

CAROTENOIDES Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS EN CABEZUELAS DE MUESTRAS MEXICANAS DE *Tagetes erecta* L.

CAROTENOIDS AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS IN FLOWER HEADS FROM MEXICAN SAMPLES OF *Tagetes erecta* L.

Miguel A. Serrato Cruz¹, José L. Sánchez Millán^{2,5,6*}, Juan S. Barajas Pérez³, Federico A. García Jiménez^{2,6}, Alma A. del Villar Martínez³, Martha L. Arenas Ocampo³, Arturo Aguirre Gómez⁵, Ricardo Santiago Díaz⁶, Sandra E. Moreno Paloalto⁶, Víctor L. Barradas Miranda^{4,6} e Hilda C. Gómez Villar⁷

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, México. ²Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria. 04510, México D. F. ³Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. Km 8.5 Carretera Yautepec-Jojutla, Col. San Isidro. 62731, Yautepec, Morelos, México. ⁴Instituto de Ecología, UNAM. Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria. 04510, México D. F. ⁵Cátedra de Química de Suelos, Agua y Aire y Plantas, ⁶Cátedra de Mejoramiento de Plantas Comestibles y ⁷Carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km 2.5, Cuautitlán Izcalli, México.

* Autor para correspondencia (jlsan@correo.unam.mx)

RESUMEN

Se presenta la primera evaluación del contenido de carotenoides y variables morfológicas de cabezuelas de *Tagetes erecta* L. en germoplasma mexicano. Para el análisis de carotenoides se usaron 24 plantas seleccionadas al azar de 400 accesiones, dos poblaciones de cabezuela anaranjada seleccionadas *in situ* y dos grupos de harinas de lígulas provenientes de accesiones de color naranja; en características morfológicas se evaluaron 62 accesiones. El análisis RAMAN para carotenoides de las harinas de 28 materiales reveló las concentraciones siguientes: muy baja (≤ 4 g kg⁻¹), baja (4.1 a 8 g kg⁻¹), media (8.1 a 12 g kg⁻¹), alta (12.1 a 16 g kg⁻¹) y muy alta (> 16 g kg⁻¹), donde la mayor concentración correspondió a las muestras de color anaranjado. Hubo variación en diámetro y peso fresco de inflorescencia (3.8 a 9.7 cm; 2.3 a 17.2 g), peso fresco de lígulas (1.5 g a 13.4 g) y de receptáculo (0.8 g a 5.4 g), y en la relación lígula/receptáculo (1.1 a 3.5).

Palabras clave: *Tagetes erecta*, germoplasma, variabilidad, carotenoides, rendimiento.

SUMMARY

Carotenoids and morphological evaluation of flower heads of *Tagetes erecta* L. from Mexican germplasm is presented for the first time. Twenty four randomly selected plants from different accessions, two additional accessions with orange flower head selected *in situ*, and two groups of ligule powder from 400 accessions of orange color were considered for analyzing carotenoids; 62 accessions were used to evaluate morphological traits. RAMAN technique for carotenoids from ligule powder of 28 samples revealed the following carotenoid concentrations: very low (≤ 4 g kg⁻¹), low (4.1 to 8 g kg⁻¹), medium (8.1 to 12 g kg⁻¹), high (12.1 to 16 g kg⁻¹) and very high (> 16 g kg⁻¹). The highest carotenoid concentration was registered in orange colored samples. Variation was observed for diameter and fresh weight of flower head (3.8 to 9.7 cm; 2.3 to 17.2 g), ligule (1.5 g to 13.4 g) and receptacle (0.8 g to 5.4 g) fresh weight, and for the ligule/receptacle ratio (1.1 to 3.5).

Index words: *Tagetes erecta*, Mexican germplasm, variability, carotenoids, yield.

INTRODUCCIÓN

Tagetes erecta L. es una planta mesoamericana domesticada por diferentes grupos indígenas antes de la llegada de los españoles a América (Kaplan, 1960; Neher, 1968). En México se le conoce con el nombre de “cempasúchil”, donde se cultiva para disponer de flores amarillas o anaranjadas, aromáticas, durante celebraciones como la del Día de Muertos (Serrato, 2004). Esta práctica tradicional realizada por campesinos ha favorecido la preservación de germoplasma en diferentes regiones de México (Serrato *et al.*, 2003 a, b).

Se ha desarrollado un mercado internacional de pigmentos extraídos del cempasúchil, porque a partir de los carotenoides que contiene el conjunto de lígulas de la cabezuela se elaboran productos antioxidantes y anticancerígenos (Slattery *et al.*, 2000; Young y Lowe, 2001). En China, India y Perú se concentra la producción mundial de cempasúchil. Hasta antes del año 2000, esta especie se cultivaba extensivamente en México, pero recientemente su cultivo se ha reducido por circunstancias socioeconómicas y de productividad (Núñez; Com. personal)¹. Las variedades que se utilizan para la obtención de pigmentos son híbridos de cabezuela tipo doble que solamente tienen flores individuales liguladas, como ‘Scarlet’, o bien híbridos de cabezuela tipo intermedia (90 a 95 % de flores liguladas). El contenido de carotenoides de las variedades industriales es de alrededor de 16 g kg⁻¹ de harina (a partir de inflorescencias frescas), aunque las variedades como ‘Scarlet’ tienen un potencial de rendimiento de 23 g kg⁻¹ (Núñez; *Op. cit.*).

¹ Francisco Núñez Urquiza, Director General de INDUSTRIAS AL-COSA. Autopista Qro-Irapuato Km. 36. Apaseo El Alto, Gto.

Existe interés en incrementar el contenido de pigmentos en las nuevas variedades de *T. erecta*. En el mejoramiento genético de esta especie se plantean dos caminos, ingeniería genética y mejoramiento genético convencional (Del Villar-Martínez *et al.*, 2007); este último se fundamenta en que es posible una mayor producción de carotenoides por los efectos genéticos de dominancia, de aditividad y de su interacción que definen a ese carácter (Sreekala y Raghava, 2003), para expresar heterobeltiosis en características relacionadas con la cantidad de pigmento (Gupta *et al.*, 2001). Por tanto, la variabilidad genética disponible en contenido de carotenoides y de caracteres como la biomasa de lígulas y de receptáculo de la cabezuela, es indispensable en el proceso de selección y obtención de variedades sobresalientes de alta calidad.

En la literatura se consigna que los primeros estudios sobre caracterización de carotenoides de *T. erecta* se hicieron en la India (Bosma *et al.*, 2003; Rao *et al.*, 2005) con germoplasma que los portugueses llevaron en el siglo XVI (Neher, Com. personal²), pero se estima que la variabilidad genética que existe en la India es menor que la que hay en México. El cempasúchil se cultiva asociado con maíz (*Zea mays* L.) en una amplia diversidad de ambientes (Serrato, 1990a); al respecto, se reconocen cerca de 30 000 ambientes para la producción tradicional de maíz (Muñoz, 2005). La investigación sobre caracterización del germoplasma mexicano de *T. erecta* es escasa (Serrato, 1990b; Galicia-Fuentes, 1995). En materiales del Valle de México, la coloración de la inflorescencia, indicador directo del contenido de carotenoides (Sánchez-Millán *et al.*, 2007) que se expresa en gradientes, destacan cinco tonalidades de amarillo y diez de anaranjado (Serrato, 1990b; Galicia-Fuentes, 1995).

La diversidad ambiental y cultural en la que crece el cempasúchil en México sugiere una rica variabilidad en esta especie. En México se está formando el Banco Nacional de Germoplasma de *Tagetes* con auspicio del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos. En este trabajo se presenta un estudio piloto para evaluar contenido carotenoides y variables morfológicas asociadas, en muestras de *T. erecta*, con la finalidad de explorar la variabilidad potencial del germoplasma mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el año 2006 se establecieron 400 accesiones de *T. erecta* en condiciones de campo experimental, en Chapingo, México, proporcionadas por el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo; cada

material en campo estuvo representado por 20 a 30 plantas. Para el análisis de carotenoides se tomó una muestra independiente al azar de cabezuelas de 26 accesiones (un individuo tipo doble por cada accesión) (Figura 1); también se incorporaron dos muestras independientes de harina de cabezuelas tipo doble de materiales de Huetamo, Michoacán (cuatro individuos) y de Huauchinango, Puebla (tres individuos) (Figuras 1 y 2), seleccionadas por su color anaranjado, más dos materiales recolectados *in situ* de parcelas de productores, uno de la comunidad “La Granada” municipio de Tzintzuntzán, Michoacán y otro de Juventino Rosas, Guanajuato (Figura 1).

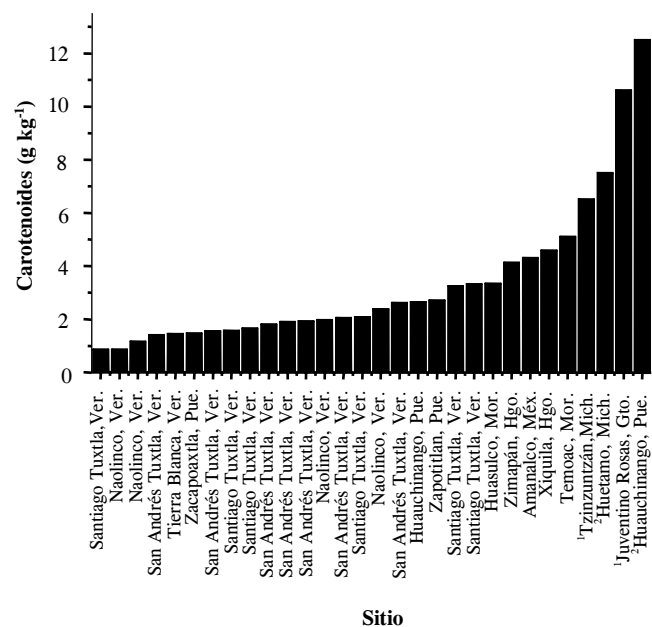


Figura 1. Contenido de carotenoides (g kg⁻¹) de muestras de cabezuelas de germoplasma mexicano de *T. erecta*: (sin superíndice)- Individuos de accesiones seleccionadas al azar de un total de 400 accesiones establecidas en Chapingo, México; (¹)-Poblaciones seleccionadas de harinas anaranjadas (promedio de 3-4 individuos); (²)-Poblaciones seleccionadas *in situ* por cabezuelas anaranjadas (promedio de 20-30 individuos).

De cada recolecta se muestrearon de 40 a 50 plantas con cabezuela tipo doble de color anaranjado, y se cortó una cabezuela por planta; las lígulas obtenidas por recolecta se juntaron para obtener una muestra mezclada para el análisis de pigmento. De cada planta se cosechó la cabezuela que presentó el total de lígulas abiertas, y se cortó justo por debajo de la base del receptáculo. Las lígulas frescas de cada cabezuela se deshidrataron en una estufa a 50 °C por 10 a 15 h, hasta peso seco constante. Las lígulas deshidratadas fueron maceradas y tamizadas en una malla # 40 hasta obtener la harina. Posteriormente se determinó la cantidad de carotenoides mediante la técnica RAMAN, descrita por Sánchez-Millán *et al.* (2007).

² Neher R T (1965) Monograph of the genus *Tagetes* (Compositae). Ph. D. Dissertation, Indiana University. Bloomington, Indiana. USA. 306 p.

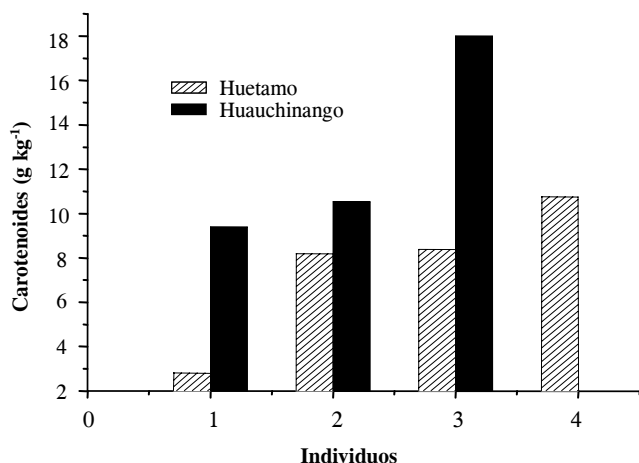


Figura 2. Contenido de carotenoides en individuos de poblaciones de *T. erecta* de Huetamo y Huauchinango seleccionadas de harinas anaranjadas.

Para evaluar morfología, del total de las 400 accesiones se tomó una muestra independiente al azar de 62 de ellas (7 a 13 individuos con inflorescencia tipo doble por accesión) (Cuadros 1, 2, 3 y 4); en pocos casos hubo individuos que coincidieron en el análisis de carotenoides y morfológico. Previo al corte de la cabezuela, se midió el

diámetro y luego el peso fresco de la cabezuela completa, de las lígulas y del receptáculo por separado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras analizadas presentaron amplia variación entre poblaciones en el contenido de carotenoides, y se agruparon en intervalos con las siguientes categorías: muy bajo ($\leq 4 \text{ g kg}^{-1}$), bajo (4.1 a 8 g kg^{-1}), medio (8.1 a 12 g kg^{-1}), alto (12.1 a 16 g kg^{-1}) y muy alto ($> 16 \text{ g kg}^{-1}$) (Figuras 1 y 2).

En el grupo de 26 accesiones se detectaron individuos que producen de muy baja a baja concentración de carotenoides, como las de Naolinco (0.8 g kg^{-1}) o de Temoac (5 g kg^{-1}) (Figura 1); las recolectas *in situ* de Tzintzuntzan y de Juventino Rosas mostraron rendimiento bajo (6.5 g kg^{-1}) y medio (10.2 g kg^{-1}), respectivamente (Figura 1). En el grupo de accesiones de Huetamo y Huauchinango el rendimiento promedio fue bajo (7.5 g kg^{-1}) y alto (12.4 g kg^{-1}), respectivamente (Figura 2); pero hubo plantas individuales, como una de Huauchinango que produjo 18 g kg^{-1} , lo que denota variabilidad intrapoblacional.

Cuadro 1. Promedios (\bar{x}) y desviaciones estándar (de) de diámetro de cabezuela (Dc), peso fresco de cabezuela (Pftc), peso fresco de lígulas (Pfl), peso fresco de receptáculo (Pfr) y relación Pfl/Pfr, de accesiones de *T. erecta* de Hidalgo y Michoacán, de un total de 400 accesiones establecidas en Chapingo, México.

Accesiones	Dc (cm) $\bar{x} \pm \text{de}$	Pftc (g) $\bar{x} \pm \text{de}$	Pfl (g) $\bar{x} \pm \text{de}$	Pfr (g) $\bar{x} \pm \text{de}$	Pfl/Pfr
Hidalgo					
284	6.3 ± 0.4	10.5 ± 0.2	5.8 ± 0.2	4.2 ± 0.1	1.38
285	7.0 ± 1.2	14.3 ± 3.3	9.1 ± 3.2	5.4 ± 0.5	1.68
A246	7.2 ± 0.9	10.4 ± 3.1	7.4 ± 2.7	3.1 ± 0.9	2.38
A250	7.4 ± 1.1	10.8 ± 3.0	7.4 ± 2.3	3.6 ± 1.1	2.05
280	7.6 ± 1.1	13.2 ± 4.0	8.7 ± 3.3	4.5 ± 1.0	1.90
Puebla					
343	5.1 ± 0.2	6.1 ± 2.3	3.4 ± 0.7	2.7 ± 1.5	1.25
337	5.5 ± 0.6	6.6 ± 1.6	4.2 ± 1.3	2.3 ± 0.3	1.82
342	5.7 ± 0.8	6.7 ± 1.7	4.0 ± 1.4	2.7 ± 0.4	1.48
340	5.8 ± 1.0	7.7 ± 3.0	5.3 ± 2.2	2.4 ± 0.8	2.20
347	5.9 ± 0.4	8.1 ± 1.9	4.9 ± 1.5	3.1 ± 0.7	1.58
339	6.2 ± 0.9	8.8 ± 3.2	5.8 ± 2.2	3.0 ± 1.8	1.93
335	6.2 ± 1.0	6.8 ± 3.9	4.2 ± 1.9	2.6 ± 1.9	1.61
341	6.7 ± 0.7	8.7 ± 2.3	6.1 ± 1.9	2.5 ± 0.5	2.44
351	6.7 ± 0.9	12.4 ± 2.9	8.1 ± 2.5	4.2 ± 0.9	1.92
344	6.9 ± 0.8	10.2 ± 1.8	6.9 ± 1.3	3.2 ± 0.9	3.00
345	6.9 ± 1.0	10.1 ± 3.6	7.1 ± 2.7	3.0 ± 1.1	2.36
346	7.1 ± 1.3	11.7 ± 2.3	7.7 ± 2.2	3.9 ± 0.8	1.92
336	7.4 ± 0.7	11.7 ± 2.3	8.1 ± 2.0	3.5 ± 0.6	2.31
349	7.7 ± 1.2	13.6 ± 6.0	9.9 ± 4.8	3.7 ± 1.3	2.67
334	8.1 ± 0.7	10.3 ± 0.7	7.5 ± 0.5	2.8 ± 0.2	2.67
348	8.3 ± 0.5	14.4 ± 2.4	9.8 ± 1.3	4.6 ± 1.9	2.13

Cuadro 2. Promedios (\bar{X}) y desviaciones estándar (de) de diámetro de cabezuela (Dc), peso fresco de cabezuela (Pftc), peso fresco de lígulas (Pfl), peso fresco de receptáculo (Pfr) y relación Pfl/Pfr, de accesiones de *T. erecta* de Puebla, de un total de 400 accesiones establecidas en Chapingo, México.

Accesiones	Dc (cm) $\bar{X} \pm de$	Pftc (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl (g) $\bar{X} \pm de$	Pfr (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl/Pfr
42	6.3 ± 1.1	6.5 ± 2.4	3.5 ± 1.7	2.9 ± 0.9	1.20
32	6.6 ± 1.2	8.7 ± 3.5	5.2 ± 1.8	3.4 ± 2.6	1.52
311	6.9 ± 1.7	10.4 ± 6.1	6.9 ± 4.0	3.5 ± 2.1	1.97
26	7.1 ± 1.1	13.0 ± 4.3	8.0 ± 3.3	5.0 ± 1.6	1.60
P2	7.2 ± 1.2	10.4 ± 1.9	6.3 ± 1.8	4.0 ± 0.9	1.56
40	7.3 ± 1.2	12.1 ± 3.1	7.4 ± 2.8	4.6 ± 0.8	1.60
60	7.6 ± 1.4	16.0 ± 13.7	7.8 ± 2.8	4.6 ± 1.8	1.69
36	7.6 ± 1.4	8.7 ± 2.7	5.6 ± 2.4	3.1 ± 0.9	1.80
4	7.8 ± 1.4	14.3 ± 6.1	9.1 ± 4.9	5.1 ± 1.7	1.80
305	8.0 ± 0.7	16.2 ± 3.9	11.7 ± 3.0	4.4 ± 1.3	2.65
30	8.0 ± 0.9	13.0 ± 4.8	9.0 ± 3.8	4.0 ± 1.1	2.25
72	8.1 ± 1.4	14.5 ± 5.7	10.6 ± 4.6	3.9 ± 1.1	2.71
53	8.2 ± 1.2	11.6 ± 4.2	7.6 ± 3.6	4.0 ± 0.7	1.90
52	8.2 ± 1.6	13.4 ± 3.4	9.0 ± 3.2	4.3 ± 0.9	2.09
28	8.3 ± 1.3	11.8 ± 5.1	8.4 ± 4.4	3.4 ± 1.0	2.47
44	8.4 ± 1.1	17.6 ± 6.3	12.1 ± 5.6	5.4 ± 1.4	2.24
55	8.5 ± 1.0	14.5 ± 3.2	10.3 ± 2.6	4.1 ± 0.9	2.51
22	8.6 ± 1.3	15.6 ± 6.2	11.3 ± 5.1	4.2 ± 1.3	2.69
80	8.7 ± 1.3	14.5 ± 5.1	10.6 ± 4.3	3.9 ± 0.9	2.71
46	9.2 ± 1.4	13.1 ± 3.8	9.4 ± 3.2	3.7 ± 0.7	2.54

Cuadro 3. Promedios (\bar{X}) y desviaciones estándar (de) de diámetro de cabezuela (Dc), peso fresco de cabezuela (Pftc), peso fresco de lígulas (Pfl), peso fresco de receptáculo (Pfr) y relación Pfl/Pfr, de accesiones de *T. erecta* de Veracruz, de un total de 400 accesiones establecidas en Chapingo, México.

Accesiones	Dc (cm) $\bar{X} \pm de$	Pftc (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl (g) $\bar{X} \pm de$	Pfr (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl/Pfr
153	3.8 ± 0.8	2.3 ± 0.8	1.5 ± 0.6	0.8 ± 0.3	1.87
127	5.5 ± 0.9	5.4 ± 1.9	3.6 ± 1.4	1.8 ± 0.5	2.00
124	5.6 ± 0.5	6.1 ± 1.4	3.8 ± 1.2	2.2 ± 0.3	1.72
135	6.2 ± 1.4	9.1 ± 3.8	4.8 ± 2.0	4.3 ± 3.4	1.11
130	6.3 ± 0.8	7.8 ± 1.6	4.5 ± 1.1	3.2 ± 0.8	1.37
A 141	6.6 ± 0.4	10.0 ± 2.1	6.7 ± 1.9	3.3 ± 0.6	2.03
141	6.6 ± 0.9	9.6 ± 2.4	6.6 ± 1.9	3.0 ± 0.6	2.20
117	6.7 ± 0.9	9.0 ± 2.2	5.7 ± 1.7	3.3 ± 0.7	1.72
139	6.8 ± 1.5	7.4 ± 2.5	4.9 ± 1.9	2.5 ± 0.8	1.96
137	7.0 ± 0.9	8.9 ± 2.8	6.3 ± 2.6	2.6 ± 0.1	2.42
142	7.3 ± 0.9	8.5 ± 2.3	5.9 ± 1.9	2.5 ± 0.4	2.36
85	7.3 ± 1.5	13.5 ± 4.7	9.2 ± 3.7	4.3 ± 1.2	2.13
140	7.7 ± 1.3	11.5 ± 4.7	8.4 ± 4.1	3.1 ± 1.3	2.7
148	7.7 ± 1.8	12.5 ± 5.1	9.4 ± 3.6	3.1 ± 1.4	3.03
90	8.1 ± 1.2	13.1 ± 4.4	9.9 ± 3.4	3.1 ± 1.1	3.19
145	8.4 ± 0.9	11.2 ± 1.2	7.9 ± 1.3	3.2 ± 0.4	2.46
105	9.1 ± 2.3	14.6 ± 6.4	10.6 ± 5.2	3.9 ± 1.3	2.71
326	9.2 ± 0.6	16.5 ± 3.2	11.6 ± 2.5	4.9 ± 0.7	2.36
322	9.7 ± 1.2	17.2 ± 8.8	13.4 ± 7.3	3.8 ± 1.6	3.52

Cuadro 4. Promedios (\bar{X}) y desviaciones estándar (de) de diámetro de cabezuela (Dc), peso fresco de cabezuela (Pftc), peso fresco de lígulas (Pfl), peso fresco de receptáculo (Pfr) y relación Pfl/Pfr, de accesiones de *T. erecta* de San Luis Potosí, de un total de 400 accesiones establecidas en Chapingo, México.

Accesiones	Dc (cm) $\bar{X} \pm de$	Pftc (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl (g) $\bar{X} \pm de$	Pfr (g) $\bar{X} \pm de$	Pfl/Pfr
286	4.7 ± 0.3	5.6 ± 1.3	3.6 ± 1.0	2.1 ± 0.6	1.71
294	7.4 ± 1.0	15.2 ± 5.9	10.1 ± 4.5	5.2 ± 1.4	1.94

Las variables morfológicas presentaron amplia variabilidad entre poblaciones: el diámetro de la cabezuela varió de 3.8 (Veracruz 153) a 9.7 cm (Veracruz 322); en estas mismas poblaciones se observó el mínimo y el máximo peso fresco de cabezuela (2.3 g y 17.2 g, respectivamente) y de lígulas (1.5 g y 13.4 g, respectivamente) (Cuadros 1 a 4); el peso fresco de receptáculo osciló de 0.8 g (Veracruz 153) a 5.4 g (Hidalgo 285 y Puebla 44). También se detectó variabilidad intrapoblacional en las desviaciones estándar de: diámetro de cabezuela, 0.2 a 1.8 cm; peso fresco de cabezuela, 0.2 a 8.8 g; peso fresco de lígulas, 0.2 a 7.3 g; y peso fresco de receptáculo, 0.1 a 3.4 g. Hubo variación en la relación peso de lígula/peso de receptáculo, de 1.1 (Veracruz 135) a 3.5 (Veracruz 322), pero los valores pueden ser de 4 a 7 si se adicionan los valores altos de desviación estándar del peso de lígulas, como en las accesiones: Veracruz 322, 105, 9 y 148; Puebla 72, 305, 22, 80 y 46; y Michoacán 334 y 349.

Este estudio conforma el primer antecedente sobre caracterización de carotenoides y variables morfológicas de rendimiento en germoplasma mexicano, y por primera vez se aplica la espectroscopía RAMAN para cuantificación de carotenoides en *T. erecta* en un tamaño de muestra grande, aplicación derivada del trabajo de Sánchez-Millán *et al.* (2007).

En algunos trabajos realizados en la India (Rao *et al.*, 2005) sobre variabilidad de carotenoides en germoplasma de *T. erecta*, se cita una amplitud de 2 a 27 g kg⁻¹ de harina, intervalo en el que se encontraron las 28 muestras de germoplasma mexicano (Figuras 1 y 2). En ese estudio se señala que las mayores concentraciones de carotenoides (13, 18, 26 y 27 g kg⁻¹) correspondieron a cuatro variedades comerciales de color anaranjado; dos variedades más con cabezuelas de coloración amarilla tuvieron 5 y 8 g kg⁻¹, y otras cuatro selecciones de germoplasma local de manejo tradicional, presentaron 2, 3, 6 y 10 g kg⁻¹. Estas referencias permiten apreciar que las muestras mexicanas se ubican en la categoría de muy bajo y bajo rendimiento de carotenoides (Figura 1); en este caso, la selección aleatoria de individuos del grupo de 24 accesiones correspondió a materiales con cabezuelas de color amarillo y anaranjado tenue, cuyos bajos o muy bajos rendimientos de carotenoides (Figura 1) coinciden con los registrados para las variedades amarillas y selecciones locales mencionadas por Rao *et al.* (2005).

La detección de individuos sobresalientes en las muestras mexicanas se asoció con la selección hacia el color anaranjado de las harinas y de cabezuelas de plantas in situ. Según Sánchez-Millán *et al.* (2007), la mayor concentración de carotenoides está correlacionada con el color anaranjado de las cabezuelas. Por tanto, las diez tona-

lidades de anaranjado que Serrato (1990b) y Galicia-Fuentes (1995) encontraron en cabezuelas de materiales regionales, confirman la posibilidad de encontrar genotipos superiores. En una etapa posterior se aplicará análisis RAMAN a harinas de coloración anaranjada de las 400 accesiones de *T. erecta*, y se presume habrá materiales de muy alto rendimiento en carotenoides; tal pronóstico y la evidencia de individuos como el de Huauchinango, con muy alto rendimiento de este pigmento, estimulan al trabajo de mejoramiento genético para obtención de variedades de alta productividad.

El contenido de carotenoides por unidad de peso está relacionado con la biomasa involucrada en su síntesis y con la unidad de superficie donde tal biomasa se produce (Bosma *et al.*, 2003; Rao *et al.*, 2005). Al respecto, el germoplasma mexicano analizado mostró más variabilidad en el peso fresco de la cabezuela que el germoplasma hindú (3.9 a 16.7 g) referido por Rao *et al.* (2005). Al comparar con material de la India, en variación en diámetro de la cabezuela (5.9 a 13.4 cm), peso fresco de lígulas (1.8 a 14 g), peso fresco de receptáculo (0.9 a 7.1 g) y la relación lígulas/receptáculo (0.9 a 7.1), los materiales mexicanos se ubicaron en esos mismos rangos (Cuadro 1). La alta desviación estándar de características relacionadas con la producción de carotenoides en algunas colecciones mexicanas indica que una parte de la variación intrapoblacional puede alcanzar la más alta expresión en biomasa útil, como las que tienen las variedades indias con altos cocientes de lígulas/receptáculo.

Se espera que al finalizar la evaluación de las 400 accesiones se detecte mayor número de materiales sobresalientes en carotenoides y en biomasa útil, variabilidad importante para el mejoramiento genético de la especie, que impacte su productividad y contribuya al retorno de este cultivo a México de manera comercial.

CONCLUSIONES

La muestra de germoplasma mexicano de *T. erecta* presenta variabilidad en la concentración de carotenoides y en variables morfológicas asociadas con el rendimiento del pigmento. Una parte de esta variabilidad en carotenoides y en la relación lígula/receptáculo, es cercana al nivel de expresión alto que muestran las variedades comerciales referidas en la literatura.

BIBLIOGRAFÍA

- Bosma T L, J M Dole, N O Maness (2003) Optimizing marigold (*Tagetes erecta* L.) petal and pigment yield. *Crop Sci.* 43: 2118-2124.
- Del Villar Martínez A A, M A Serrato Cruz, A Solano Navarro, M L Arenas Ocampo, A G Quintero Gutiérrez, J L Sánchez

- Millán, S Evangelista Lozano, A Jiménez Aparicio, F A García Jiménez, P E Venegas Espinoza (2007) Carotenoides en *Tagetes erecta* L. la modificación genética como alternativa. Rev. Fitotec. Mex. 30: 109-118.
- Galicia-Fuentes S (1995) Diversidad floral de diferentes especies de cempoalxóchitl. Rev. Fitotec. Mex. 18: 43-53.
- Gupta Y C, S P S Raghava, R L Misra (2001) Heterobeltiosis in African marigold (*Tagetes erecta* L.). Indian J. Gen. Plant Breed. 61: 65-68.
- Kaplan L (1960) Historical and ethnobiological aspects of domestication in *Tagetes*. Econ. Bot. 14: 200-202.
- Muñoz O A (2005) Centli-Maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 210 p.
- Neher R T (1968) The ethnobotany of *Tagetes*. Econ. Bot. 22: 317-325.
- Rao C C, V P Goud, M K Reddy, G Padmaja (2005) Screening of African marigold (*Tagetes erecta* L.) cultivars for flower yield and carotenoid pigments. Indian J. Hort. 62: 276-279.
- Sánchez Millán J L, M A Serrato Cruz, A A Del Villar Martínez, P E Venegas Espinosa, S Evangelista Lozano, A Jiménez Aparicio, A G Quintero Gutiérrez, F A García Jiménez (2007) Espectroscopia RAMAN: herramienta rápida y no invasiva para determinar carotenoides en inflorescencias de *Tagetes erecta* L. Agrociencia 41:863-871.
- Serrato C M A (1990a) Mejoramiento tradicional del cempoalxóchitl (*Tagetes erecta* L.): posible punto de partida en el fitomejoramiento científico. Rev. Chapingo 15:144-150.
- Serrato C M A (1990b) Contribución al conocimiento de las características florales del cempasúchil *Tagetes* spp. Rev. Chapingo 15:151-155.
- Serrato C M A, I Domínguez-Jiménez, O Nolasco (2003a) Biological and cultural aspects of marigold (*Tagetes* spp.) at Mixe communities in Oaxaca (México). Delpinoa 45:37-42.
- Serrato C M A, A J Castro-Macías, F C González-Márquez (2003b) Las ofrendas de "Flor de Muerto" de Otomíes y Náhuatls de la Región Oriental de México. Delpinoa 45:43-48.
- Serrato C M A (2004) Cempoalxóchitl y Días de Muertos. Arqueología Mexicana XII 68:70-73.
- Slattery M L, J Benson, K Curtin, K-N Ma, D Scheffer, J D Potter (2000) Carotenoids and colon cancer. Am. J. Clinical Nutr. 71:575-582.
- Sreekala C, S P Raghava (2003) Exploitation of heterosis for carotenoid content in African marigold (*Tagetes erecta* L.) and its correlation with esterase polymorphism. Theor. Appl. Genet. 106:771-776.
- Young A J, G M Lowe (2001) Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. Arch. Biochem. Biophys. 385:20-27.