



CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE 20 VARIEDADES MEJORADAS DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) CULTIVADAS EN MÉXICO

NUTRITIONAL COMPOSITION IN 20 IMPROVED ROSELLE (*Hibiscus sabdariffa* L.) VARIETIES GROWN IN MEXICO

Zayda N. Duarte-Valenzuela, Víctor M. Zamora-Gasga,
Efígenia Montalvo-González y Sonia G. Sáyago-Ayerdi*

Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, División de Estudios de Posgrado, TecNM-Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Instituto Tecnológico No 2595. 63175, Col. Lagos del Country, Tepic, Nayarit, México.

*Autora de correspondencia (sonia.sayago@gmail.com)

RESUMEN

La jamaica (*H. sabdariffa* L) es un cultivo con gran potencial de explotación debido a los compuestos bioactivos presentes en los cálices. Con el propósito de lograr posteriormente su registro, 20 variedades de jamaica mejoradas genéticamente, cultivadas en los estados mexicanos de Nayarit, Colima, Puebla y Oaxaca, fueron analizadas en términos de su composición proximal, contenido de fibra dietética (FD), polifenoles extraíbles (PE), no extraíbles (PNE) y actividad antioxidante (AOX). De acuerdo con las características anteriores se seleccionaron las variedades con mejor perfil por medio de estadística multivariada. Se observó una amplia variabilidad en la composición química de los cálices donde destacó el elevado contenido de proteína (16 %) en la variedad UAN 12-1, el bajo contenido de lípidos en Negra Quiviquinta (0.06 %) y 40 % en promedio de FD para todas las variedades. A partir del análisis de conglomerados jerárquico se obtuvieron 12 grupos con características distintivas que pueden ser usadas como descriptores. El grupo que destacó por su contenido de compuestos bioactivos (PE+PNE) y AOX fue el formado por las variedades 2Q3, UAN6-1, Puebla Precoz y UAN 12-1. Las variedades estudiadas pueden contribuir notablemente en un programa de mejoramiento de la jamaica y colocarla en un mercado más competitivo.

Palabras clave: Jamaica, *Hibiscus sabdariffa*, fibra dietética, compuestos bioactivos.

SUMMARY

Roselle (*H. sabdariffa* L) is a crop with great exploitation potential because of the bioactive compounds present in calyces. With the ultimate aim of registration, twenty genetically improved roselle varieties grown in the Mexican states of Nayarit, Colima, Puebla and Oaxaca were analyzed in terms of proximal composition, dietary fiber (DF) content, extractable (EP) and non-extractable polyphenols (NEP), and antioxidant activity (AOX). According to the aforementioned characteristics, multivariate statistical analysis was performed to select varieties with the best profile. Large variability was observed in the chemical composition of the calyces which was highlighted by the high protein content (16 %) in UAN 12-1, low lipid content (0.06 %) in Negra Quiviquinta and 40 % DF content as an average for all varieties. From hierarchical cluster analysis, 12 groups were identified with distinctive features that can be used as descriptors. The group constituted by the varieties 2Q3, UAN6-1, Puebla Precoz and UAN 12-1 because of its bioactive compounds (EP+NEP) and AOX content. The studied varieties can significantly contribute to a roselle breeding program and boost it into a more competitive market.

Index words: Roselle, *Hibiscus sabdariffa*, Dietary fiber, bioactive compounds.

INTRODUCCIÓN

Hibiscus sabdariffa L., conocida en México como jamaica es un arbusto de cultivo anual que pertenece a la familia de las Malváceas (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2007). En México, los cálices de la planta se utilizan en la preparación de una bebida refrescante ampliamente consumida por la población, lo que le confiere importancia tanto económica como cultural (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2007). La producción nacional es insuficiente y se importa al menos el 50 % de la jamaica que se consume. En Latinoamérica es usada como alimento y fuente de fibra dietética (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

Los cálices de jamaica han sido reconocidos como una fibra dietética (FD) antioxidante (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2014) ya que, además del alto contenido de FD, presenta compuestos antioxidantes con efectos anti-hipertensivos, anti-hipercolesterolémicos y anticancerígenos (Lin *et al.*, 2011). Los principales compuestos bioactivos identificados en los cálices son delfinidin-3-glucósido, sambubiósido, cianidina-3-sambubiósido, flavonoides (gospetina, hibiscetina) con sus respectivos glucósidos, ácido protocateico, eugenol, esteroides como β -sitosterol, y ergosterol (Ali *et al.*, 2005; Babalola *et al.*, 2001). Debido al potencial efecto benéfico de la jamaica, así como a su creciente uso en la preparación de alimentos, es importante cuantificar los principales constituyentes químicos, explorar nuevas propiedades biológicas y realizar estudios con variedades registradas (Zhen *et al.*, 2016). Torres-Morán *et al.* (2011) mencionan que los marcadores moleculares y fenotípicos son cruciales para la caracterización de nuevos genotipos, para la planificación y siembra de cultivos, así como para el registro de nuevas variedades.

El Sistema Producto Jamaica, S.C. e instituciones gubernamentales como SAGARPA y CONACYT buscan la mejora de variedades de jamaica con las mejores características

agronómicas, nutricionales y un mayor contenido de compuestos bioactivos; para ello, se desarrolló un proyecto interinstitucional con este fin. El objetivo de esta investigación fue determinar la composición química, el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de 20 variedades mejoradas de jamaica cultivadas en México y seleccionar a través de estadística multivariada, aquellas con mejor composición química proximal y contenido de compuestos bioactivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y preparación de la muestra

Para obtener las variedades mejoradas se llevó a cabo una fase de pre-cultivo durante varios años previos a este estudio (Caro-Velarde, Com. Pers.¹). En el año 2014, 20 variedades de jamaica fueron sembradas y cosechadas en los estados de Nayarit (21° 39' 15" N, 106° 32' 45" O), Puebla (32° 33' 52" N, 115° 21' 12" O), Colima (19° 14' 00" N, 103° 43' 00" O) y Oaxaca (16° 00' 46" N, 97° 26' 15" O). Las variedades fueron proporcionadas por la Universidad Autónoma de Nayarit y los análisis se realizaron en el Instituto Tecnológico de Tepic. Las 20 variedades analizadas y su lugar de origen se presentan en el Cuadro 1. Tres lotes de 100 g de cálices secos enteros de cada variedad proporcionada fueron homogenizados en un molino (IKA, M20, USA), tamizados a 500 µm y almacenados en recipientes herméticos a -20 °C hasta su análisis.

Composición química

El contenido de humedad, proteína cruda, grasa y cenizas se determinó de acuerdo con los métodos oficiales; 925.09, 920.87, 920.39 y 923.03, respectivamente de la AOAC (1990). La evaluación de carbohidratos totales se llevó a cabo por el método Fenol-Sulfúrico propuesto por Dubois *et al.* (1956) y la fibra soluble, insoluble y total se evaluó con el método 991.42 de la AOAC (1990), con las modificaciones propuestas por Mañas y Saura-Calixto (1995).

Cuantificación de compuestos bioactivos: polifenoles

Extracción acuoso-orgánica

Previo a la cuantificación se realizó una doble extracción acuoso-orgánica de los cálices a partir de la metodología propuesta por Pérez-Jiménez *et al.* (2009). Una solución metanólica acidificada (metanol:agua, 50:50 v/v, HCl 2 N) y una solución de acetona-agua (70:30 v/v) fueron utilizadas. En cada extracción, los tubos se centrifugaron a 8000

Xg durante 10 min a 4 °C. Los sobrenadantes de cada extracción fueron recuperados y mezclados para ser utilizados en la cuantificación de polifenoles extraíbles (PE) y de la actividad antioxidante (AOX). Los PE se determinaron de acuerdo con el ensayo de Folin-Ciocalteu del método propuesto por Montreau (1972), modificado por Alvarez-Parrilla *et al.* (2010).

Una muestra de 250 µL, 1000 µL de solución de carbonato de sodio (75 g L⁻¹) y 1250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (100 mL L⁻¹) fueron mezclados y puestos en reposo (15 min, 50 °C), cuya absorbancia se midió a 750 nm con un lector de microplaca (Biotek, Synergy HT®, Winooski VT, USA) con el programa BioTek Gen5 (Version 2.0 Data Analysis Software. Winooski, VT, USA), y los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG g⁻¹ bs) al haber utilizado ácido gálico (0 a 0.2 mg mL⁻¹) como curva estándar.

Por otro lado, los residuos de la extracción fueron utilizados para cuantificar los polifenoles no extraíbles (PNE) conformados por polifenoles hidrolizables (PH) y taninos condensados (TC). Para la determinación de PH los residuos se hicieron reaccionar con metanol-H₂SO₄ (85 °C, 20 h) y posteriormente se centrifugaron (8000 Xg, 10 min) (Hartzfeld *et al.*, 2002); los sobrenadantes se separaron, lavaron con agua destilada, se volvieron a centrifugar y a mezclar con los sobrenadantes y finalmente se cuantificaron los PH (Montreau, 1972); los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico, mg EAG g⁻¹ bs. Los TC fueron analizados en los residuos de la extracción, que se hidrolizaron con butanol-HCl-FeCl₃ (3 h, 100 °C), centrifugados (8000 Xg, 10 min) y los sobrenadantes fueron recuperados (Reed *et al.*, 1982). La concentración de TC se evaluó frente a un estándar de algarroba (*Ceratonia siliqua*) a 555 nm y se expresó como mg TC 100g⁻¹ bs.

Evaluación de la actividad antioxidante

Los sobrenadantes de la extracción acuoso-orgánica se utilizaron para evaluar la AOX en las variedades, con dos métodos que se describen a continuación:

Poder antioxidante reductor de hierro (FRAP)

Se utilizó el método propuesto por Benzie y Strain (1996), de modo que el FRAP se preparó en proporción 25:2.5:2.5 de buffer de acetato de sodio 0.3 M, pH 3.6, TPTZ-HCl [que contenía 10 mM 2, 4, 6-tri-(2-piridil)-s-triazina en 40 mM HCl] y cloruro férrico hexahidratado (20 mM), respectivamente. La AOX se determinó a 595 nm durante 30 min, con un lector de microplacas de detección múltiple (Biotek®, Synergy HT, Winooski, VT, USA) con el programa BioTek Gen5. Los resultados fueron expresados en equivalentes

¹M. C. Francisco Caro-Velarde, Investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Cuadro 1. Composición proximal, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de 20 variedades mejoradas de jamaica cultivadas en México.

Variedad / Origen	Humedad	Cenizas	Proteína	Lípidos	CT	FDS	PNA-FDI
4Q4 / Nayarit	9.70 b	7.87 e	14.09 g	0.72 cdef	36.17 fgh	10.07 j	25.69 h
UAN 16-2 / Nayarit	9.83 bc	8.03 e	13.11 f	0.66 cd	37.13 ij	9.48 hi	19.20 b
UAN 25-1 / Nayarit	11.14 ef	8.31 f	13.60 fg	0.84 defg	30.39 b	6.67 a	21.65 d
Cruza Negra / Nayarit	11.91 i	6.14 a	14.70 h	0.06 a	39.74 k	8.26 c	17.08 a
UAN 23 / Nayarit	8.45 a	6.54 b	8.34 c	1.05 ghij	28.61 a	8.26 c	17.76 a
Criolla Súper Precoz / Nayarit	11.30 f	7.49 d	13.26 f	1.14 ij	33.03 c	7.22 b	19.11 b
UAN 8 / Nayarit	10.27 d	7.39 d	10.23 e	0.38 b	29.78 b	9.03 fgh	20.92 c
UAN 30 / Nayarit	11.27 f	7.43 d	7.38 b	1.07 hij	39.17 k	9.11 fgh	23.28 e
Negra Quiviquinta / Nayarit	11.37 fg	8.78 gh	13.97 g	0.62 cd	37.5 j	8.41 cd	24.20 f
UAN 6 Puga / Nayarit	10.98 e	9.24 i	14.06 g	0.90 efgh	30.43 b	8.44 cde	19.69 b
UAN 16-1 / Colima	11.91 i	7.30 d	6.44 a	0.83 def	35.51 ef	9.18 gh	24.87 fg
UAN 26 / Colima	12.02 i	9.02 hi	7.02 b	0.83 defg	35.6 ef	8.72 cdefg	29.64 k
Puebla Precoz / Colima	11.88 hi	8.12 ef	7.04 b	1.19 j	36.6 ghi	9.04 fgh	29.29 jk
2Q3 / Colima	11.62 gh	8.74 g	6.13 a	1.15 j	35.93 fg	8.61 cdef	28.82 j
UAN 6-1 / Colima	10.10 cd	8.32 f	9.41 d	0.92 fghi	35.08 e	8.88 defg	27.04 i
UAN 13 / Oaxaca	10.08 cd	6.98 c	13.14 f	0.79 cdef	36.73 hij	8.96 efgh	25.36 gh
UAN 16 / Oaxaca	9.83 bc	10.87 j	10.61 e	0.58 bc	32.73 c	9.18 gh	23.35 e
Tempranilla Roja / Puebla	14.73 k	8.20 fgh	11.65 g	0.89 efgh	33.96 d	8.25 c	22.67 e
UAN 10-1 / Puebla	16.04 l	8.39 h	9.55 e	1.08 hij	35.97 fgh	9.77 ij	24.41 f
UAN 12-1 / Puebla	15.71 l	8.96 ij	16.10 k	0.69 cde	36.07 fgh	9.73 ij	24.71 fg
	LK-FDI	FDT	PE	PH	TC	ABTS	FRAP
4Q4 / Nayarit	3.40 e	39.17 h	34.48 f	13.56 j	4.51 p	411.23 f	192.53 h
UAN 16-2 / Nayarit	3.53 e	32.22 c	39.81 ij	11.64 fg	3.24 l	584.63 o	314.57 o
UAN 25-1 / Nayarit	5.43 g	33.76 f	27.57 b	12.86 i	2.98 k	352.63 e	162.46 f
Cruza Negra / Nayarit	5.44 g	30.79 b	41.52 l	12.42 h	6.12 r	563.26 m	311.38 n
UAN 23 / Nayarit	2.91 cd	28.94 a	28.84 c	10.50 c	1.83 b	431.52 h	210.96 j
Criolla Súper Precoz / Nayarit	3.29 de	29.64 a	25.03 a	11.57 fg	2.64 i	313.40 c	138.97 d
UAN 8 / Nayarit	2.46 b	32.42 cd	30.61 d	11.44 ef	2.38 g	446.38 i	225.30 l
UAN 30 / Nayarit	1.18 a	33.58 e	29.25 c	11.70 g	2.40 h	442.89 i	215.84 k
Negra Quiviquinta / Nayarit	4.11 f	36.73 fg	46.99 o	12.79 i	3.35 m	534.72 l	211.35 j
UAN 6 Puga / Nayarit	3.57 e	31.71 bc	40.90 kl	11.15 d	2.72 j	476.85 j	187.42 g
UAN 16-1 / Colima	7.60 h	41.67 i	45.95 n	14.16 k	8.31 s	492.32 k	305.51 m
UAN 26 / Colima	2.92 cd	41.29 i	53.23 q	12.68 i	5.42 q	630.15 p	422.15 r
Puebla Precoz / Colima	2.68 bc	41.01 i	39.82 ij	11.47 ef	3.22 l	572.73 n	378.95 q
2Q3 / Colima	4.11 f	41.55 i	44.84 m	11.25 de	3.61 o	585.47 o	324.89 p
UAN 6-1 / Colima	3.51 e	39.44 h	50.19 p	12.30 h	3.54 n	426.60 g	205.49 i
UAN 13 / Oaxaca	4.46 f	38.80 h	39.20 hi	9.29 b	1.94 d	320.08 d	139.75 d
UAN 16 / Oaxaca	3.63 e	36.17 f	35.62 g	8.75 a	1.92 c	277.49 b	120.87 c
Tempranilla Roja / Puebla	2.47 b	33.40 de	33.10 e	10.33 c	1.44 a	230.31 a	45.18 a
UAN 10-1 / Puebla	3.38 e	37.57 g	38.48 h	11.03 d	2.34 f	318.02 d	103.19 b
UAN 12-1 / Puebla	2.67 bc	37.11 fg	40.39 jk	11.18 d	2.08 e	350.84 e	142.79 e

Los valores son las medias de tres repeticiones. Letras diferentes por columna indican diferencia significativa utilizando ANOVA de una vía y la prueba Fisher LSD para comparación de medias ($P \leq 0.05$). Humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos totales (CT), fibra dietética soluble (FDS), polisacáridos no amiláceos de la fibra dietética insoluble (PNA-FDI), lignina Klason de la fibra dietética insoluble (LK-FDI), fibra dietética total (FDT), y taninos condensados (TC) fueron expresados como g TC/100 g bs. Polifenoles extraíbles (PE) y Polifenoles Hidrolizables (PH) fueron expresados como mg Equivalentes de Ácido Gálico g⁻¹ bs. Actividad anti-radical (ABTS) y actividad quelante (FRAP) fueron expresados como mM Equivalentes Trolox g⁻¹ bs.

Trolox (ET; mM g⁻¹ bs) con una curva estándar (8.125×10^{-3} - 0.13 mM Trolox).

Análisis del ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS)

Para este ensayo se utilizó el método propuesto por Re *et al.* (1999). La actividad anti-radical se evaluó mediante la mezcla de 20 µL de los extractos con 255 µL de ABTS a una temperatura de 30 °C durante 7 min utilizando un lector de microplacas de detección múltiple (Biotek®, Synergy HT) y con el programa BioTek Gen5. La disminución en la absorbancia se midió a 734 nm. Se utilizó una curva estándar entre 37.5 a 600 µM de Trolox y los resultados se expresan en equivalentes de Trolox (ET; mM g⁻¹ bs).

Análisis de datos

Los resultados analíticos se expresaron como media \pm DE (desviación estándar, n = 3). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y una prueba LSD de Fisher ($P \leq 0.05$) a todas las variables, y posteriormente se hizo un análisis de componentes principales (ACP); se obtuvieron las puntuaciones factoriales y se clasificaron mediante un análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) con el método de amalgamamiento simple, con el programa Statistica Version 10.0 Data Analysis Software (StatSoft®, Inc., Tulsa, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición proximal de los cálices de jamaica

Los resultados obtenidos del análisis de composición proximal en los cálices de 20 variedades mejoradas de jamaica se muestran en el Cuadro 1. Las muestras estudiadas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El contenido de humedad para 17 de las 20 variedades se encontró dentro de la Norma Mexicana NMX-FF-115-SCFI (Secretaría de Economía, 2010), la cual establece que este parámetro no debe ser superior a 12 % a fin de evitar contaminación microbiana. Las variedades Tempranilla Roja, UAN 10-1 y UAN 12-1 obtuvieron valores superiores a los señalados en la Norma Mexicana (14.73, 16.04 y 15.71 % respectivamente), lo que pudo deberse al proceso de secado poscosecha de los cálices frescos (Caro-Velarde *et al.*, 2010) ya que éstos fueron entregados secos para su análisis.

El contenido de cenizas se encontró en un intervalo de 6.14 a 10.87 g/100 g bs, valores que son similares a los reportados por Ali *et al.* (2005) (9.75 g 100/g bs) y por Sáyago-Ayerdi *et al.* (2014) (12.4 g 100/g bs). En este sentido, Crisosto y Mitchell (2002) explicaron que la absorción de

minerales en la planta está influenciada por varios factores tales como edad, densidad, distribución del sistema radicular, grado de disolución de los propios minerales, humedad y pH del suelo, así como por los requerimientos nutritivos de cada variedad. Por otro lado, el contenido de proteína en la variedad Cruza Negra (14.70 g/100 g bs) fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) al de las otras variedades.

El contenido de lípidos fue alrededor al 1 g 100/g bs y fue la variedad Cruza Negra la que obtuvo el menor contenido (0.06 g/100 g bs). En carbohidratos totales, las variedades Cruza Negra y UAN 30, presentaron los valores más altos (>39 g/100 g bs). Las diferencias en el contenido de estos compuestos pueden deberse al ciclo fotosintético de cada una de las variedades, el cual está influenciado por factores como el estrés hídrico, la estructura de las hojas, contenido de clorofila, calidad y cantidad de luz incidente en las hojas y la temperatura ambiente (Evans y Al-Hamdani, 2015); asimismo, la alta variabilidad en la composición de estos cultivos puede depender de factores geográficos y genéticos (Kader, 2002; Vicente *et al.*, 2009).

Contenido de fibra dietética soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT)

El contenido de FD se muestra en el Cuadro 1, donde los valores más altos en el contenido de FDS fueron para las variedades 4Q4, UAN 10-1 y UAN 12-1 (10.07, 9.77 y 9.73 %, respectivamente). En cuanto a la FDI el valor más alto se obtuvo en las variedades UAN 26 y Puebla Precoz; en general, en todas las variedades estudiadas corresponde al 75 % de la FDT. Las variedades con mayor contenido de FDT fueron UAN 16-1, UAN 26, Puebla Precoz y 2Q3 (> 41 %). La relación 25:100 FDS/FDT encontrada en todas las variedades de jamaica tiene una gran importancia desde el punto de vista funcional, ya que la FDI ayuda a la motilidad intestinal y la FDS influye en la disminución del vaciamiento gástrico, envía señales de saciedad e incrementa la viscosidad en el intestino delgado; también sirve de sustrato fermentativo para la microbiota colónica (Lunn *et al.*, 2007).

Contenido de polifenoles extraíbles (PE), polifenoles hidrolizables (PH), taninos condensados (TC) y actividad antioxidante (AOX)

Las variedades presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en todas las variables estudiadas (Cuadro 1). En las variedades UAN 26 y UAN 6-1 se encontró el mayor contenido de PE (53.23 y 50.19 mg EAG g⁻¹ cálices bs, respectivamente) y la variedad Criolla Súper Precoz presentó el menor contenido de PE (25.03 mg EAG g⁻¹ cálices bs). Los PE se relacionan con la pigmentación del cáliz, atribuida

principalmente al contenido de antocianinas, compuestos responsables de la coloración rojo oscuro (Jackson, 2009).

En cuanto al contenido de PH, la variedad UAN 16-1 obtuvo el valor más alto (14.16 mg EAG g⁻¹ bs), seguida de la variedad 4Q4 (13.56 mg EAG g⁻¹ bs). Los PH están conformados por galotaninos y elagitaninos en cálices completos de jamaica, y se ha identificado ácido cafeico como parte de los PH liberados durante la hidrólisis (Mercado-Mercado *et al.*, 2015). Por su parte, los TC o proantocianidinas, como las catequinas, provienen de la esterificación de flavonoides. La variedad que presentó mayor contenido de TC fue la variedad UAN 16-1 (8.31 mg TC g⁻¹). La hidrólisis de estos compuestos produce antocianidinas o cationes flavilium de coloración rojo intenso (Vázquez-Flores *et al.*, 2012).

La AOX evaluada a partir de la inhibición del radical ABTS presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1). Las variedades UAN 26 y 2Q3 obtuvieron los valores más altos (630.15 y 585.47 mM ET/100 g bs, respectivamente). La AOX evaluada por el método FRAP, que representada como la capacidad de reducir Fe³⁺ a su forma Fe²⁺, registró los valores más altos en las variedades UAN 26 y Puebla Precoz (422.15 y 378.95 mM ET/100 g bs, respectivamente). En ambos métodos (ABTS y FRAP), las diferencias pueden ser atribuidas a factores genéticos propios de cada variedad y al contenido de PE en los extractos (Fernández-Arroyo *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2009). La relación directamente proporcional entre el contenido de polifenoles y la AOX se observó en la variedad UAN 26, donde se presentó el mayor contenido de PE (53.23 mg EAG g⁻¹ cálices bs) y la mayor AOX por ambos métodos (ABTS: 630.15 y FRAP: 422.15 mM ET g⁻¹ muestra seca).

Análisis de componentes principales

El ACP se aplicó para determinar los patrones de reconocimiento en las muestras de jamaica. Cinco componentes principales con valores propios ≥ 1 explicaron 81.2 % de la varianza total. Las cargas factoriales y las puntuaciones factoriales de los cinco componentes principales se presentan en la Figura 1 (A) y (B), respectivamente. El primer componente contribuyó con 32.66 %, el segundo con 19.60 %, el tercero con 12.38 %, el cuarto con 9.06 % y el quinto con 7.77 %.

El CP 1 se encuentra caracterizado por un mayor contenido de proteína y menor contenido de CT, PH, TC, ABTS, FRAP, PE, FDT y FDI. El CP 2 presentó mayor contenido en TC, PH y LK-FDI y menor contenido de lípidos, cenizas, FDT y PNA-FDI. El CP 3 presentó un mayor contenido de lípidos

y menor contenido de proteínas. Por su parte el CP 4 está caracterizado por mayor contenido de FDS y menor contenido de LK-FDI. El CP 5 observó un mayor contenido de humedad y menor contenido de cenizas.

Análisis de conglomerados jerárquico (ACJ)

Las puntuaciones factoriales (Figura 1 B) en cada uno de los componentes obtenidos se usaron para clasificar a las 20 variedades mediante un ACJ efectuado con el método de amalgamamiento simple. El dendograma obtenido del ACJ se presenta en la Figura 2. Se obtuvieron 12 grupos de los cuales ocho se formaron por una sola variedad (G4: UAN 12-1, G6: UAN 16, G7: UAN 23, G8: Criolla Súper Precoz, G9: UAN 25-1, G10: UAN 30, G11: Cruza Negra y G12: UAN 16-1) lo que indica que se trata de variedades mejoradas de jamaica con características particulares. El G1 fue formado por las variedades 4Q4, Negra Quiviquinta, UAN 13. El Grupo 2 (2Q3, UAN 6-1, Puebla Precoz y UAN 12-1) presentaron el mayor contenido de lípidos, FDT, PE y AOX. De acuerdo con estos resultados, las variedades 2Q3, UAN 6-1, Puebla Precoz y UAN 12-1 (G2) presentan el mejor perfil de propiedades potencialmente funcionales; es decir, que pueden brindar mayores beneficios a la salud por su alto contenido de compuestos bioactivos, AOX y FDT.

CONCLUSIONES

Las variedades mejoradas de *H. sabdariffa* presentan alta variabilidad en la composición química de los cálices. Las 20 variedades de jamaica fueron clasificadas en 12 grupos y cada variedad presentó características distintivas que se pueden utilizar como descriptores para diferenciarlas. Las variedades 2Q3, UAN 6-1, Puebla Precoz y UAN 12-1 (Grupo 2) mostraron características funcionales con potencial al presentar mayor contenido de compuestos bioactivos y AOX. Las variedades incluidas en el Grupo 2 podrían ser utilizadas como iniciadoras de nuevas cruces en los programas de mejoramiento de jamaica. El conocimiento de las características nutricionales y propiedades nutraceuticas de la jamaica podrían ayudar al incremento de superficie del cultivo dentro de un mercado más competitivo en el consumo de alimentos funcionales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONACYT por las becas otorgadas a los dos primeros autores, Se agradece el apoyo financiero del proyecto SAGARPA-CONACYT-163972. Se agradece al M.C. Francisco Caro Velarde investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit por proporcionar las muestras analizadas en este trabajo.

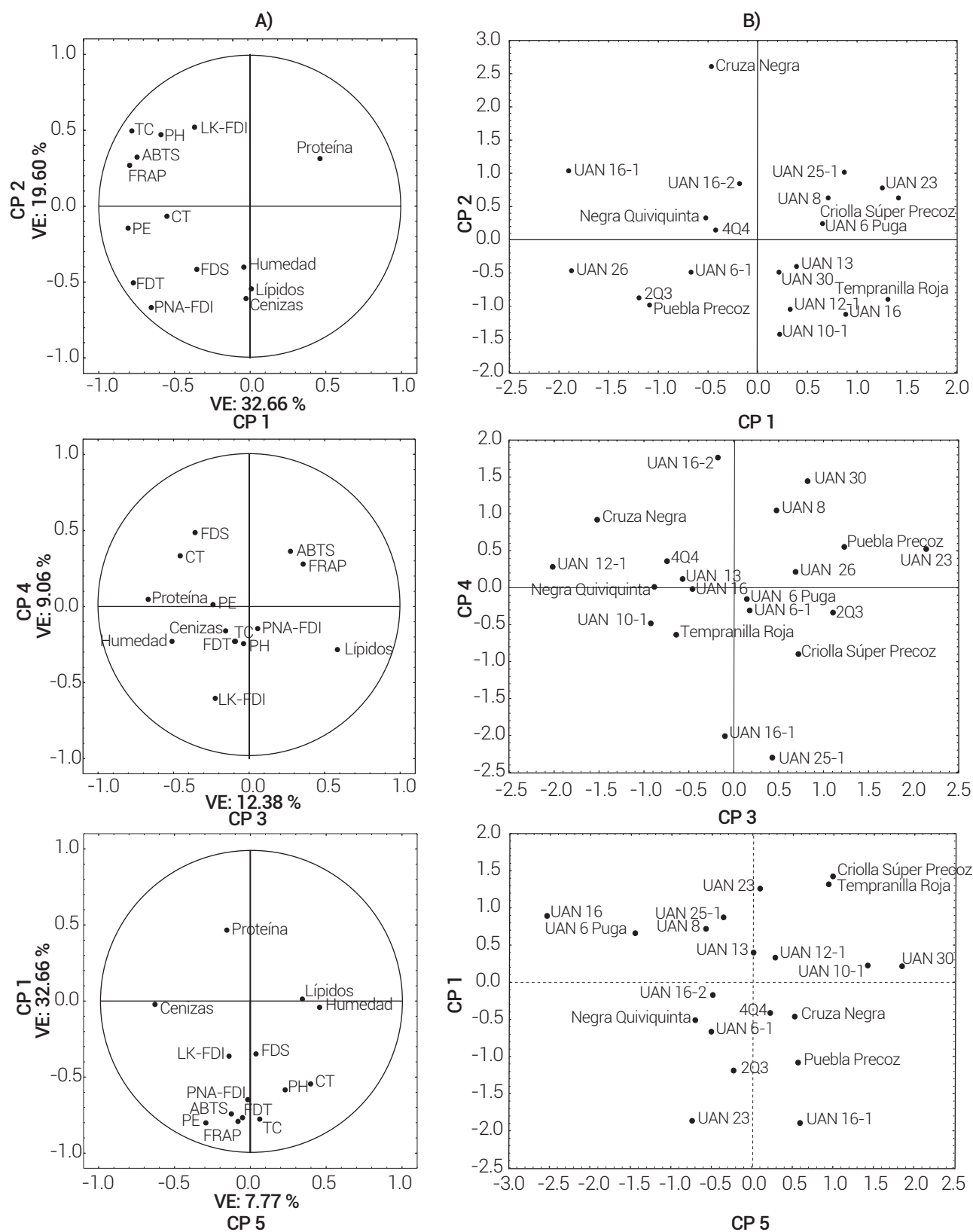


Figura 1. Análisis de componentes principales. A) cargas factoriales y B) puntuaciones factoriales para las 20 variedades mejoradas de *Hibiscus sabdariffa* L. cultivadas en México.

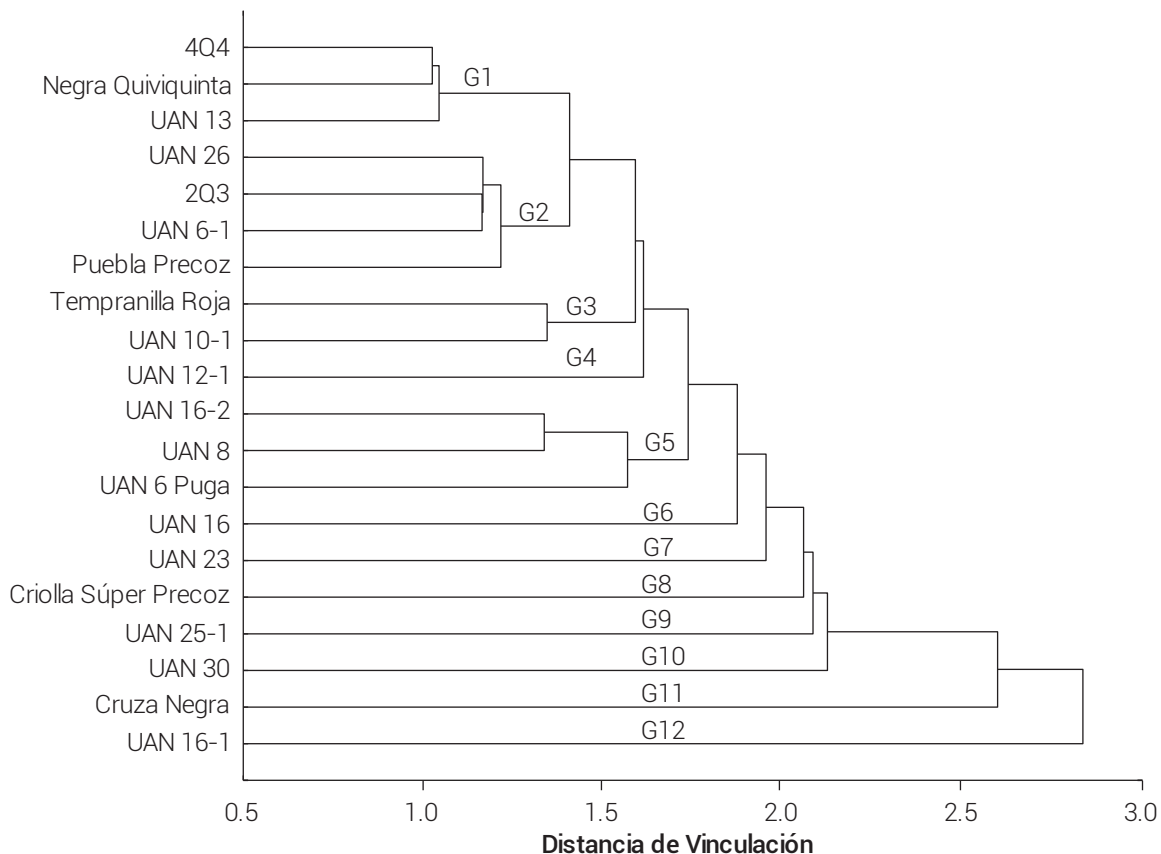


Figura 2. Clasificación por grupos (G) para 20 variedades mejoradas de *Hibiscus sabdariffa* L. cultivadas en México.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali B. H., N. A. Wabel and G. Blunden (2005) Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: a review. *Phytotherapy Research* 19:369-375.
- Alvarez-Parrilla E., L. A. de la Rosa, R. Amarowicz and F. Shahidi (2010) Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeno and Serrano peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 163-173.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists (1990) Oficial Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA. 1298 p.
- Babalola S., A. Babalola and O. Aworh (2001) Compositional attributes of the calyces of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *The Journal of Technology in Africa* 6:133-134.
- Benzie I. F. and J. Strain (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239:70-76.
- Caro-Velarde F., E. Flores-Berrios y M. Machuca-Sánchez (2010) Sistema de producción de jamaica en Nayarit. In: El Cultivo de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Nayarit. Universidad Autónoma de Nayarit, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y diseño del Estado de Jalisco, A.C. Tepic, Nayarit. pp:7-15.
- Crisosto C. H. and J. P. Mitchell (2002) Preharvest factors affecting fruit and vegetable quality. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. A. A. Kader (ed.). Third ed. Publication 3529. University of California. Agriculture and Natural Resources. Richmond, CA, USA. pp:49-54.
- Da-Costa-Rocha I., B. Bonnlaender, H. Sievers, I. Pischel and M. Heinrich (2014) *Hibiscus sabdariffa* L. – A phytochemical and pharmacological review. *Food chemistry* 165:424-443.
- Dubois M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. Rebers and F. Smith (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350-356.
- Evans D. and S. Al-Hamdani (2015) Selected physiological responses of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) to drought stress. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 3:500-507.
- Fernández-Arroyo S., I. C. Rodríguez-Medina, R. Beltrán-Debón, F. Pasini, J. Joven, V. Micol, A. Segura-Carretero and A. Fernández-Gutiérrez (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.
- Hartzfeld P. W., R. Forkner, M. D. Hunter and A. E. Hagerman (2002) Determination of hydrolyzable tannins (gallotannins and ellagitannins) after reaction with potassium iodate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:1785-1790.
- Jackson S. D. (2009) Plant responses to photoperiod. *New Phytologist* 181:517-531.
- Kader A. (2002) Fruits in the global market. In: Fruit Quality and its Biological Basis. M. Knee (ed.). Sheffield Academic. Columbus. pp:1-14.
- Lin H.-H., J.-H. Chen and C.-J. Wang (2011) Chemopreventive properties and molecular mechanisms of the bioactive compounds in *Hibiscus sabdariffa* Linne. *Current Medicinal Chemistry* 18:1245-1254.
- Lunn J. and J. Buttriss (2007) Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin* 32: 21-64.
- Mañas E. and F. Saura-Calixto (1995) Dietary fibre analysis: methodological error sources. *European Journal of Clinical Nutrition*

- 49:S158.
- Mercado-Mercado G., F. J. Blancas-Benitez, G. R. Velderrain-Rodríguez, E. Montalvo-González, G. A. González-Aguilar, E. Alvarez-Parrilla and S. G. Sáyago-Ayerdi (2015) Bioaccessibility of polyphenols released and associated to dietary fibre in calyces and decoction residues of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Functional Foods* 18:171-181.
- Montreau F. (1972) Sur le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins par la methode Folin-Ciocalteau. *Connaiss Vigne Vin* 24:397-404.
- Pérez-Jiménez J., S. Arranz and F. Saura-Calixto (2009) Proanthocyanidin content in foods is largely underestimated in the literature data: an approach to quantification of the missing proanthocyanidins. *Food Research International* 42:1381-1388.
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237.
- Reed J. D., R. T. McDowell, P. J. Van Soest and P. R. Horvath (1982) Condensed tannins: a factor limiting the use of cassava forage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33:213-220.
- Sáyago-Ayerdi S. G., S. Arranz, J. Serrano and I. Goñi (2007) Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in roselle flower (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:7886-7890.
- Sáyago-Ayerdi S. G., C. Velázquez-López, E. Montalvo-González and I. Goñi (2014) By product from decoction process of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces as a source of polyphenols and dietary fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94:898-904.
- Secretaría de Economía (2010) Norma Mexicana NMX-FF-115-SCFI. Productos agrícolas destinados para consumo humano -flor (cáliz) de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) - especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación 22 de marzo de 2010. 21 p.
- Torres-Morán M. I., M. Escoto-Delgadillo, J. Ron-Parra, G. Parra-Tovar, S. Mena-Munguía, A. Rodríguez-García, A. Rodríguez-Sahagún and O. Castellanos-Hernández (2011) Relationships among twelve genotypes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated in western Mexico. *Industrial Crops and Products* 34:1079-1083.
- Vázquez-Flores A. A., E. Álvarez-Parrilla, J. A. López-Díaz, A. Wall-Medrano y L. De la Rosa (2012) Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnología Chihuahua* 6:84-93.
- Vicente A. R., G. A. Manganaris, G. O. Sozzi and C. H. Crisosto (2009) Nutritional quality of fruits and vegetables. In: Postharvest Handling: A System Approach. J. Wojciech, R. L. Florkowski, B. B. Shewfelt and S. E. Prussia (eds.). Elsevier. New York. pp:57-106.
- Wong S. K., Y. Y. Lim and E. Chan (2009) Antioxidant properties of *Hibiscus*: species variation, altitudinal change, coastal influence and floral colour change. *Journal of Tropical Forest Science*, 21:307-315.
- Zhen J., T. S. Villani, Y. Guo, Y. Qi, K. Chin, M.-H. Pan, C.-T. Ho, J. E. Simon and Q. Wu. (2016) Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and anti-inflammatory activity of *Hibiscus sabdariffa* leaves. *Food chemistry* 190:673-680.