

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE UNA MUESTRA LOCAL DE *Bixa orellana* L., EN TABASCO, MÉXICO

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A LOCAL SAMPLE OF *Bixa orellana* L., IN TABASCO, MÉXICO

Arias-Pérez, I.M.¹; De Dios-Durán, F.M.¹; Avalos-Fernández, J.M.¹; Zaldívar-Cruz, J.M.²; Rincón-Ramírez, J.²; del Rivero-Bautista, N.^{2*}

¹Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco. Carretera Vecinal Comalcalco-Paraíso km. 2. Rancharía Occidente 3a. Sección, Comalcalco, Tabasco. ²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n. Col. Río Seco y Montaña, Cárdenas, Tabasco, CP 86500.

*Autor por correspondencia: rnidya@colpos.mx

RESUMEN

Se caracterizaron diferentes accesiones de achiote (*Bixa orellana* L.), mediante 17 caracteres cuantitativos de planta, hoja, flor y fruto, cinco cualitativos de morfología de la planta, tales como tipo de cápsula, color del haz de las hojas, tipo de hojas, color de la flor, tipo de fruto y color de la semilla. Los resultados mostraron 16 accesiones diferentes de las 40 evaluadas. Se encontraron frutos de forma acorazonada, lancetada y oblonga con y sin tricomas, y colores verdes, rojos, cafés y amarillos. Las variables que mostraron diferencias significativas fueron diámetro de cápsula, ancho de semilla, peso húmedo y seco de semillas. Las variables con mayor correlación fueron peso húmedo y peso seco de semilla. Dos componentes principales explicaron el 43.25% de la variabilidad total de las variables evaluadas.

Palabras clave: Accesiones, fenotipo, variabilidad.

ABSTRACT

Different accessions of achiote (*Bixa orellana* L.) were characterized through 17 quantitative characters of the plant, leaf, flower and fruit, five qualitative ones of plant morphology, such as type of capsule, color of the leaf sheaf, type of leaves, flower color, type of fruit and seed color. The results showed 16 different accessions from the 40 evaluated. Fruits were found with heart, lancet and oblong shape, with and without trichomes, and green, red, brown and yellow colors. The variables that showed significant differences were capsule diameter, seed width, moist weight, and seed sack. The variables with higher correlation were moist weight and dry weight of the seed. Two principal components explained 43.25 % of the total variability of the variables evaluated.

Keywords: accessions, phenotype, variability.



INTRODUCCIÓN

La importancia de los colorantes de origen vegetal había decaído desde la aparición en el mercado de los productos sintéticos derivados del petróleo, aluminio y carbón. Sin embargo, se están buscando colorantes naturales como sustitutos de los artificiales debido a que en algunos países se han prohibido los colorantes de origen mineral y sintético porque, en algunos de ellos, se han encontrado indicios de efectos nocivos para la salud (Leal y Clavijo, 2010). El achiote (*Bixa orellana* L.) es cultivado por su capacidad única para producir bixina, un apocarotenoido, que se encuentra en el arilo de la semilla y es utilizado en la industria de los alimentos (Giuliano *et al.*, 2003). La bixina es un colorante natural permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ya que, reconoce su nula toxicidad tanto para consumo humano no altera el sabor de los alimentos, y se permite aplicar en la industria cosmetológica (Hussar, 2004; Leal y Michelangeli, 2010). Diferentes autores han realizado caracterizaciones del achiote, entre ellos, Enríquez y Salazar (1983) con base en datos de rendimiento, características de las cápsulas e incidencia de *Oidium bixae*, encontraron que la formación de frutos fue dependiente del ataque de plagas, enfermedades y polinización entomófila. Además, señalan muy alta variabilidad genética del rendimiento. Por otro lado, Arce (1984) estudió 81 plantas de *B. orellana* de la colección del CATIE, Costa Rica, procedentes de Honduras y Guatemala y obtuvo relaciones de interés entre las características cuantitativas y cualitativas estudiadas. En Colombia, Vallejo *et al.* (1981) y Vallejo (1991) estudiaron 21 introducciones de diferentes procedencias encontrándose variabilidad fenotípica, dentro y entre las accesiones estudiadas, para caracteres agronómicos, tales como altura del árbol, precocidad de la cosecha, resistencia a *Oidium* sp., sequía, coloración y forma de las cápsulas, presencia de tricomas en la cápsula, entre otros. González (1992) caracterizó 58 accesiones de la Selva Peruana y encontró gran variabilidad genética de la especie, observando diversidad en cuanto al hábito de crecimiento (arbustos y árboles); coloración del tallo (gris, anaranjado y marrón); color de las hojas (verdes con diferentes tonalidades y violetas); color de las flores (blancas y violetas con diferentes tonalidades); color de los frutos (verdes, amarillos, naranjas y rojos con diferentes tonalidades; marrón y negro); forma de los frutos (ovoide, redondo elíptico y cónico); tricomas de los frutos (sin, muy baja, baja, alta y muy alta); longitud de los tricomas (muy cortas, cortas, largas y muy

largas); número de semillas por fruto. Mientras que, en Venezuela Mazzani *et al.* (2000) agruparon las variaciones de las características por su origen y registraron que los materiales estudiados poseen alta variabilidad y las poblaciones estudiadas son diversas entre sí, resaltando que el grado de diferenciación existente entre las accesiones estudiadas depende de su procedencia. En este contexto el objetivo de este estudio fue caracterizar morfológicamente las variedades de achiote encontradas en los municipios de Comalcalco y Paraíso, Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las accesiones fueron recolectadas en seis localidades del municipio de Comalcalco y dos localidades del municipio de Paraíso en el estado de Tabasco, México. El clima según Köppen modificado por García (2004), es cálido húmedo Am (f) con lluvias en verano con una precipitación media anual de 1 945 mm y temperatura media anual de 26.5 °C.

Caracterización morfológica

Se utilizaron los descriptores desarrollados por Arce (1999). Se tomaron cinco plantas y se les describieron 23 caracteres cuantitativos: altura de la planta (cm) medida desde la base a la primera bifurcación y diámetro del tallo (cm); hoja: largo, ancho (cm) y número de venas; flor: largo, ancho (cm) y número de pétalos; fruto: peso panícula (g), número de cápsulas por panícula, longitud y ancho de la cápsula (cm), relación ancho/longitud de la cápsula (cm), número de semillas por cápsula, longitud de la semilla (cm), ancho de la semilla (cm) y grosor de la semilla, relación ancho/longitud de la semillas, grosor del exocarpo, peso seco y húmedo de las semillas (g), número de carpelos y seis caracteres cualitativos de morfología de la planta y componentes de rendimiento (tipo de cápsula, color del haz de las hojas, tipo de hojas, color de la flor, tipo de fruto y color de la semilla). Se utilizó un diseño completamente al azar, con las comprobaciones de normalidad y homogeneidad de la varianza (Lidman, 1974), y se les aplicó un análisis de varianza simple. Se efectuó una prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (LSD) con un nivel de significancia de 0.05. Se realizó un análisis estadístico de componentes principales basado en una matriz con los datos morfológicos evaluados y la utilización del criterio de Cliff (1987). Además, se hizo un análisis de correlación entre las variables con el software SAS University Edition (2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para la caracterización morfológica de 41 accesiones mostraron diferencias; 16 de ellas las registraron en cuanto a color, tipo y forma del fruto, peso de los racimos, número de semillas por fruto, peso seco y húmedo de las semillas, altura y diámetro de la planta.

Accesión 1: Ranchería I. Zaragoza Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta igual a 3.3 m, y 40 cm de diámetro del tallo. Hojas lanceolada, 12.4 cm de largo, y 6.8 cm de ancho, color verde, venación de 13 nervaduras, fruto lancetado rugoso color verde con pocos tricomas, con 19 cápsulas por panícula, y éstas con 2.4 cm de ancho, y 4.1 cm de largo. La relación diámetro/longitud de cápsula igual a 0.5 cm, y 25 semillas por cápsula; la semilla con 0.5 cm de longitud, y 0.4 cm de ancho de color rojo y tres carpelos.



Accesión 2: Ranchería Cocohital, Comalcalco, Tabasco, México

Altura planta de 0.89 m, con 14 cm de diámetro de tallo, hojas lanceolada, de 22 y 11.5 cm de largo y ancho respectivamente, color verde, venación de 13, fruto oblongo liso color verde sin tricomas, con 16 cápsulas por panícula, de 1.4 cm de ancho y 3.7 cm de largo. Relación diámetro/longitud de cápsula: 0.3 cm., 45 semillas por cápsula con 0.4 cm y 0.3 cm de largo y ancho respectivamente, color rojo y dos carpelos.



Accesión 3: Ranchería I. Zaragoza, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de hasta 1.85 m, con 45 cm de diámetro de tallo, hojas lanceoladas, con 11.5 cm y 8.8 cm de largo y ancho respectivamente,



mente, color verde, venación de 12, fruto oblongo liso color verde con tonalidades color café sin tricomas. 26 cápsulas por panícula, de 1.6 cm y 3.4 cm de largo y ancho, con relación diámetro/longitud de cápsula de 0.4 cm, número de semillas por cápsula de 36, y 0.4 cm y 0.3 cm, de largo y ancho respectivamente, color rojo naranja y dos carpelos.

Accesión 4: Ranchería Cocohital, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.81 m, y 48 cm de diámetro de tallo, hoja ovada, con 11 cm y 7.8 cm de largo por ancho, color verde, venación de 11, fruto acorazonado color verde con abundantes tricomas rojizos, y 12 cápsulas por panícula, con 2.2 cm y 3.4 cm de largo por ancho, una relación diámetro/longitud de cápsula de 0.6 cm, con 14 semillas por cápsula, de 0.4 cm y 0.3 cm de largo y ancho, color rojo claro y dos carpelos.



Accesión 5: Ranchería Occidente 3ª. Sección, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.72 m, y 43 cm de diámetro de tallo, hoja lancetada, con 22.5 cm y 11.2 cm de largo y ancho, color verde, venación de 20, fruto acorazonado color verde con pocos tricomas de tonalidad rojo, con 36 cápsulas por panícula, y 2.3 cm y 3.8 cm de ancho y largo respectivamente, con relación diámetro/longitud de cápsula de 1.2 cm, 37 semillas por cápsula, con 0.3 cm y 0.5 cm de largo y ancho de semilla, color rojo y dos carpelos.



Accesión 6: Ranchería Madero, Paraíso, Tabasco, México

Altura de planta de 0.65 m, y 29 cm de diámetro de tallo, hoja lanceolada, con 11.9 cm y 4.9 cm de largo y ancho, color verde, venación de



14, fruto acorazonado color verde, pocos tricomas color rojo, 36 cápsulas por panícula, con 2.3 cm y 3.5 cm de ancho y largo, relación diámetro/longitud de cápsula de 0.6 cm, 37 semillas por cápsula de 0.3 cm por 0.5 cm de ancho y largo, color rojo naranja y dos carpelos.

Accesión 7: Ranchería Occidente 3ª sección, Comalcalco, Tabasco

Altura de planta de 0.54 m, 28 cm de diámetro de tallo hoja ovada, con 10.5 cm y 6.3 cm de largo por ancho, color verde, venación de 11, fruto acorazonado liso color amarillo sin tricomas. 26 cápsulas por panícula, de 2.3 cm y 6.7 cm de ancho por largo, relación diámetro/longitud de cápsula de 0.3 cm, 25 semillas por cápsula, de 0.5 cm por 0.3 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.



Accesión 8: Ranchería Centro Tular, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.47 m y 35 cm de diámetro de tallo, hoja lanceolada de 12.5 cm y 6.7 cm de largo por ancho, color verde, venación de 17, fruto lancetado color amarillo, pocos tricomas, 26 cápsulas por panícula de 2.0 cm por 4.4 cm de largo por ancho, relación diámetro/longitud de cápsula de 0.4 cm, 33 semillas por cápsula, de 0.5 cm, por 0.4 cm de largo y ancho, color rojo y dos carpelos.



Accesión 9: Ranchería Cocohital, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.81 m, y 42 cm de diámetro de tallo, hoja lanceolada, de 15 cm, y 8.3 cm de largo por ancho, color verde, venación de 11, fruto lancetado, liso color amarillo sin tricomas, con 20 cápsulas por



panícula, de 1.6 cm y 2.9 cm de ancho por largo, y relación diámetro/longitud de cápsula de 0.5 cm. 9 semillas por cápsula, de 0.5 cm por 0.2 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.

Accesión 10: Ranchería Madero, Paraíso, Tabasco, México

Altura de planta de 0.63 m, 42 cm de diámetro de tallo, hojas lanceolada, con 7.8 cm y 12.5 cm de largo y ancho, color verde amarillo, venación de 11, fruto lancetado, rugoso color amarillo y pocos tricomas, 15 cápsulas por panícula, y 2 cm de largo por 3.3 cm de ancho, y relación diámetro/longitud de cápsula de 0.6 cm. 24 semillas por cápsula, y 0.5 cm por 0.3 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.



Accesión 11: Ranchería Madero, Paraíso, Tabasco, México

Altura planta de 0.54 m, diámetro de tallo de 37 cm, hojas lanceolada, con 17.7 cm y 7.7 cm de largo por ancho, color verde oscuro, y venación de 17. Fruto: lancetado color verde oscuro y pocos tricomas. 18 cápsulas por panícula, con 2.4 cm y 3.7 cm de ancho por largo, con relación diámetro/longitud de cápsula: 0.6 cm. 35 semillas por cápsula, de 0.4 cm por 0.4 cm de largo por ancho, semillas color Rojo y dos carpelos 2.



Accesión 12: Ranchería Occidente 3ª Sección, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.65 m, diámetro de tallo de 40 cm, hoja lancetada, con 16 cm por 7 cm de largo por ancho, color verde claro y venación de 16. Fruto oblongo, liso, color rojo claro sin tricomas, 18 cápsulas por panícula con 2.4 cm de ancho y 3.2 cm de largo; la relación diámetro/longitud de cápsula de 0.7 cm; 36 semillas por cápsula, y



0.4 cm por 0.2 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.

Accesión 13: Ranchería Madero, Paraíso, Tabasco, México

Altura de planta de 0.47 m, y diámetro de tallo de 35 cm, hoja lanceolada, de 18.5 cm y 11.7 cm largo por ancho, color verde oscuro, y venación de 14.



Fruto acorazonado color rojo oscuro con abundantes tricomas; 16 cápsulas por panícula, con ancho de 2.6 cm, y largo de 4.1 cm, con relación diámetro/longitud de cápsula de 0.6 cm. 45 semillas por cápsula, y 0.5 cm de largo por 0.4 cm de ancho, color rojo y dos carpelos.

Accesión 14: Ranchería Occidente 3ª Sección, Comalcalco, Tabasco, México

Altura planta de 1.84 m, y diámetro de 65 cm, hoja ovada, con 19 cm de largo por 10 cm de ancho, color verde claro, venación de 15; fruto acorazonado color rojo claro



con abundantes tricomas. 11 cápsulas por panícula con cápsula de 2.9 cm de largo y 4.2 cm de ancho; y relación diámetro/longitud de cápsula: 0.6 cm. 14 semillas por cápsula; 0.5 cm y 0.3 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.

Accesión 15: Ranchería Occidente 3ª. Sección, Comalcalco, Tabasco, México

Altura de planta de 0.67 m, con diámetro de tallo de 22.5 cm; hoja lancetada de 12.3 cm, por 5.6 cm de largo por ancho, color verde claro, y venación de 12. Fruto



acorazonado, rugoso, color rojo claro, pocos tricomas, 18 cápsulas por panícula con ancho de cápsula de 2.5 cm por 3.9 cm largo por ancho, relación diámetro/longitud de cápsula de 0.6 cm, 42 semillas por cápsula, con

largo de semilla de 0.5 cm y 0.3 cm de ancho, color rojo y dos carpelos.

Accesión 16: Ranchería Cocohital, Comalcalco, Tabasco, México

Con 2.5 m de altura, diámetro tallo de 68 cm, hoja ovada, con 18 cm por 7.5 cm de largo por ancho, color verde claro, y venación de 13. Fruto oblongo, liso, color verde con tonalidad



rojiza, sin tricomas, con 28 cápsulas por panícula, y ancho de cápsula de 1.9 cm, largo de 3.9 cm, y relación diámetro/longitud de cápsula de 0.4 cm. 36 semillas por cápsula, con 0.5 cm y 0.8 cm de largo por ancho, color rojo y dos carpelos.

Los resultados coinciden con los obtenidos por Arce (1984) para 13 de las 41 accesiones. Se encontraron tres accesiones con alturas promedios de 2.06 m y pudo observarse que el diámetro del tallo disminuyó. En cuanto, a la variable número de semillas por cápsula se registró un rango promedio de 24 hasta 38 semillas por cápsula, que concuerdan con Ambrosio *et al.* (2015) para plantas de achiote cultivadas. Para la variable color del fruto, los colores fueron de rojos, amarillos, verdes y cafés y poseían dos valvas, lo que coincide con los referidos por Arce, (1984) y León, (1987), aunque en ocasiones es posible encontrar frutos con tres valvas. La forma de los frutos coincide con lo señalado por Narciso (2012), quién encontró frutos lancetados, oblongos y acorazonados. El color de las semillas, varió de rojo a naranja (Ambrosio *et al.*, 2015). El diámetro de cápsula, ancho semilla, peso seco y peso húmedo de semilla mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En cuanto a diámetro de cápsula, el mayor valor (3.06 cm) se registró en Ranchería Cocohital, sin diferencias significativas con las recolectadas en los otros sitios. Para el ancho de semilla el menor valor de 0.3 cm se observó en semillas que se recolectaron en ranchería I. Zaragoza. Los menores valores para peso seco (46.6 g) y peso húmedo (50.3 g) se encontraron en la ranchería Occidente, con diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 1).

Asociación entre variables morfológicas

El análisis de correlación (no mostrado), indicó una

Cuadro 1. Variables evaluadas diámetro de cápsula, ancho de semilla, peso seco y húmedo de la semilla de achiote colectadas en las comunidades de los municipios de Comalcalco y Paraiso, Tabasco.

Tratamientos (Localidad)	Variables evaluadas			
	Diámetro cápsula (cm)	Ancho semilla (cm)	Peso seco semilla (g)	Peso húmedo semilla (g)
Ra. Ignacio Zaragoza	2.03 b	0.3 b	244.6 a	237.3 a
Ra. Cocohital	3.06 a	0.5 a	245.0 a	253.6 a
Centro Tular 1ª. Secc.	2.46 ab	0.5 a	377.3 a	386.6 a
Ra. Occidente 3ª. Secc.	1.66 b	0.3 a	46.6 b	50.3 b
Ra. Madero 1ª. Secc.	2.43 ab	0.4 ab	230.0 a	240.0 a

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba DMS para $p < 0.05$.

relación entre las variables peso húmedo y peso seco de la semilla de 99% ($p < 0.01$). También, se registró asociación entre las variables peso seco de semillas y número de frutos con el peso de frutos con un coeficiente de correlación de 0.6557 y $r = 0.6496$. Las otras variables que presentan altas correlaciones fueron relación diámetro-longitud de cápsulas y largo del fruto ($r = -0.7152$) y la relación ancho-longitud semillas con número de venas ($r = 0.6264$). Durante el crecimiento de los frutos las semillas regulan muchos aspectos de su desarrollo y diferenciación debido a que aportan elevados niveles de hormonas necesarias para su maduración, de tal manera, que en la mayoría de los frutos existen fuertes correlaciones entre su tamaño final y contenido de semillas desarrolladas, sobre todo si se trata de frutos provistos de numerosas semillas (Devadas *et al.*, 1999). El aborto de las semillas durante alguna fase de su ontogenia se refleja en cambios morfológicos que modifican la geometría, el peso y dimensiones de los frutos de numerosas especies (Leopold y Kriedeman, 1975). Dado que el arilo presente en la semilla contiene la bixina (colorante de alto valor comercial), sería conveniente considerar el factor tamaño de cápsula

en programas de mejoramiento donde se pretenda obtener mayor producción del pigmento (Medina *et al.*, 2001). Los resultados de los componentes principales son interpretados tomando como base sus valores y vectores propios. Sobre la base de las características morfológicas cuantitativas (Cuadro 2), se seleccionaron los valores propios significativos mediante el criterio de Cliff (1987), permitiendo la descripción de los resultados en función

de los dos primeros componentes principales (CP), esta combinación mostró que los componentes principales 1 y 2, explicaron 43.25% de la variabilidad. Las variables que explicaron en mayor proporción la variabilidad en el CP1, fueron peso de racimo, número de frutos, peso húmedo semillas y peso seco semillas (Cuadro 2). Para el componente principal 2, largo fruto y ancho semilla fueron las características más asociadas con dicha variabilidad.

Cuadro 2. Autovectores generados de acuerdo a componentes principales 1 y 2 basados en características morfológicas cuantitativas para accesiones de *Bixa orellana*.

VARIABLES	Componente 1	Componente 2
Altura planta	0.35703	-0.43165
Diámetro tallo	0.25853	0.32507
Largo hoja	-0.47271	-0.11094
Ancho hoja	-0.19878	0.18478
Número venas	-0.76397	0.35918
Peso racimo	0.86731	0.02687
Número frutos	0.73048	-0.22162
Diámetro fruto	0.29329	0.60494
Largo fruto	-0.06415	0.78347
Relación Diámetro/Longitud fruto	0.13589	-0.45227
Grosor exocarpo	-0.15855	0.28320
Grosor semilla	-0.26240	0.33234
Ancho semilla	-0.09324	0.69631
Relación Ancho/Longitud Semillas	-0.67910	0.32166
Número semillas	0.03440	-0.36909
Peso seco semillas	0.76105	0.54997
Peso húmedo semillas	0.73738	0.55773

CP1+CP2=24.25%+19.00%=43.25 %

CONCLUSIONES

Se encontraron 16 accesiones diferentes en ocho localidades de los municipios de Comalcalco y Paraíso. Las variables con la más alta correlación fueron peso húmedo y peso seco de semilla. Los componentes principales 1 y 2 explicaron 43.25% de la variabilidad total.

LITERATURA CITADA

- Ambrosio M.P., J. Lins G., Dequigiovanni E. A., Veasey, Clement Ch. R. 2015. The domestication of annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia. *Economic Botany*, 20(10):1-9.
- Arce P.J. 1984. Caracterización de 81 plantas de achiote (*Bixa orellana*) de la colección del CATIE procedentes de Honduras y Guatemala y propagación vegetativa por estacas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 170 p.
- Arce P.J. 1999. El achiote *Bixa orellana* L. Cultivo promisorio para el trópico. Earth (1ª. ed.) Turrialba, Costa Rica. 149 pp.
- Cliff N. 1987. Analyzing multivariate data. San Diego, CA: Harcourt, Brace Jovanovich Publishers. 494 pp.
- Devadas V.S., Kuriakose K.J., Rani T.G., Gopalakrishnan T.R., Fair S.R. 1999. Influence of fruit size on seed content and quality in pumpkin (*Cucurbita moschata* Poir). *Seed Res.* 27(1):71-73.
- Enríquez G.A., Salazar L.G. 1983. Variabilidad genética del rendimiento y algunas otras características del achiote (*Bixa orellana* L.). En: Aspectos sobre el achiote y perspectivas para Costa Rica. Trabajos presentados. Editado por J. Arce P. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N° 47. Costa Rica. 77-702 pp.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No. 6. 5a. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 98 p.
- Giuliano G., Rosati C., Bramley P. 2003. To dye or not to dye: Biochemistry of annatto unveiled. *Trends Biotechnol.*, 21:513-515.
- González C.A. 1992. Colección y mantenimiento de germoplasma de achiote (*Bixa orellana* L.) en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, 4(1):49-63.
- Hussar M.M. 2004. Análise Técnica e Econômica da Atividade Agropecuária do Urucuzaeiro (*Bixa orellana* L.) no Município de Paranacity. Unidade Municipal de Paranacity, Brasil. 44 p. Disponible en: http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca_Virtual/Premio_Extensao_Rural/2_Premio_ER/06_An_Tec_Econ_Urucun.pdf. Consultado el día 25 de marzo de 2014.
- Leal F., Michelangeli C de C. 2010. Annatto: A natural Dye from the Tropics. *Chronical Horticulturae*, 3(50):34-36.
- Leal F., Clavijo C.M. 2010. Annatto: A natural dye from the tropics. *Chronical Horticulturae*, 50:34-36.
- Leopold A.C., Kriedemann P.E. 1975. Plant growth and development. McGraw-Hill Book Company. 545 pp.
- León J. 1987. Fundamentos Botánica de los Cultivos Tropicales. 2ª. Edición. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA). San José, Costa Rica. 445 p.
- Mazzani E., Marín R.C., Segovia V. 2000. Estudio de la variabilidad existente en la colección de onoto (*Bixa orellana* L.) del CENIAP, FONAIAP. Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 17:492-504.
- Medina A.M., Michelangeli C., Ramis C., Díaz A. 2001. Caracterización morfológica de frutos de onoto (*Bixa orellana* L.) y su correspondencia con patrones de proteínas e isoenzimas. *Acta Científica Venezolana*, 52:14-23.
- Narciso R.L. 2012. Manual para la producción de "achiote" (*Bixa orellana* L.). Tesis de Licenciatura. Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31357/1/leonardojaviernarcisoreyes.pdf>
- Vallejo F., Escobar O., Gómez C. 1981. Variabilidad fenotípica de los componentes de rendimiento y otros caracteres cuantitativos de *Bixa* sp. *Acta Agronómica (Colombia)* 31(1/4):25-34.
- Vallejo F. 1991. Evaluación de germoplasma de achiote *Bixa orellana* L.: Estudios básicos sobre asociaciones fenotípicas y biología floral. *Acta Agronómica (Colombia)*, 41(1/4):7-20.