cuidó su condición fitosanitaria (aunque no se presentaron plagas ni enfermedades). Los cálices maduros se cosecharon manualmente a los 200 días después del trasplante; posteriormente se secaron en una estufa de circulación de aire forzado a 50 °C durante 48 h.

Variables agronómicas. Las mediciones agronómicas se hicieron en todos los bloques, en cuatro plantas al azar por tratamiento; evaluando el número de cálices por planta, diámetro del cáliz, peso seco y número de semillas del cáliz.

Variables fisicoquímicas.

Color de los cálices. De una muestra correspondiente al 20 % de cálices deshidratados de cada tratamiento, se procedió a molerlos con un molino de cuchillas; para posteriormente pasar

este polvo por una malla de 0,5 mm hasta obtener 15 g de una harina fina. La muestra se colocó y compactó dentro de un contenedor circular de plástico blanco de 4 cm de diámetro y 1 cm de profundidad. La medición del color se hizo sobre la superficie compactada mediante un medidor de colorimetría CR-400, Konica Minolta. Se

obtuvieron los valores B (brillo), a* y b* (coordenadas de cromaticidad), el valor +a* significa que la muestra tiende al rojo; -a* al verde; +b* al amarillo y -b* al azul. A partir de estos datos se calculó el ángulo H (matiz) y el índice de C (saturación), de acuerdo con la metodología descrita por Salinas et al. (2005).

Cuadro 1. Sitios experimentales para el cultivo de *Hibiscus sabdariffa* en México

Sitio (estado)	Responsable	Latitud		Altitud (m)	Tmáx/Tmín (°C)	PMA (mm)	Tipo	Clima (Köppen)
		N	W					
Cocula (G)	CSAEGRO	18°20'	99°32'	728	30,00/17,66	729	C/S	Aw0(i')
T. de Flores M. (O)	UNCA	18°08'	97°05'	888	27,08/15,66	600	C/S	BS1(h')
Ch. de Tapia (P)	F. Sánchez Vázquez	18°17'	98°36'	1022	29,50/14,25	992	C/SH	Aw1(w)
F. Carrillo P. (Q)	J.M.E. Aguilar Luna	19°08'	88°09'	37	30,75/21,50	1215	C/H	Aw1(x')

(G): Guerrero; (O): Oaxaca; (P): Puebla; (Q): Quintana Roo; Tmáx/Tmín: temperatura diaria media máxima y mínima. PMA: precipitación media anual; C/S: cálido seco; C/SH: cálido sub húmedo; C/H: cálido húmedo

Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales (SST). Estas determinaciones se realizaron por duplicado (para disminuir el error) en los extractos obtenidos a los 30 min de ebullición (75 °C de temperatura constante), utilizando 10 g de cálices enteros base seca en 200 mL de agua destilada. Posteriormente se separaron los sólidos por filtración, se juntaron las réplicas y se aforó a 400 mL con agua destilada; esta muestra fue la utilizada para las determinaciones. El pH se midió con un potenciómetro Hanna Instruments, modelo pHep 1 con $\pm 0,1$ de precisión. Para la determinación de la acidez se siguió la metodología AOAC (método 942,15) (Latimer, 2012), preparando las muestras según las indicaciones para soluciones ligeramente coloreadas; se tituló con NaOH 0,1 M, usando el pH de viraje de la fenolftaleína (8,3) como punto final de la titulación. Para medir los SST se utilizó un refractómetro digital Hanna Instruments.

Antocianinas totales. Se extrajeron a partir de 1 g de muestra molida a la que se añadieron 20 mL de metanol acidificado al 1 % con ácido trifluoroacético (Merck) al 99 % y se mantuvieron durante 24 h en condiciones de refrigeración. Posteriormente se realizaron dos extracciones adicionales en la misma muestra extraída con ácido trifluoroacético, empleando como disolvente una mezcla de metanol, ácido acético y agua (10:1:9 v/v/v); el metanol y ácido acético, fueron grado HPLC (Sigma-Aldrich), mientras que el agua fue de calidad Milli Q obtenida de un sistema de bi-distilación Millipore. Las extracciones fueron

mantenidas bajo agitación horizontal, a temperatura ambiente durante 24 h cada una. La concentración se obtuvo midiendo la absorbancia de los extractos (previamente filtrados con papel Whatman #5), utilizando un espectrofotómetro UV/Visible Perkin Elmer Lambda 25, conforme a lo descrito por Salinas et al. (2003), y por ser las más abundantes en jamaica, solo se cuantificó la delfinidina-3-sambubiósido y la cianidina-3-sambubiósido. Se trabajó con una muestra de cada tratamiento (en la selección de plantas y cálices utilizados ya se había realizado un muestreo aleatorio para disminuir el error experimental); para determinar el porcentaje de antocianinas mediante HPLC, empleando un equipo Merck-Hitachi modelo L-6200, dotado de una columna LiChrospher 100 RP-8 (25 cm de longitud, 4 mm \varnothing y 5 μ m). Las inyecciones se realizaron por triplicado y como fase móvil se empleó una mezcla de metanol: ácido acético: agua (25:1:75), con el detector UV/Visible a una longitud de onda de 287 nm manteniendo la columna a 30 °C, a un flujo en la fase móvil de 1 mL·min⁻¹; el volumen de inyección fue de 20 mL y el tiempo de corrida fue de 22 min (Salinas et al., 2005; Doffinger et al., 2011).

Actividad antioxidante. Se utilizó el método de estabilización del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) que se basa en la medición de la habilidad de los compuestos antioxidantes para reducir el DPPH a partir del decremento en absorbancia de la reacción, en función del tiempo (Prior et al., 2005). De los extractos obtenidos a los 30 min de

ebullición, se preparó una solución ajustada a una concentración de 100 mg de antocianinas·mL⁻¹ con agua destilada. También se preparó una solución de ácido gálico disuelto en metanol a una concentración de 100 mg·mL⁻¹, para utilizarla como patrón de referencia.

Para el seguimiento de la reacción se utilizó una solución 200 mM de DPPH disuelto en metanol al 80 %. Las mediciones se llevaron a cabo en un espectrofotómetro UV/Visible Perkin Elmer Lambda 25. Se colocaron 2950 µL de la solución de DPPH más 50 µL de la solución a analizar y se midió la absorbancia de la muestra cada 2 min durante 30 min a 515 nm. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de DPPH reducido por las diferentes muestras, de acuerdo con lo descrito por Soler et al. (2000).

Análisis estadístico. La asignación de tratamientos a las unidades experimentales fue en bloques y con los datos obtenidos se realizaron ANOVA's. Se utilizó la transformación Box-Cox en las variables que no cumplieron el supuesto de normalidad. Cuando se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos, se hicieron pruebas de comparación de medias de Tukey empleando el programa RStudio versión 1.4.1717.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios agronómicos. A los 200 días después del trasplante, se obtuvo más del 85 % de cálices maduros de jamaica (con color rojo y separación de brácteas), los cuales presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) del efecto principal del factor densidad de plantación (Figura 1A), y de la interacción variedad \times ambiente (Figura 1B). Se desarrollaron hasta 169 cálices por planta en Alma Blanca, con DP alta (41666 pl·ha⁻¹), en un ambiente cálido seco (Oaxaca); es decir, hasta casi siete veces más que en la variedad menos productiva (25 cálices en Quinba R-TC, con la menor DP en Guerrero). De manera general, se observó que a mayor DP también hubo mayor número de cálices por planta (aunque fueron cálices de menor diámetro y menor peso seco), en todas las variedades.

En el caso del diámetro de los cálices, se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) del efecto principal del factor densidad de plantación (Figura 2A), y de la interacción variedad \times ambiente (Figura 2B). No hubo interacción alguna

en la variable número de semillas (Figura 3A, B, C). La variable peso seco del cáliz presentó significancias estadísticas iguales al número y diámetro del cáliz (Figura 4A, B).

A la densidad de 15625 pl·ha⁻¹ (DP baja), en Sudán y en un ambiente cálido húmedo (Quintana Roo), los promedios en diámetro de cáliz (7,42 cm), número de semillas por cáliz (20 semillas) y peso seco (2,61 g), fueron superiores respecto de las otras variedades; lo cual sugiere que independientemente de la variedad, las plantas se desarrollan mejor en ambientes cálidos húmedos a DP bajas.

En una DP baja (15625 pl·ha⁻¹), los diámetros del cáliz fueron mayores, con más semillas y mayor peso seco. En este sentido, Khattak et al. (2016) afirmaron que la DP se relaciona inversamente con variables como altura de planta, diámetro de copa, número de ramas y peso seco de cálices y de semillas. La DP es de gran trascendencia ya que es un factor agronómico de

manejo, que influye en el rendimiento de un cultivo, y tiene un efecto en todas las etapas del desarrollo debido a la competencia intraespecífica. Como una observación de utilidad, es recomendable que la cosecha se realice luego que la flor haya caído y antes de la dehiscencia del fruto (20 a 24 días después de anthesis). Esto debido a que mientras más tiempo pasen juntos el cáliz y el fruto en maduración, más susceptible será aquél a daños mecánicos, resquebrajamiento por el sol y deterioro en su calidad.

De manera similar a lo reportado por (Ramírez-Cortés et al., 2011), en las variedades empleadas en esta investigación, los cálices de mayor tamaño se localizaron en la parte distal de las ramas de primer orden y se desarrollaron de flores precoces, mientras que los pequeños tuvieron su origen en las tardías.

Color. En el Cuadro 2 se observa que Alma Blanca (con cálices blancos) fue la que generó atributos más altos en brillo (B), matiz (H) y saturación de color (C), a 15625 pl·ha⁻¹ en ambientes cálidos húmedos (Quintana Roo). Es decir, a medida que la densidad fue más alta, los atributos disminuyeron, independientemente de la variedad. De igual forma, el ambiente tuvo un efecto importante, ya que entre más seco fue (Oaxaca), estas cualidades disminuyeron.

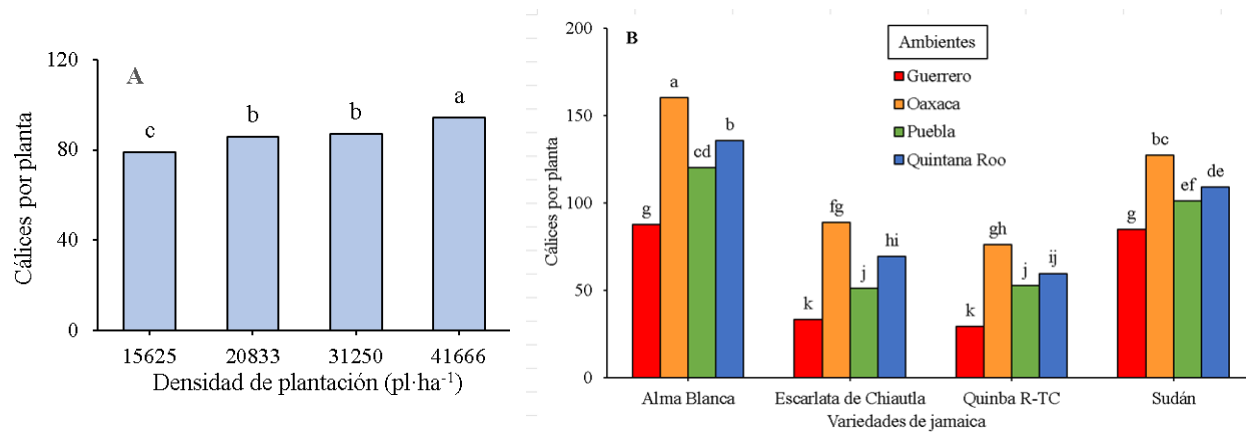


Figura 1. Número de cálices por planta en *Hibiscus sabdariffa* en función de: A) Densidad de plantación, y B) Interacción de la variedad \times ambiente de producción. Letras distintas en las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

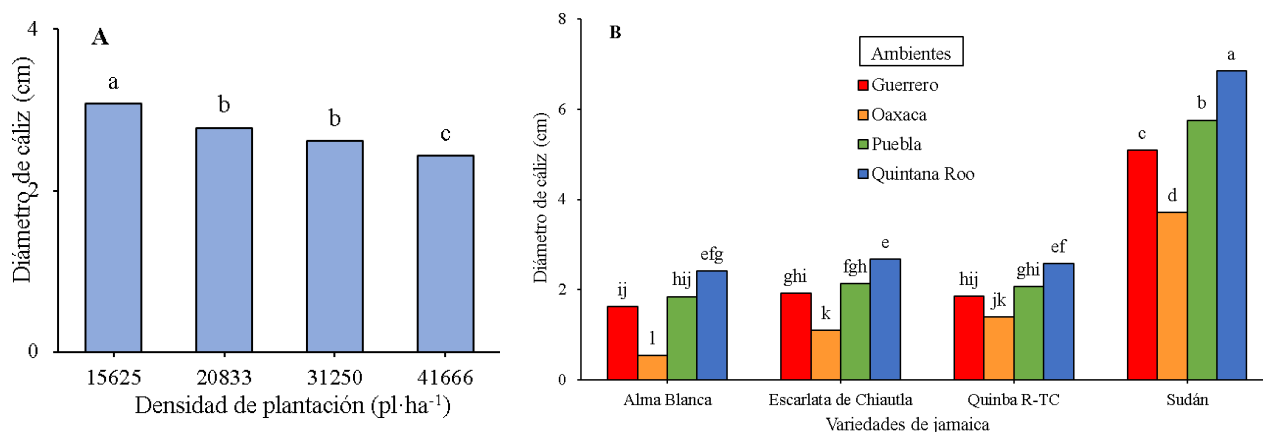


Figura 2. Diámetro de cálices por planta en *Hibiscus sabdariffa* en función de: A) Densidad de plantación, y B) Interacción de la variedad \times ambiente de producción. Letras distintas en las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Los atributos del color son importantes al evaluar la calidad de los cálices; su pigmentación se encuentra en las vacuolas o en lípidos ubicados en el citoplasma de la epidermis. Un factor relevante en la calidad del producto, es el proceso de secado ya que reduce terpenos, algunos aldehídos y ésteres. Según Juhari et al. (2021) un mal secado puede disminuir los olores afrutados, acaramelados y florales del cáliz de la jamaica, por lo cual recomiendan que este proceso se realice por liofilización. El color observado en los cálices de la jamaica, concuerda con lo referido por Christian y Jackson (2009), Salinas et al. (2012) y Camelo et al. (2016), quienes obtuvieron

resultados similares para los tres grupos (oscuros, claros y blancos). La variedad Sudán presentó un color rojo oscuro, lo cual refiere a un mayor contenido de antocianinas monoméricas y actividad antioxidante, seguido de las rojo claro (Escarlata de Chiautla y Quinba R-TC). Alma Blanca no las presentó, ya que la clorofila fue su pigmento más abundante, con una máxima absorción a 664 nm (Wu et al., 2018).

Cambios químicos. Hubo cambios en pH y acidez de los extractos de cálices de jamaica, influenciados por la interacción triple DP:V:AP ($P \leq 0,05$) (Figura 5). El pH (2,88) y la acidez (24 %) fueron superiores en Alma Blanca, cuando la

DP fue muy alta ($41666 \text{ pl}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el ambiente de producción cálido seco (Oaxaca). En general, los valores de pH oscilaron de 2,03 a 2,88 y la acidez

de 14 a 24 %; a medida que la DP fue mayor y el ambiente fue más seco.

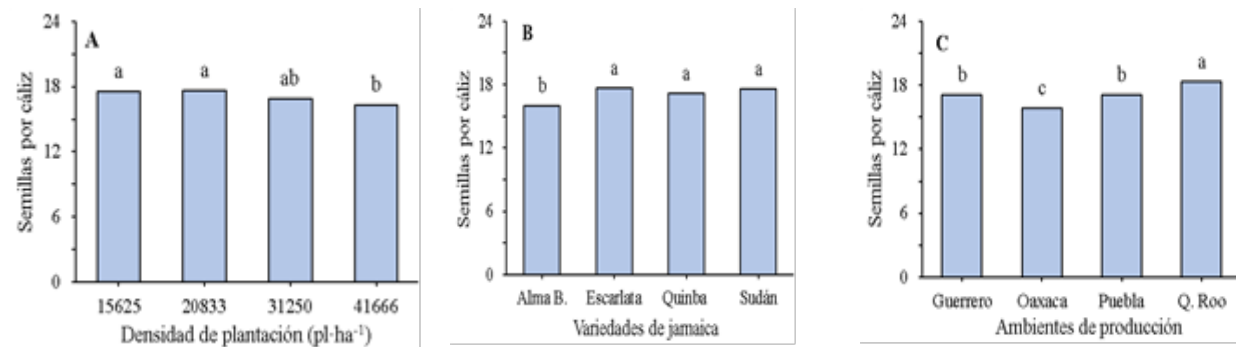


Figura 3. Número de semillas en cáliz de *Hibiscus sabdariffa* en función de: A) Densidad de plantación, B) Variedades, y C) Ambiente de producción. Letras distintas en las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

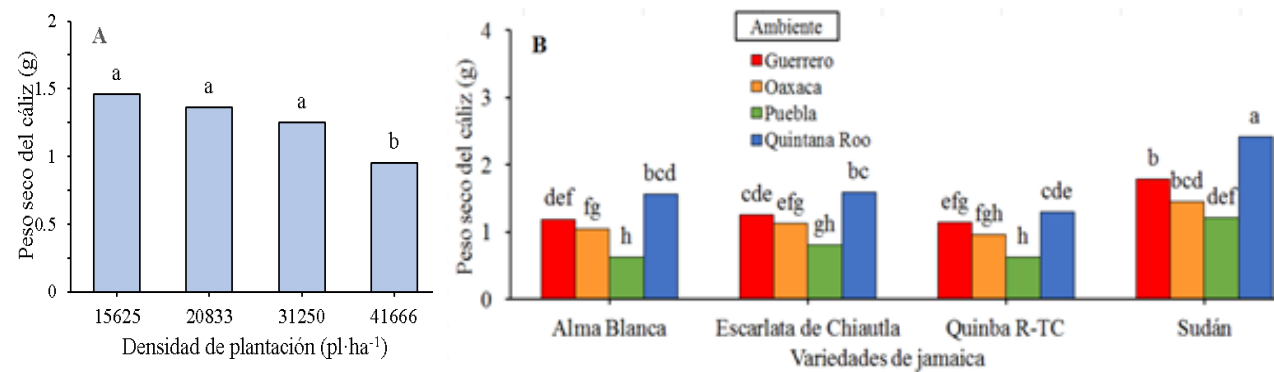


Figura 4. Peso seco del cáliz de *Hibiscus sabdariffa* en función de: A) Densidad de plantación, y B) Interacción de la variedad x ambiente de producción. Letras distintas en las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El pH es fundamental en la estabilidad del color, pues determina la estructura química de las antocianinas en los extractos. En las variedades aquí estudiadas, el pH fue menor a 3, lo cual es importante, porque según Ramírez-Rodríguez et al. (2011) y Wu et al. (2018) le confiere un rojo brillante y mayor estabilidad al concentrado.

La variación detectada en la acidez podría explicarse por la exposición de la planta respecto al sol, al momento de la cosecha, la madurez de la flor o el manejo postcosecha (Marak et al., 2021). La acidez está directamente relacionada con los ácidos orgánicos presentes en los extractos (Tsai et al., 2002). Respecto a esto, Jaakola et al. (2002) señalaron que la biosíntesis de ácidos orgánicos

está altamente regulada a nivel de genes, pero también responde a diferentes señales del desarrollo y el ambiente.

En un estudio extenso realizado por Ramírez-Cortés et al. (2011), en tres variedades de jamaica, obtuvieron un pH de 2,47, el cual indicó la presencia de ácidos orgánicos (cítrico, málico y tartárico), y concluyeron que el periodo óptimo de cosecha (20 a 24 días) modifica los valores de respuesta. Es de destacar que se observa una ligera asociación directa entre el pH y la acidez (Figura 5), aunque no se encontró una explicación clara por esta tendencia aparentemente contradictoria.

Con relación a los SST se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) del efecto

principal del factor ambiente de producción (Figura 6A), y de la interacción densidad x variedad (Figura 6B). Se infiere que esta variable está ligada al ambiente donde se cultiva la planta, y que en cada sitio tienen importancia el factor genético y la densidad de plantación. Con relación a esto último, es posible que a mayor competencia intraespecífica, las plantas sintetizan menos fotoasimilados y los utilicen para la obtención de

energía en lugar de almacenarlos. La distribución de fotoasimilados se relaciona estrechamente con un sistema fuente-demanda, siendo prioritaria la etapa reproductiva (flores, frutos y semillas). Valores altos en SST pueden atribuirse a un tiempo de secado prolongado y posiblemente a la actividad de las enzimas pécticas del epicáliz, responsables del deterioro (Juhari et al., 2021).

Cuadro 2. Atributos de color en cálices (deshidratados y molidos) de variedades de *Hibiscus sabdariffa* en función del ambiente de producción y la densidad de plantación

Variedad	15625 pl·ha ⁻¹			20833 pl·ha ⁻¹			31250 pl·ha ⁻¹			41666 pl·ha ⁻¹		
	B (%)	H (h°)	C	B (%)	H (h°)	C	B (%)	H (h°)	C	B (%)	H (h°)	C
Cocula, Guerrero												
Al	44,4 i	47,1 e	24,5 d	43,3 i	47,0 e	24,0 d	43,0 i	46,0 e	24,0 d	42,9 i	46,0 e	23,8 d
Es	40,4 n	42,0 j	23,0 d	40,1 o	41,3 k	22,4 d	39,0 r	33,7 r	22,4 d	32,0 s	30,2 s	21,0 e
Qu	42,6 j	42,0 j	23,9 d	42,0 k	41,0 k	23,2 d	41,6 l	40,4 m	22,7 d	40,7 m	40,0 m	22,1 e
Su	33,5 s	30,5 s	21,3 e	32,2 s	30,4 s	20,4 e	31,5 t	30,2 s	20,0 e	31,5 t	30,0 s	20,0 e
Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca												
Al	42,0 j	44,0 g	21,5 e	42,0 j	43,1 i	20,5 e	41,9 k	43,0 i	20,3 e	40,9 m	43,0 i	19,9 e
Es	40,0 p	34,0 r	20,5 e	39,2 q	34,0 r	20,4 e	32,9 s	30,3 s	20,0 e	30,9 u	30,2 s	18,8 f
Qu	40,5 n	40,5 l	20,2 e	40,2 o	39,2 o	20,1 e	40,1 o	38,3 p	19,2 f	40,1 o	36,4 q	19,1 f
Su	33,0 s	30,2 s	18,7 f	31,7 s	29,5 s	18,2 f	31,2 t	29,5 s	18,0 f	30,1 v	29,4 s	18,0 f
Chiautla de Tapia, Puebla												
Al	63,0 c	67,7 c	31,5 a	62,0 c	67,5 c	30,5 a	62,0 c	67,3 c	30,3 a	61,9 c	66,0 d	30,0 a
Es	51,1 f	41,0 k	23,0 d	50,9 f	40,4 m	23,0 d	50,1 g	40,3 m	22,9 d	50,0 g	40,2 m	22,4 d
Qu	53,0 e	42,2 j	24,9 c	53,0 e	42,0 j	24,2 c	51,8 e	40,9 k	24,2 c	51,7 e	40,4 m	23,9 d
Su	43,5 i	40,0 m	23,0 d	42,7 j	39,5 n	22,7 d	42,2 j	39,5 n	21,6 e	41,5 l	38,2 p	21,0 e
Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo												
Al	67,4 a	72,7 a	32,5 a	67,0 a	72,5 a	32,5 a	66,9 a	71,9 a	32,0 a	66,0 b	70,0 b	32,0 a
Es	55,9 d	44,4 g	25,8 c	55,4 d	44,3 g	25,7 c	55,1 d	44,2 g	25,4 c	55,0 d	44,0 h	24,9 c
Qu	56,0 d	45,0 f	25,9 c	55,8 d	45,0 f	25,9 c	55,7 d	44,9 f	25,5 c	54,8 d	44,8 f	25,2 c
Su	46,7 h	45,5 f	25,6 c	46,5 h	45,5 f	24,6 c	46,5 h	45,2 f	24,0 d	46,2 h	44,0 h	23,9 d

Al: Alma Blanca; Es: Escarlata de Chiautla; Qu: Quimba R-TC; Su: Sudán. B: brillo. H: matiz. C: saturación del color. Medias con distinta letra dentro de la columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Antocianinas. Las antocianinas (pigmentos hidrosolubles rojos y violetas), son glucósidos que se hallan en las vacuolas de las células vegetales (Khoo et al., 2017) y les confieren el color rojo característico a los cálices (excepto al grupo de los blancos) (Tsai et al., 2002). En las antocianinas, se hallaron diferencias significativas para la interacción triple DP:V:AP ($P \leq 0,05$), donde la variedad Sudán en ambiente cálido seco (Oaxaca) con la menor DP (15625 pl·ha⁻¹) alcanzó la mayor concentración del pigmento con 4,0 mg·g⁻¹ (Figura 7). En general, las concentraciones estuvieron dentro del rango de 2 a 11 mg·g⁻¹

reportado por Ramírez-Cortés et al. (2011), y cercanos a los valores de 5.9 mg·g⁻¹ de Andreea et al. (2018), 3.37 mg·g⁻¹ de la antocianina betaína de Marak et al. (2021), y 2,05 mg·g⁻¹ de Yin et al. (2013). Sólo fueron inferiores al valor 22,68 de Apáez et al. (2018), lo cual pudiera atribuirse al método empleado en la extracción del pigmento. En general, las antocianinas aumentaron en los extractos de todas las variedades a medida que la DP disminuyó y el ambiente fue más seco.

El porcentaje relativo más alto de delfinidina-3-sambubiósido (D3S = 62,56 %) y cianidina-3-sambubiósido (C3S = 25,49 %), se obtuvo en

Sudán a 15625 pl·ha⁻¹ (DP baja) y ambiente seco (Guerrero), mientras que, valores bajos se encontraron en Alma Blanca (6,16 y 3,13 % de

D3S y C3S, respectivamente) a 41666 pl·ha⁻¹ (DP alta) y ambiente húmedo (Quintana Roo) (Cuadro 3).

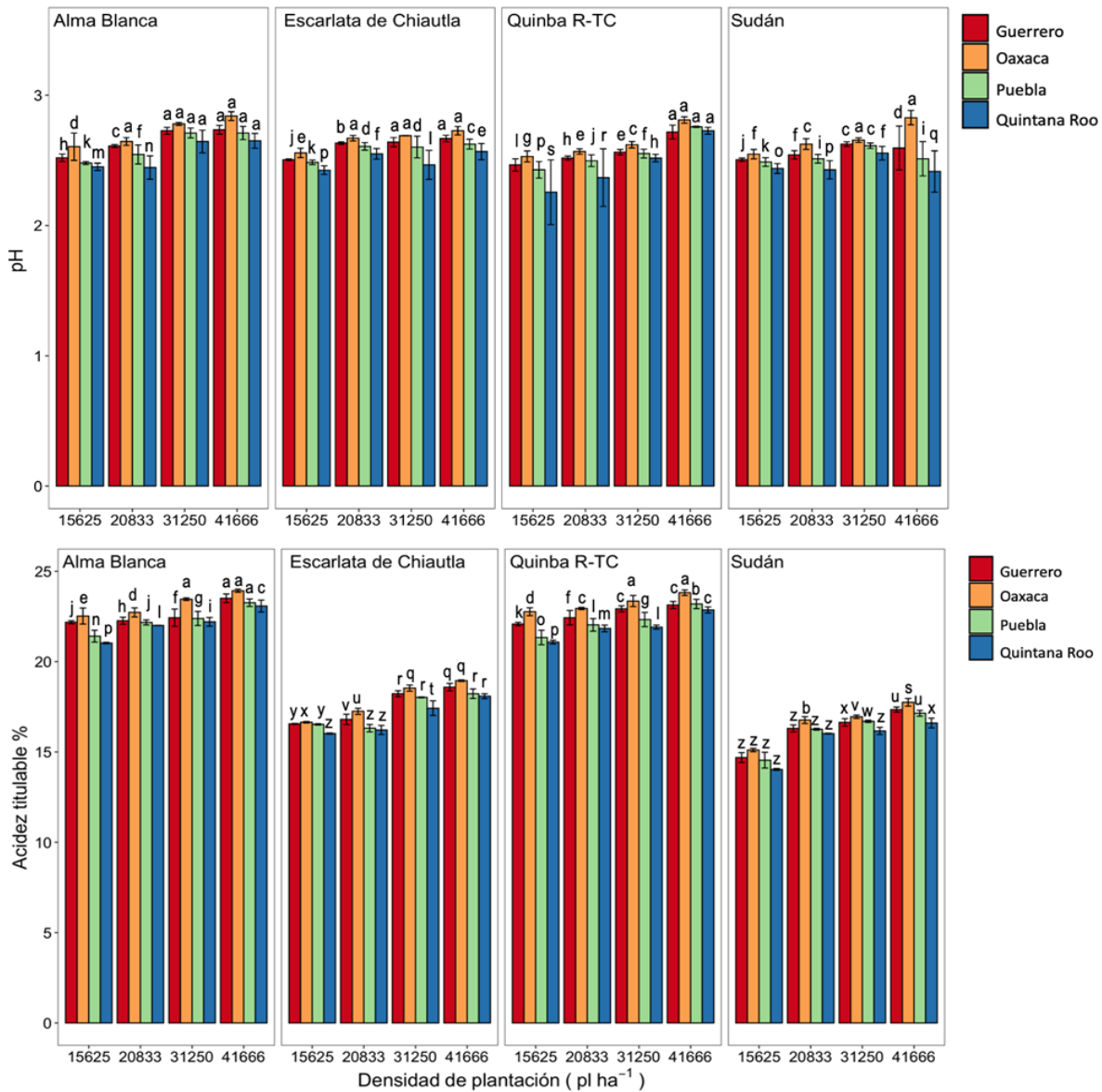


Figura 5. Valores de pH y acidez en cálices de *Hibiscus sabdariffa* en función de la densidad de plantación, la variedad y el ambiente de producción. Letras distintas sobre las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Esta reducción puede explicarse por los tonos blancos de Alma Blanca y que a mayor DP hubo menor contenido de D3S y C3S, donde los ambientes cálidos secos (Guerrero y Oaxaca), acentuaron mejor el color rojo característico de la jamaica. Lo anterior evidencia que la producción de antocianinas fue influenciada por la DP, la variedad y el ambiente de producción.

La variedad Sudán tuvo un contenido de antocianinas casi dos veces superior al de Quinba R-TC y Escarlata de Chiautla y hasta cuatro veces superior al de Alma Blanca, lo cual difiere de lo obtenido por Salinas et al. (2012), quienes destacan que Sudán superó en aproximadamente 60 veces a Alma Blanca. Ramírez-Cortés et al. (2011) encontraron que los valores aumentan

conforme a la edad de la flor, alcanzando su máximo a los 60 días, y posteriormente empiezan a descender cuando las semillas ya están maduras. En los cálices de jamaica, las antocianinas más importantes fueron D3S y C3S, confirmado así por los experimentos de Camelo et al. (2016) y Jeffery y Richardson (2021). Independientemente del sitio donde se cultivó, Sudán fue la que obtuvo los valores más altos en DP bajas; sin embargo,

algunos estudios reportan valores bajos para las variedades cultivadas en México y Senegal (Ramírez et al., 2012; Camelo et al., 2016). Lo anterior podría atribuirse a la complejidad química o al método de extracción (Jaakola et al., 2002; Chai et al., 2018), y a la diversidad de materiales criollos, al ambiente de producción y al almacenamiento (Torres et al., 2011)

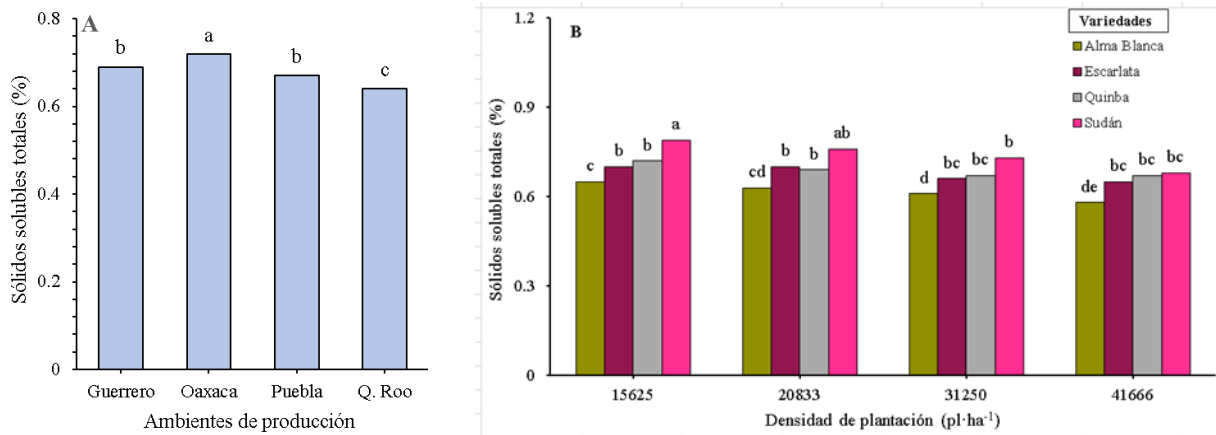


Figura 6. Sólidos solubles totales del cáliz de *Hibiscus sabdariffa* en función de: A) Ambiente de producción, y B) Interacción de la densidad de plantación x variedad. Letras distintas en las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

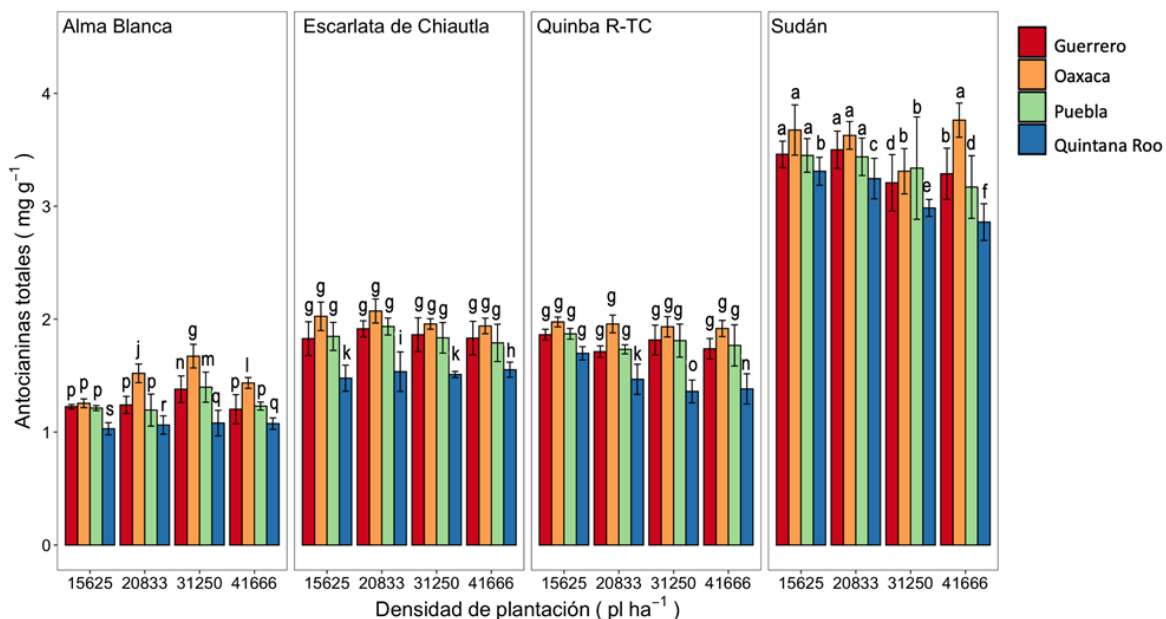


Figura 7. Concentración de antocianinas en cálices de *Hibiscus sabdariffa* en función de la densidad de plantación, la variedad y el ambiente de producción. Letras distintas sobre las barras indican diferencias entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Actividad antioxidante. Los extractos de cálices de jamaica tuvieron la mayor actividad antioxidante en Sudán, llegando a reducir un 93 % del DPPH a los 30 min de decocción, a 15625 pl·ha⁻¹ (DP baja) y ambiente semi-húmedo (Puebla) (Figura 8). Valores bajos se obtuvieron en Alma Blanca (40,68 % del DPPH a los 30 min

de decocción), en ambiente seco (Oaxaca), lo cual representa una disminución del 56,25 %, con respecto del valor más alto, debido al color blanco de los cálices en esta variedad. Los resultados obtenidos sugieren que a menor DP hubo mayor actividad antioxidante, independientemente de la variedad.

Cuadro 3. Porcentaje relativo de antocianinas (delfinidina-3-sambubiósido - D3S y cianidina-3-sambubiósido - C3S en extractos de cálices de *Hibiscus sabdariffa*, a los 30 min de ebullición

Variedad	15625 pl·ha ⁻¹		20833 pl·ha ⁻¹		31250 pl·ha ⁻¹		41666 pl·ha ⁻¹	
	D3S	C3S	D3S	C3S	D3S	C3S	D3S	C3S
Cocula, Guerrero								
Al	9,40	4,75	7,95	4,60	7,39	4,31	7,08	4,19
Es	29,90	12,22	28,75	11,81	28,09	11,33	28,00	11,20
Qu	30,21	12,15	28,70	11,77	27,55	11,00	26,01	10,00
Su	62,56	25,49	60,05	24,50	58,11	23,08	57,00	22,02
Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca								
Al	7,88	4,25	6,99	3,98	6,71	3,89	6,99	3,98
Es	29,19	12,08	27,99	11,75	28,00	10,74	27,44	11,07
Qu	28,47	11,53	28,00	11,07	26,89	10,55	26,00	9,50
Su	53,71	16,77	51,66	15,80	49,66	15,00	48,51	13,88
Chiautla de Tapia, Puebla								
Al	7,63	4,25	6,89	3,55	6,60	3,24	6,42	3,36
Es	29,00	12,00	27,84	11,53	28,00	10,68	27,18	11,00
Qu	28,31	11,35	28,00	11,06	26,32	10,11	26,00	9,44
Su	43,59	16,44	41,31	15,69	39,09	15,00	38,49	13,22
Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo								
Al	7,04	3,57	6,59	3,01	6,06	3,13	6,16	3,13
Es	28,09	11,00	27,51	10,18	27,00	10,00	27,00	10,39
Qu	28,12	11,00	27,05	10,22	26,05	10,00	25,50	9,00
Su	33,33	16,17	31,00	15,18	29,03	14,01	27,07	12,02

Al: Alma Blanca, (Es): Escarlata (Es), (Qu): Quinba, (Su): Sudán

Los porcentajes más altos de DPPH reducido se presentaron en relación inversa a la DP; y la actividad antioxidante de los extractos fue en el orden siguiente: Sudán>Quinba, R-TC>Escarlata de Chiautla>Alma Blanca>ácido gálico. Tsai et al. (2002) enfatizaron que los constituyentes con actividad antioxidante en cálices de jamaica son las antocianinas, quercetina, ácido ascórbico y protocatecuico, aunque también se podría mencionar a los derivados del ácido clorogénico (Tsai et al., 2002; Fernández et al., 2011).

La variedad Alma Blanca (con cálices blancos) tuvo un 55 % menos actividad antioxidante que Sudán (con cálices rojo oscuro y mayor cantidad de antocianinas). No obstante, Christian y Jackson (2009) expresaron que los valores de la actividad no difieren de forma significativa en variedades con cálices verde, rojo y rojo-púrpura, y Doffinger et al. (2011) no encontraron relación alguna a este respecto. Las diferencias anteriores podrían atribuirse al tipo de extracción y origen de las muestras, tal como lo ratificaron Torres et al. (2011).

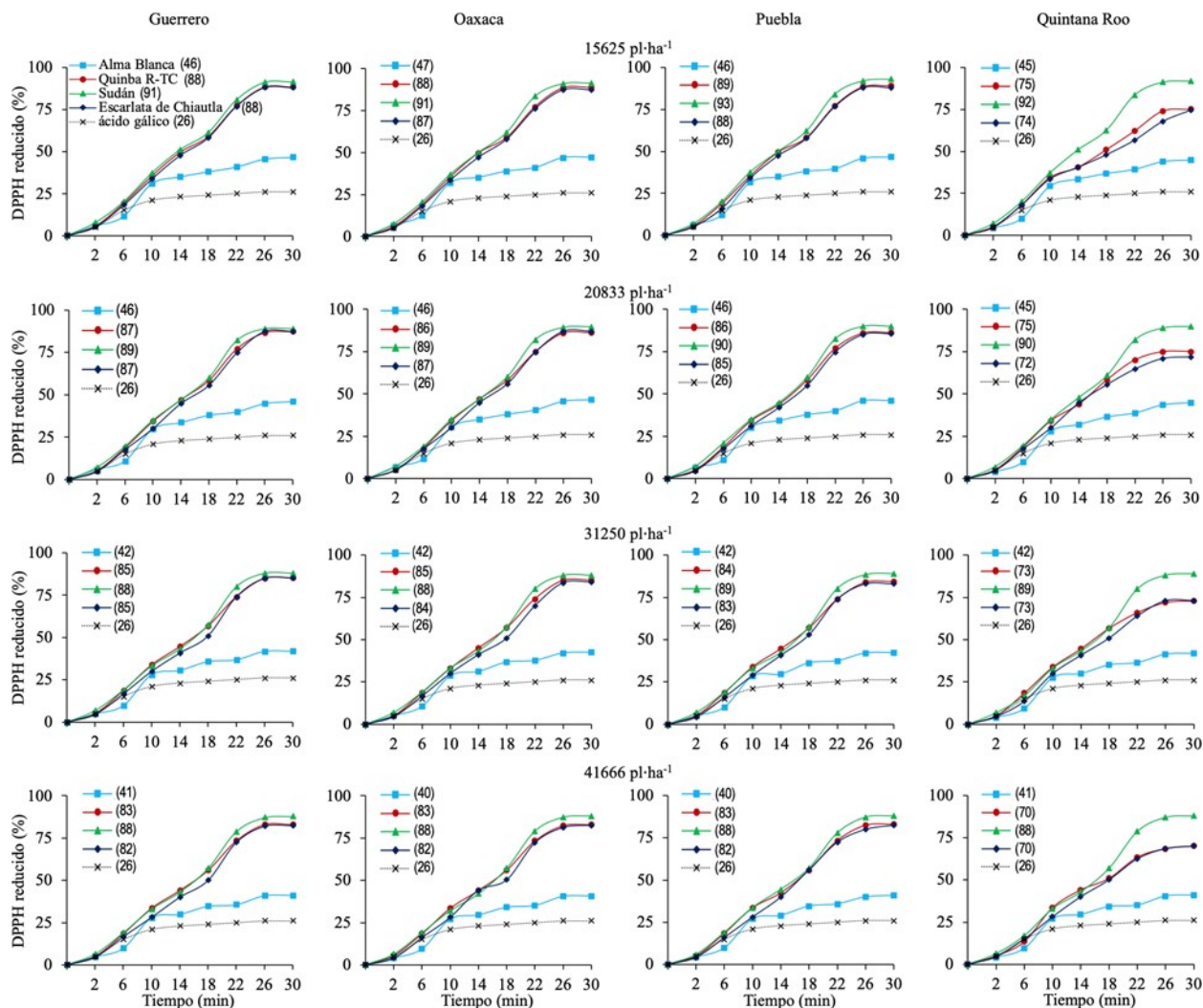


Figura 8. Actividad antioxidante en extractos de cálices de *Hibiscus sabdariffa*, ajustados a 100 mg de antocianinas·mL⁻¹ de extracto (mayor reducción del DPPH indica mayor actividad antioxidante). Los valores entre paréntesis indican el porcentaje máximo para cada variedad, establecida a diferentes densidades de plantación y ambientes de producción

CONCLUSIONES

En el cultivo de jamaica, la variedad, el ambiente de producción y la densidad de plantación, tienen una influencia determinante en la calidad y composición química de sus cálices. Se destaca que la variedad Sudán es superior, ya que resalta en las variables más importantes y luce genéticamente fuerte porque se desarrolla muy bien en diferentes ambientes, mientras que el ambiente sólo influyó en las otras tres variedades. A medida que la densidad de plantación aumenta los cálices son de menor tamaño y la delfinidina-3-sambubiósido, la cianidina-3-sambubiósido, la

actividad antioxidante y los atributos del color, disminuyen. En Ambientes cálido secos y densidades de plantación bajas, acentúan mejor el color rojo característico de la jamaica.

LITERATURA CITADA

1. Andreea-Cristina, T., S. Raluca y O. Simona. 2018. Evaluation of total anthocyanins extracted from hibiscus using different water-based systems. Annals of the University of Oradea, Fascicle: Ecotoxicology, Animal Husbandry and Food Science and Technology 17(B): 185-191.

2. Apáez-Barríos, P., M.E. Pedraza-Santos, M.N. Rodríguez-Mendoza, Y.A. Raya-Montaño y D. Jaén-Contreras. 2018. Yield and anthocyanin concentration in *Hibiscus sabdariffa* L. with foliar application of micronutrients. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24(2): 107-120.
3. Ariza, F.R., V. Serrano-Altamirano, S. Navarro-Galindo, M.E. Ovando-Cruz, E. Vázquez-García, A. Barrios-Ayala et al. 2014. Variedades mexicanas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) ‘Alma Blanca’ y ‘Rosaliz’ de color claro, y ‘Cotzaltzin’ y ‘Tecoanapa’ de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(2): 181-185.
4. Ariza, F.R. y L.A. Gálvez. 2020. Quinba R-TC: nueva variedad de jamaica tipo criolla de alto rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(5): 1197-1202.
5. Camelo, G.A., M.J. Jara-Palacios, M.L. Escudero-Gilete, B. Gordillo, D. Hernanz, O. Paredes-López et al. 2016. Comparative study of phenolic profile, antioxidant capacity, and color-composition relation of roselle cultivars with contrasting pigmentation. *Plant Foods for Human Nutrition* 71(1): 109-114.
6. Chai, T.T., M. Xiang-Ng, S. Hui-Gan, L. Suan-Chua, R. Aziz, L. Chuah-Abdullah et al. 2018. Impacts of different drying strategies on drying characteristics, the retention of bio-active ingredient and colour changes of dried Roselle. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 26(2): 303-316.
7. Christian, K.R. y J.C. Jackson. 2009. Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. *Journal of Food Composition and Analysis* 22 (7-8): 663-667.
8. Das, A. y D. Kumar. 2014. Developing descriptors of Mesta (*Hibiscus* spp.) genotypes for germplasm characterization and evaluation. *Annals of Agri Bio Research* 19(4): 713-718.
9. Doffinger, R.D., V.M.C. Carmo, F.A.S. Nazari, C.C.A. Lima, R.D. Doffinger y T.O. Carnevali. 2011. Atividade antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. em função do espaçamento entre plantas e da adubação orgânica. *Ciência Rural, Santa Maria* 41(8): 1331-1336.
10. Fernández, A.S., I.C. Rodríguez-Medina, R. Beltrán-Debón, F. Pasini, J. Joven y V. Micol. 2011. Quantification of the polyphenolic fraction and *in vitro* antioxidant and *in vivo* anti-hyperlipemic activities of *Hibiscus sabdariffa* aqueous extract. *Food Research International* 44: 1490-1495.
11. Hernández-Morales, J., T. Romero-Rosales, A. Michel-Aceves, M. Vargas-Hernández, A. Monteon-Ojeda y J. Valenzuela-Lagarda. 2021. Enzymatic antagonism of *Trichoderma* spp., on *Phytophthora parasitica* and *Fusarium oxysporum* in jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Bioagro* 33(3): 203-214.
12. Hidalgo, S.G., W.A.L. Cifuentes-Reyes, H.H. Ruano-Solís y L.E. Cano-Castillo. 2009. Caracterización de trece genotipos de rosa de jamaica *Hibiscus sabdariffa* en Guatemala. *Agronomía Mesoamericana* 20(1): 101-109.
13. Jaakola, L., K. Määttä, A.M. Pirttilä, R. Törrönen, S. Kärenlampi y A. Hohtola. 2002. Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiology* 130(2): 729-734.
14. Jeffery, T.D. y M.L. Richardson. 2021. A review of the effectiveness of hibiscus for treatment of metabolic syndrome. *Journal of Ethnopharmacology* 270: 113762.
15. Juhari, N.H., H.J. Martens y M.A. Petersen. 2021. Changes in physicochemical properties and volatile compounds of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx during different drying methods. *Molecules* 26(20): 6260.
16. Juliani, H.R., C.R. Welch, Q. Wu, B. Diouf, D. Malainy y J.E. Simon. 2009. Chemistry and quality of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa*) for developing of natural-product industry in Senegal. *Journal of Food Science* 74: S113-21.
17. Khattak, A.M., M. Sajid, H.Z. Sarwar, A. Rab, M. Ahmad y M.A. Khan. 2016. Effect of sowing time and plant density on the growth and production of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *International Journal of Agriculture & Biology* 18: 1219-1224.
18. Khoo, H.E., A. Azlan, S.T. Tang y S.M. Lim. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical

- ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research* 61(1): 1361779.
19. Latimer, G.W. 2012. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 19th Ed. Gaithersburg, Maryland, USA.
 20. Liu, D., Z. Ding, E.F. Ali, A.M.S. Kheir, M.A. Eissa y O.H.M. Ibrahim. 2021. Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions. *Scientific Reports* 11: 8739.
 21. Marak, S., E. Shumilina, N. Kaushik, E. Falch y A. Dikiy. 2021. Effect of different drying methods on the nutritional value of *Hibiscus sabdariffa* calyces as revealed by NMR metabolomics. *Molecules* 26: 1675.
 22. Nnbue, O.M., I.J. Ogoke, O.P. Obilo, C.M. Agu, G.O. Ihejirika y F.O. Ojiako. 2014. Estimation of planting dates for roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in the humid tropical environment of owerri, southeastern Nigeria. *Agrosearch* 14(2): 168-178.
 23. Prior, R.L., X. Wu y K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agriculture and Food chemistry* 53(10): 4290-4302.
 24. Ramírez-Cortés, B., F. de J. Caro-Velarde, M.G. Valdivia-Reynoso, M.H. Ramírez-Lozano y M.L. Machuca-Sánchez. 2011. Cambios en tamaño y características químicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) durante su maduración. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(2): 19-31.
 25. Ramírez-Rodrigues, M.M., M.L. Plaza, A. Azeredo, M.O. Balaban y M.R. Marshall. 2011. Physicochemical and phytochemical properties of cold and hot water extraction from *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Food Science* 76(3): 428-435.
 26. Ramírez-Rodrigues, M.M., M.L. Plaza, A. Azeredo, M.O. Balaban y M.R. Marshall. 2012. Phytochemical, sensory attributes and aroma stability of dense phase carbon dioxide processed *Hibiscus sabdariffa* beverage during storage. *Food Chemistry* 134(3): 1425-1431.
 27. Richardson, M.L. y C.G. Arlotta. 2021. Differential yield and nutrients of *Hibiscus sabdariffa* L. genotypes when grown in urban production systems. *Scientia Horticulturae* 288: 110349.
 28. Salinas, M.Y., F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, R. Ortega-Paczka y J.L. Arellano-Vázquez. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37(6): 617-628.
 29. Salinas, M.Y., G. Salas-Sánchez, D. Rubio-Hernández y N. Ramos-Lobato. 2005. Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *Journal of Chromatographic Science* 43(9): 483-487.
 30. Salinas, M.Y., A.R.E. Zúñiga-Hernández, L.B. Jiménez de la Torre, V. Serrano-Altamirano y C. Sánchez-Feria. 2012. Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 395-407.
 31. Soler, R.C., J.C. Espín y H.J. Wichers. 2000. An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. *Phytochemical Analysis* 11(5): 330-338.
 32. Sumaya, M., R. Medina, M. Machuca, E. Jiménez, R. Balois y L. Sánchez. 2014. Potencial de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en la elaboración de alimentos funcionales con actividad antioxidante. *Revista Mexicana de Agronegocios* 35: 1082-1088.
 33. Torres, M.I., M.E. Escoto-Delgadillo, J. Ron-Parra, G. Parra-Tovar, S. Mena-Munguía y A. Rodríguez-García. 2011. Relationships among twelve genotypes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated in western Mexico. *Industrial Crops and Products* 34(1): 1079-1083.
 34. Tsai, P.J., J. Macintosh, P. Pearce, B. Camden y B.R. Jordan. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Research International* 35(4): 351-356.
 35. Vaidya, K.R. 2000. Natural cross-pollination in roselle *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae). *Genetic and Molecular Biology* 23(3): 667-669.
 36. Wu, H.Y., K.M. Yang y P.Y. Chiang. 2018. Roselle anthocyanins: Antioxidant properties and stability to heat and pH. *Molecules* 23(6): 1357.

37. Yin, W.M., O.C. Li, A. Rosma y B. Rajeev.
2013. Antioxidant and antibacterial activities
of hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) and

Cassia (*Senna bicapsularis* L.) flower extracts.
Journal of King Saud University - Science
25(4): 275-282.