

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA MEXICANO DE CEBOLLA BLANCA (*Allium cepa* L.) ACRIOLLADA

Enrique González-Pérez, Carlos Alberto Núñez-Colín, Jaime Canul-Ku, Salvador Villalobos-Reyes y José Luis Anaya-López

RESUMEN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es un cultivo de importancia mundial y ocupa el segundo lugar en la producción hortícola en México, siendo su superficie sembrada principalmente con semilla importada. Con el objetivo de identificar germoplasma élite para desarrollar variedades mexicanas, se caracterizaron 48 genotipos de cebolla blanca acriollada en México bajo las condiciones agroclimáticas del Bajío, siguiendo los descriptores varietales de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). Se determinó el porcentaje de genotipos con caracteres similares, se realizaron análisis de conglomerados y de coordenadas principales (ACooP) con base en ocho caracteres de interés agronómico. En follaje, el 76% presentó plantas erectas y el 61% tuvo hojas con un nivel medio de cerosidad. El quebrado del follaje fue mayormente de tipo intermedio y el 63% tuvo hojas grandes. En el pseu-

dotallo, el 63% presentó número medio de hojas y pseudotallo largo. En bulbo, el 81,25% tuvo cuellos anchos de tamaño medio, el 54,3% produjo bulbos grandes y el 63,3% desarrolló el diámetro máximo en el extremo del tallo. La sección longitudinal del bulbo fue elíptica, transversalmente media y rómbica, predominando la forma de ápice ligeramente prominente y el 67,3% presentó la base del bulbo redonda. Los genotipos se concentraron en seis grupos, donde siete líneas fueron polifiléticas. Dos grupos fueron monofiléticos y solo agruparon individuos de la misma línea, como se comprobó con el ACooP. La evaluación agronómica mostró diferencias significativas en siete de ocho caracteres evaluados, donde algunos genotipos presentaron valores sobresalientes. Finalmente, la amplia variabilidad morfológica encontrada puede ser utilizada en programas de mejoramiento.

Introducción

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más importantes en muchos países debido a su uso gastronómico (Sharma *et al.*, 2024), sus propiedades beneficiosas para la salud y su influencia en la dieta alimenticia humana (Ochar y Kim, 2023). En México, se posiciona como la segunda en importancia económica detrás del jitomate, con una superficie de siembra de 7 mil hectáreas y

una producción aproximada de 1.6 millones de toneladas en 2022. El 62% de la producción proviene de los estados de Chihuahua, Guanajuato, Zacatecas, Michoacán y Tamaulipas (SIAP, 2023), donde se siembra más del 90% de la superficie con genotipos de origen extranjero.

Los materiales mejorados y los híbridos de muchos vegetales en el mundo han contribuido a incrementar el rendimiento y a mejorar particularmente la

uniformidad y calidad del producto primario. Sin embargo, las variedades de polinización libre, como la cebolla, continúan cultivándose a gran escala en todo el mundo por su costo relativamente bajo, ya que no se emplea mano de obra en la polinización ni en la mantención de los parentales (Caselles *et al.*, 2019). El uso de semilla mejorada importada para la producción intensiva de cebolla incrementa sustancialmente los costos de producción (\$

370USD por 100 mil semillas; densidad de plantación 333 mil plantas) y genera dependencia de materiales externos. Esto ha llevado a que productores de bajos recursos disminuyan el uso de materiales mejorados y opten por utilizar semilla que reproducen de variedades originales. Uno de los factores que ha agudizado tales condiciones es la falta de materiales mejorados de origen mexicano. El último material fue liberado hace más de 20 años en el

PALABRAS CLAVE / Morfología / Carácter / Coordenadas Principales / Producción /

Recibido: 17/05/2024. Modificado: 08/10/2024. Aceptado: 10/10/2024.

Enrique González Pérez (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29, Tlaxcala, México. Maestro y Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Dirección: km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Roque, Celaya, C.P. 38110, Guanajuato,

México. e-mail: gonzalez.enrique@inifap.gob.mx.

Carlos Alberto Núñez-Colín. Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. Maestro en Ciencias en Horticultura y Doctor en Ciencias en Horticultura, UACH. Profesor Titular, Programa de Ingeniería en Biotecnología, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, México. Mutualismo #303 Col. La Suiza, Celaya, 38060, Guanajuato, México.

Jaime Canul Ku. Doctorado en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular del Programa de Hortalizas, Campo Experimental Zacatepec, CIRPAS, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

Salvador Villalobos Reyes. Maestro en Ciencias en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Titular, Programa de Hortalizas, Campo Experimental Bajío, Centro de Investigación Regional Centro del Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, México.

José Luis Anaya López. Doctor en Ciencias en Biotecnología Molecular Agropecuaria, Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Investigador Titular, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MEXICAN CRIOLLO WHITE ONION GERMOPASM (*Allium cepa* L.)

Enrique González-Pérez, Carlos Alberto Núñez-Colín, Jaime Canul-Ku, Salvador Villalobos-Reyes and José Luis Anaya-López

SUMMARY

Onion (*Allium cepa* L.) is a crop of global importance and ranks second in horticultural production in Mexico, with its area primarily planted with imported seeds. To identify elite germplasm for developing Mexican varieties, 48 genotypes of white criollo onion were characterized in Mexico under the agroclimatic conditions of the Bajío, following the varietal descriptors of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). The percentage of genotypes with similar traits was determined, and cluster analysis and principal coordinate analysis (PCoA) were performed based on eight agronomic traits of interest. In terms of foliage, 76% exhibited erect plants, and 61% had leaves with a medium level of waxiness. The leaf break was predominantly intermediate, and 63% had large leaves. In the pseudostem, 63% showed an

average number of leaves and a long pseudostem. Regarding the bulb, 81.25% had medium-sized wide necks, 54.3% produced large bulbs, and 63.3% developed the maximum diameter at the stem end. The longitudinal section of the bulb was elliptical, moderately cross-sectioned, and rhomboidal, with a predominance of slightly prominent apex shape, and 67.3% exhibited a round bulb base. The genotypes were concentrated into six groups, with seven lines being polyphyletic. Two groups were monophyletic, grouping only individuals of the same line, as confirmed by the PCoA. The agronomic evaluation showed significant differences in seven of the eight evaluated traits, with some genotypes displaying outstanding values. Finally, the broad morphological variability found can be utilized in improvement programs.

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO GERMOPLASMA MEXICANO DO CEBOLA BRANCA (*Allium cepa* L.) CRIOLLADA

Enrique González-Pérez, Carlos Alberto Núñez-Colín, Jaime Canul-Ku, Salvador Villalobos-Reyes e José Luis Anaya-López

RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é um cultivo de importância mundial e ocupa o segundo lugar na produção hortícola no México, sendo sua superfície plantada principalmente com sementes importadas. Com o objetivo de identificar germoplasma elite para desenvolver variedades mexicanas, foram caracterizados 48 genótipos de cebola branca criolla no México, sob as condições agroclimáticas do Bajío, seguindo os descritores varietais da União Internacional para a Proteção das Obtenções Vegetais (UPOV). Determinou-se a porcentagem de genótipos com caracteres similares, e foram realizadas análises de conglomerados e de coordenadas principais (PCoA) com base em oito caracteres de interesse agrônomo. Em relação ao folhagem, 76% apresentaram plantas eretas e 61% tiveram folhas com um nível médio de cerosidade. O quebrado da folhagem foi majoritariamente do tipo intermediário e 63% tiveram folhas gran-

des. No pseudocaule, 63% apresentaram número médio de folhas e pseudocaule longo. Em relação ao bulbo, 81,25% tiveram pescoços largos de tamanho médio, 54,3% produziram bulbos grandes e 63,3% desenvolveram o diâmetro máximo na extremidade do caule. A seção longitudinal do bulbo foi elíptica, transversalmente média e rombóide, predominando a forma de ápice ligeiramente proeminente e 67,3% apresentaram a base do bulbo redonda. Os genótipos foram concentrados em seis grupos, onde sete linhagens foram polifiléticas. Dois grupos foram monofiléticos e agruparam apenas indivíduos da mesma linhagem, conforme comprovado pelo PCoA. A avaliação agrônoma mostrou diferenças significativas em sete dos oito caracteres avaliados, com alguns genótipos apresentando valores excepcionais. Finalmente, a ampla variabilidade morfológica encontrada pode ser utilizada em programas de melhoramento.

Campo Experimental Zacatepec, en el estado de Morelos, y hasta la fecha se sigue cultivando, sin embargo, al igual que otros materiales, ha sufrido degeneración genética, principalmente porque los productores solo reproducen su semilla considerando el tamaño del bulbo y la aparente sanidad (González-Pérez *et al.*, 2021). Esta situación hace necesario y urgente el desarrollo de materiales de alto rendimiento, adecuados a la tecnología que los

productores disponen y al ambiente donde se establece. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue la caracterización varietal de genotipos acriollados de cebolla blanca mexicana bajo las condiciones agroclimáticas del Bajío guanajuatense, México.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en el ciclo otoño-invierno 2023, en una parcela

experimental de 480m² (suelo vertisol, pH de 8,55, materia orgánica de 1,68%, densidad aparente de 0,99g·cm⁻³, conductividad eléctrica de 0,9dS·m⁻¹, 10,55mg·l⁻¹ de nitrógeno, 18,42mg·l⁻¹ de fósforo y 399.56 mg·l⁻¹ de potasio), ubicada en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en las coordenadas geográficas 20°34'47" LN y 100°49'13"

LO, a 1750m de altitud. El clima es semiseco semicálido (Bshw(w)) con lluvias en verano e invierno fresco, con temperatura media anual de 18,4 a 24°C y precipitación media anual de 300 a 600mm (García, 2004).

Material genético

Se utilizaron 48 genotipos de cebolla blanca (Tabla I) proporcionados por el Programa de Hortalizas del Campo

TABLA I
ORIGEN Y CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE 48 GENOTIPOS DE CEBOLLA BLANCA CULTIVADA Y
CARACTERIZADA EN EL CICLO OI-2022-2023. CAMPO EXPERIMENTAL BAJÍO, CELAYA, GTO., MÉXICO

Genotipo	Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)
L1-R1P1, L1-8bCE-R1P2, L2-R1P4, L6-7bN-R1P2, L6-5b-R1P4, L13-R1P4, L15-1bCE-R1P2, L15-3bCER1-P1, L15-4bCE-R2P3, L16-R2P3, L17-R1P2, L17-6bCE-R2P1	Apaseo el alto	20°27'21"	100°37'26"	1,845
L3-9CE-R1P1, L3-9CE-R1P4, L3-2bCE-R1P2, L3-10bR-R1P3, L3-13bCE-R1P3, L3-11bR-R1P1, L3-13bCE-R1P2, L3-13bCE-R1-P3	Celaya	20°34'38"	100°49'25"	1,763
L7-8bR-R1P2, L7-R2P3, L7-12bB-R1P3, L7-5bR-R1P1, L7-9bR-R1P2, L8-4b-R1P4, L8-5b-R1P1, L8-R2P3, L10-R1P2, L11-R1P2, L11-9bR-R2P3, L12-R1P2, L7-R2-P4	San Juan de la Vega	20°38'36"	100°59'28"	1,757
L4-4bR-R2P4, L18-6rB-R2P4, L18-7rB-R1P4, L18-5bR-R1P1, L19-R2P3, L20-3b-R1P2, L20-R1P2, L21-7bR-R2P4, L21-3bR-R2P4, L21-8bR-R1P3, L21-4bCE-R1P4, L21-9bR-R2P3, L22-R1P1, L23-4b-R1P2, L23-5b-R1P1, L22-R1-P4, L18-6B-R2-P4	Juventino Rosas	20°38'36"	100°59'28"	1,757

En el dendrograma y en el análisis de coordenadas principales a estos códigos se les agregó la réplica técnica (R1 o R2) y la planta (P1, P2, P3 o P4).

Experimental Bajío del INIFAP. Cada material se estableció en dos surcos de 4,0m de largo por 0,9m de ancho. La siembra se realizó a una hilera con distancia entre plantas de 15cm. En algunos casos, se hizo una réplica técnica por pérdida de plantas. El manejo del cultivo se basó en el paquete tecnológico de producción de cebolla recomendado por el INIFAP (Reveles *et al.*, 2014).

Caracteres de estudio

En cada uno de los 48 genotipos se evaluaron 20 caracteres morfológicos relacionados con el follaje, la hoja, el pseudotallo y el bulbo, con base en lo establecido en las directrices para cebolla aprobadas por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2008) y en la guía del Instituto Internacional de Recursos Genéticos Vegetales (IPGRI, 2001). Paralelamente, se evaluaron ocho caracteres de interés agronómico que incluyeron en el bulbo: la altura, diámetro, la relación altura/diámetro y peso; en la hoja: la longitud y el diámetro; y en el pseudotallo: la longitud y el diámetro (Reveles *et al.*, 2014). La intensidad del color verde del follaje se determinó con el método automatizado para medir color y área foliar mediante

imágenes digitales (MACF-IJ) (Sauceda-Acosta *et al.*, 2017). La valoración de la intensidad del quebrado del follaje se determinó de manera visual; la cerosidad de la hoja se evaluó por tacto, considerando los parámetros débil, medio, fuerte, muy fuerte y ausente; mientras que, de manera manual, se evaluó la adherencia de la piel considerando los parámetros débil, media y fuerte (UPOV).

Análisis de datos

Con los datos morfológicos se determinó el porcentaje de similitud entre genotipos y sus repeticiones, debido a que sus materiales de polinización libre. Posteriormente se realizó un análisis de conglomerados construyendo el dendrograma mediante el Coeficiente Simple Matching y el método de aglomeración de grupos de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA). Se consideró como unidad básica de caracterización a una planta, y se utilizaron cuatro plantas por línea para corroborar si las líneas eran monofiléticas (todas las réplicas al mismo grupo o phylla) o polifiléticas (si hay plantas en dos phylla o grupos en el dendrograma) (Sokal, 1963; Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). Además, se realizó un análisis de coordenadas principales (Gower, 2005), siguiendo las recomendaciones

de Peña-Caballero *et al.* (2020). Estos análisis se llevaron a cabo con el programa NTSYS 2.2 (Rohlf, 2005). Para las variables agronómicas, se aplicó un análisis de varianza de dos vías y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,05$) usando el programa SAS v. 9.1 (SAS Institute, 2004).

Resultados y Discusión

Caracterización morfológica

Follaje: La mayoría de los genotipos presentaron plantas de porte erecto (76%) y semi-erecto (24%) (Tabla II). La cerosidad se clasificó en nivel medio (61%) y débil (39%). En todos los genotipos, la intensidad del color verde fue de nivel medio, excepto en la línea L8-4b-R1-P4 que se observó verde claro. La mayoría de los genotipos (74,3%) mostraron quebrado débil de hoja, el 23% presentó quebrado intermedio y solo el 2,7% tuvo quebrado fuerte (Tabla II). Esta característica es importante, ya que el quebrado de hojas constituye un problema en muchos genotipos comerciales en etapas tempranas, debido a que los hace susceptibles a enfermedades foliares (Reveles *et al.*, 2014). Asimismo, la cerosidad identificada en 61% de los genotipos confirió tolerancia a enfermedades y daños por insectos plaga, ya que una mayor

cerosidad en las hojas dificulta a los insectos la absorción de savia y el masticado del tejido (McCallum, 2007).

Hojas: El 63% de los genotipos desarrollaron hojas largas (41 a 55 cm), 19,5% fueron muy largas (> 56 cm) y 17,5% se clasificaron como de tamaño medio (25 a 40cm), con diámetro muy grande (> 4,0cm) en la mayoría de los genotipos (82%) (Tabla II). De esos genotipos, el 21% presentó una relación entre el largo y el ancho de la hoja, particularmente en L11-9bR-R2-P3, L4-4bR-R2-P4, L7-8bR-R1-P2 y L18-7bR-R1-P4 (Tabla II). El número de hojas por pseudotallo fue medio (63%) en la mayoría de los genotipos. El número de hojas por planta en la cebolla puede estar relacionado con la actividad fotosintética de la planta y, por tanto, con la producción de fotoasimilados que pueden provocar un mayor desarrollo de los bulbos (Zarza-Silva *et al.*, 2015).

Pseudotallo: La longitud se clasificó como larga (>15,1cm) en 78% de los genotipos y media (10,0 a 15,0 cm) en 22%. L21-8bR-R1-P3 fue el único genotipo que presentó pseudotallo estrecho (12,8mm), mientras que, en el resto de genotipos, se observó ancho (>25,1 mm) y de tamaño medio (15,1 a 25,0 mm) (Tabla II). Este carácter es importante, por estar relacionado con la capacidad de la planta para resistir el acame, ya que

TABLA II
 CARACTERES MORFOLÓGICOS EVALUADOS EN GENOTIPOS DE CEBOLLA REPRESENTATIVOS DE CADA GRUPO
 GENÉTICO IDENTIFICADO. CULTIVADOS EN OI 2022-23. CELAYA, GTO., MÉXICO

Genotipo	Follaje				Hoja							Bulbo								
	P	C	ICV	Q	LH	AH	NHS	LP	DS	T	PDM	AC	SL	FA	FB	APS	EPS	CFPS	MCPS	CE
L21-9bR-R2P3	S	M	M	Au	M	G	B	L	M	M	PM	M	OA	LP	R	D	M	B	Cl	Au
L7-9bR-R1P2	S	D	M	I	L	G	M	L	An	G	HET	A	ETM	P	R	D	M	M	Cl	Au
L18-6bR-R2P4	S	D	M	Au	L	G	M	L	M	M	PM	M	Ro	LPA	R	D	M	B	Cl	Au
L4-4bR-R2P4	S	D	M	Au	ML	G	A	L	An	M	HET	MA	Ro	LPA	LC	D	M	M	Cl	Au
L7-8bR-R1P2	S	D	M	Au	ML	G	M	L	An	G	PM	A	Ro	LP	LC	D	Del	M	Cl	V
L21-3bR-R2P4	E	M	M	Au	L	M	A	L	An	G	HET	E	Ci	R	R	D	M	M	Cl	V
L7-5bR-R1P1	E	M	M	I	L	G	A	L	M	G	HET	M	Ro	LPA	R	M	Del	M	Cl	Au
L6-5b-R1P4	E	M	M	I	L	G	M	L	An	G	PM	MA	ETM	R	R	M	M	B	Cl	V
L12-R1P4	E	M	M	Au	L	G	A	L	M	M	PM	A	ETM	LP	R	D	M	B	M	V
L1-R1P1	E	D	M	Au	L	G	M	L	M	M	PM	M	ETM	LP	R	D	M	B	Cl	V
L8-5b-R1P1	E	M	M	Au	ML	G	M	M	M	G	PM	A	Ro	LP	R	D	M	B	Cl	V
L8-R2P3	S	M	M	Au	M	M	M	M	M	M	PM	A	ETM	LP	R	D	M	M	M	V
L11-R1P2	S	M	M	Au	L	G	B	L	M	G	PM	A	OA	LP	R	M	Del	B	M	V
L2-R1P4	E	D	M	Au	L	G	M	L	M	G	PM	A	AA	LP	R	M	Del	M	M	V
L22-R1P1	E	D	M	Au	L	G	M	L	An	G	PM	M	ETM	P	R	M	Del	B	M	V
L21-7bR-R2P4	E	M	M	Au	L	G	M	L	M	G	PM	A	Ro	R	De	D	M	B	M	V
L6-7bN-R1P2	E	M	M	Au	L	G	M	M	An	G	PM	M	ETM	LP	R	D	Del	M	M	V

P: Porte; C: Cerocidad; ICV: Intensidad del color verde; Q: Quebrado; LH: Longitud de la hoja; AH: Ancho de la hoja; NHS: Número de hojas por pseudotallo; LP: Longitud del pseudotallo; DS: Diámetro del pseudotallo; T: Tamaño; PDM: Posición del diámetro máximo; AC: Anchura del cuello; SL: Sección longitudinal; FA: Forma del ápice; FB: Forma de la base; APS : Adherencia de la piel seca; EPS: Espesor de la piel seca; CFPS: Color de fondo de la piel seca; MCPS: Matiz del color de la piel seca; CE: Color de la epidermis; E: Erecto; S: Semierecto; M: Medio; D: Débil; I: Intermedio; Au: Ausente; L: Largo; ML: Muy largo; G: Grande; B: Bajo; A: Alto; An: Ancho; E: Estrecho; PM: Punto medio; HET: Hacia el extremo del tallo; MA: Muy ancho; Ci: Circular; ETM: Elíptica transversal media; Ro: Rómbica; OA: Ovalada ancha; AA: Abovada ancha; R: Redonda; LP: Ligeramente prominente; P: Plano; LPA: Ligeramente puntiagudo; De: Deprimida; LC: Ligeramente cónica; Del: Delgado; M: Marrón; B: Blanca; Cl: Claro. V: Verduzco.

los de diámetro grande tienen menor incidencia de acame comparados con los delgados (Reveles-Hernández *et al.*, 2014).

Bulbo: El 54,3% de los genotipos produjo bulbo grande (diámetro: 7,1 a 9,0cm), 43,4% se clasificó como tamaño medio (5,1 a 7,0cm) y 2,3% tamaño pequeño (3,6 a 5,0cm) (Tabla II). Este carácter es uno de los más importantes, debido a que influye en el rendimiento y está estrechamente relacionado con los caracteres de la hoja (Reveles-Hernández *et al.*, 2014). La posición del diámetro máximo del bulbo se observó hacia el extremo del tallo en 63,3% de los genotipos; mientras que, en el 36% la posición fue hacia el punto medio. La mayoría de los genotipos desarrollaron cuellos anchos de 9,1 a 12,0mm (36,9%), de tamaño medio de 6,0 a 9,0mm (34,8%), estrecho < 6,0mm (17,4%) y

muy ancho >12,1mm (10,9%). El diámetro del cuello es un carácter importante al momento de la cosecha, debido a que las cebollas con cuellos gruesos tienen problemas en la postcosecha al ser más propensos a desarrollar podredumbre durante el almacenamiento, pero son determinantes en la resistencia al acame durante el desarrollo del cultivo (Zarza-Silva *et al.*, 2015). Asimismo, existe una relación entre el diámetro máximo del bulbo y el diámetro mínimo del cuello, que debe presentar un valor superior a 2,0 (Brewster, 2001). En la mayoría de los genotipos la sección longitudinal se clasificó como de forma elíptica transversal media (41,3%) y rómbica (36,9%); mientras que, L2-R2-P4 fue el único que mostró la forma abovada ancha. En el ápice predominó la forma ligeramente prominente (60,8%),

mientras que L18-5bR-R1-P1 fue el único con ápice fuertemente puntiagudo. La base del bulbo se observó redonda en el 67,3% de los genotipos y en el 17,3% fue ligeramente cónica. El resto de los genotipos mostró base deprimida y fuertemente cónica; mientras que, el genotipo L18-5bR-R1-P1 fue el único con base plana. Este carácter está estrechamente relacionado con la forma del bulbo, de acuerdo con lo indicado por Brewster (2008).

La adherencia de la piel seca se clasificó como débil (60,8%) y media (39,2%) (Tabla II). El consumidor prefiere que la adherencia de la piel sea débil para eliminarla fácilmente; sin embargo, durante el almacenamiento, la piel seca protege a las capas internas del bulbo de posibles ataques en la etapa poscosecha. Por ello, los genotipos con adherencia de piel

seca fuerte son considerados mejores (DeMason, 2018). El espesor de la piel varió de grueso a delgado, siendo L18-7bR-R1-P4 el único con piel gruesa. El color de fondo de la piel seca es un carácter relacionado con la presencia de antocianinas y otros compuestos (López-Martínez *et al.*, 2014). Los genotipos evaluados no mostraron coloración en la piel seca por tratarse de bulbos de color blanco. Con respecto al matiz del color de fondo de la piel seca, se observó color blanco y ligeramente marrón; mientras que el color de la epidermis fue de color verduzco en el 67,3% de los genotipos y el resto no mostró color.

Análisis de conglomerados

Con base en el análisis de conglomerados, se definieron seis grupos (Figura 1), donde

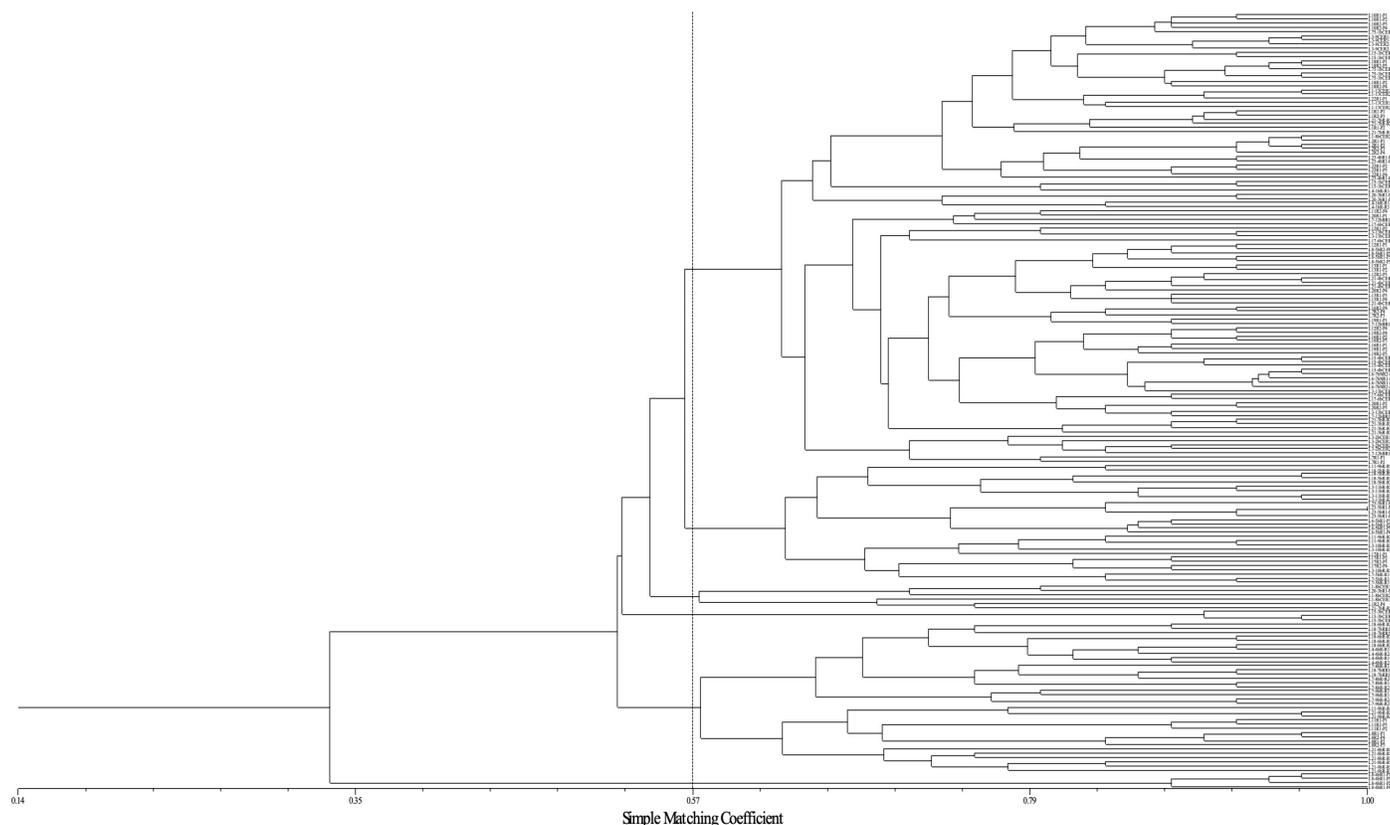


Figura 1. Dendrograma representativo de la similitud genética de 48 genotipos de cebolla obtenidos mediante el coeficiente Simple Matching y el método UPGMA. La ubicación de grupos es a partir de la línea de corte de la parte superior a la inferior del dendrograma.

se tuvieron siete genotipos con plantas del mismo genotipo en diferentes grupos; es decir, genotipos polifiléticos. Los grupos cuatro y seis fueron monofiléticos y presentaron las plantas de un solo genotipo; mientras que los otros grupos contuvieron genotipos polifiléticos, aunque la mayoría de ellos mostró líneas monofiléticas (Tabla III).

Con la delimitación de grupos obtenidos con el

dendrograma, se pueden determinar, a través de observación visual y subjetiva, los puntos en que cada nivel de agrupación cambia en el dendrograma (Cruz *et al.*, 2014). Esto permite, a través de la experiencia, escoger el mejor corte del dendrograma y estimar el número de grupos correcto, ya que no hay una prueba exacta para determinarlo (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011).

Diversos autores que han realizado trabajos de evaluación de la diversidad genética han indicado la formación de más grupos conformados por un número reducido de genotipos (Hoogerheide *et al.*, 2017; Vasconcelos-Segundo *et al.*, 2022), lo que contrasta con la diversidad encontrada en este estudio. Por otro lado, Luitel *et al.* (2023), en la caracterización de 76 accesiones, reportan la formación de tres grupos e

identifican a un grupo apropiado para seleccionar bulbos grandes y de forma circular.

La evaluación de la diversidad genética en colecciones de bancos de germoplasma es crucial para los programas de mejoramiento genético de cultivos como la cebolla. Esto permite seleccionar genotipos deseables, gestionar eficientemente los recursos fitogenéticos, evitando duplicidades y desarrollar nuevas variedades con

TABLA III
NÚMERO DE LÍNEAS MONOFILÉTICAS Y POLIFILÉTICAS EN LOS GRUPOS DEL DENDROGRAMA Y, DE LAS LÍNEAS POLIFILÉTICAS, EL NÚMERO DE MUESTRAS EN CADA GRUPO DEL DENDROGRAMA

Grupo	Líneas monofiléticas	Líneas polifiléticas	Líneas polifiléticas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 5
1	25	6	L11-9bR	0	3	0	1
2	6	2	L11	1	0	0	3
3	0	4	L1-8bCE	1	0	3	0
4	1	0	L1	3	0	1	0
5	8	2	L20-3b	2	0	1	0
6	1	0	L21-7bR	3	0	1	0
Totales	41	7	L7-5bR	1	2	0	0

características mejoradas para los agricultores (Lyngkhai *et al.*, 2021). En este contexto, los marcadores morfológicos representan una herramienta valiosa y accesible para determinar la diversidad genética, a pesar de sus limitaciones conocidas. Aunque el uso de marcadores morfológicos puede presentar dificultades para distinguir entre individuos o líneas estrechamente relacionadas, ya que están sujetos a influencias ambientales y requieren grandes conjuntos de datos fenotípicos (Jiang, 2013), sigue siendo un método válido para evaluar la diversidad genética en cultivos. Esto se debe a que los marcadores morfológicos generalmente representan polimorfismos genéticos que se pueden identificar y manipular con facilidad. Además, algunos de estos marcadores están vinculados a características agronómicas relevantes, lo que los convierte en criterios indirectos de selección en los procesos de mejoramiento genético (Jiang, 2013).

Análisis de coordenadas principales

Con el análisis de coordenadas principales (ACoP), se evidencian las diferencias entre los 48 genotipos de cebolla evaluados. Los porcentajes de la varianza obtenidos explican cada coordenada como un porcentaje total de la varianza. El análisis de coordenadas principales en el PC-1 (eje X) explica que el 31,2% del total de la variabilidad de caracteres morfológicos entre las líneas, mientras que el segundo componente PC-2 (eje Y), explica el 25,8% y, finalmente el PC-3 (eje Z) explica el 23,1% de la variabilidad, acumulando el 80,1% de la variabilidad en tres dimensiones.

Asimismo, se observa la diferenciación de las relaciones disimilares en los genotipos de cebolla evaluados (Figura 2), que corresponden con la agrupación del análisis clúster. Por ejemplo, el grupo 6 (L8-4b), que presenta menor similitud, se aísla del resto

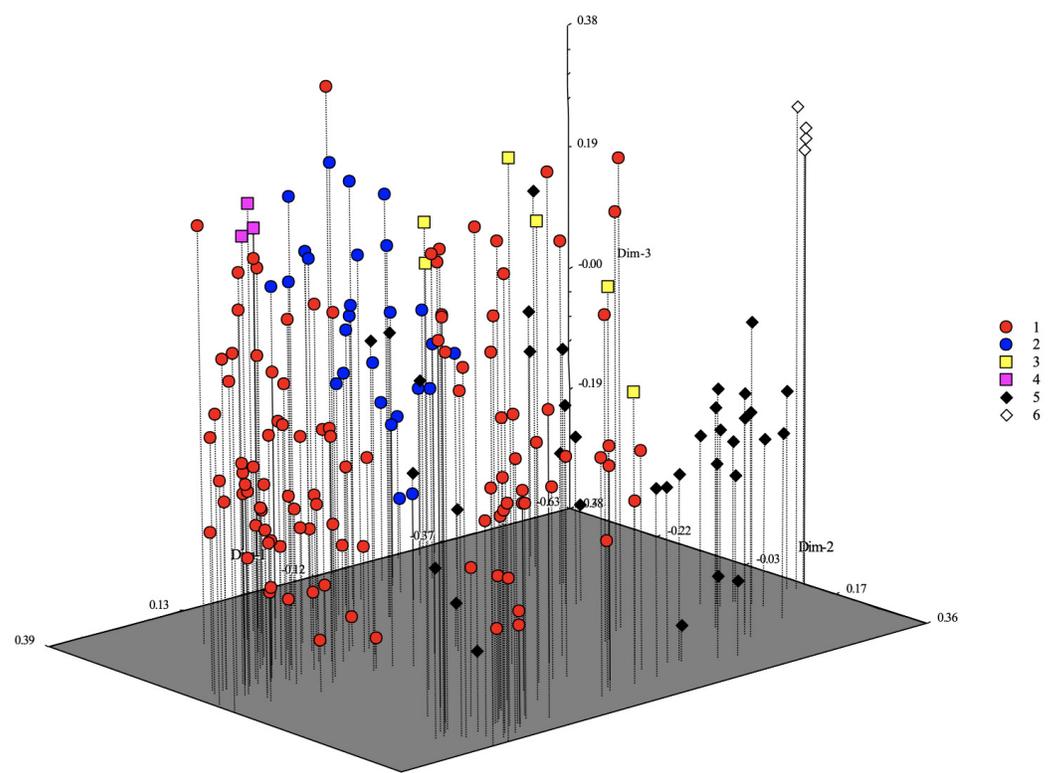


Figura 2. Diagrama de dispersión de coordenadas principales PC-1, PC-2 y PC-3 de los genotipos de cebolla. Campo Experimental Bajío- INIFAP. Celaya, Gto., México.

por ser la única línea que muestra intensidad clara en el color del follaje. Algo similar ocurre con el grupo 4 (L15-3bCE), aunque presenta más similitud con líneas de los grupos 1 y 2. El grupo 5 muestra mayor similitud con el grupo 6 por la ubicación en su proyección en las primeras coordenadas principales, al estar ubicados en el cuadrante positivo de la segunda coordenada y negativo de la primera coordenada, aunque junto con el grupo 1 siguen siendo muy dispersos. Por otro lado, los caracteres con mayor contribución al ACoP fueron los relacionados con el bulbo, principalmente el tamaño y peso del bulbo, seguido del diámetro polar y ecuatorial. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Luitel *et al.* (2023), quienes, en la caracterización de 76 accesiones, reportan que los caracteres de mayor contribución al ACoP fueron el peso del bulbo, los diámetros ecuatorial y polar del bulbo,

altura de planta y grado de división en bulbos.

Caracteres de interés agronómico

Los genotipos estudiados evidencian variabilidad morfológica en siete de los ocho caracteres evaluados en bulbo, hoja y pseudotallo (Tabla IV). Se observaron diferencias significativas entre caracteres, excepto en el diámetro del pseudotallo (Tukey, $\alpha=0,05$). La variabilidad presente en estos genotipos sugiere una posible evolución en el nivel de acriollamiento de los genotipos, así como en el vigor de los híbridos evaluados, lo que se traduce en cambios alélicos específicos para mayor adaptabilidad al ambiente de acriollamiento (Dobzhansky, 1970).

En la Tabla IV se presenta un resumen de los 17 genotipos con bulbos de mayor tamaño dentro de cada grupo genético identificado en el análisis de conglomerados. Aunque se

muestran datos específicos de los valores mayores y menores de los 48 genotipos evaluados.

El genotipo L17-6bCE presentó la mayor altura del bulbo con 132,275 mm; mientras que, la menor se registró en L3-11bR (71,470mm). El mayor diámetro de bulbo se registró en L75-1bCE con 129,025mm; en contraste, el menor diámetro lo presentó la L4-1bR con 92,9mm. Zarza-Silva *et al.* (2015), al evaluar diferentes variedades, reportan diámetro de bulbo entre 3,67 y 7,87cm, valores menores a los encontrados en esta investigación. En otra publicación se reportó que al atrasar el periodo de siembra, se reduce el número de hojas por planta y el diámetro de bulbo (Lancaster *et al.*, 1996).

Para la relación altura/diámetro del bulbo, L17-6bCE mostró la mayor relación con 1,301, mientras que la L6-7bN alcanzó una relación de 0,61, lo que representó un bulbo de menor tamaño (-50%). En

TABLA IV
ANÁLISIS DE VARIANZA DE OCHO CARACTERES PRODUCTIVOS EN 17 GENOTIPOS CON BULBOS DE MAYOR TAMAÑO DENTRO DE CADA GRUPO GENÉTICO IDENTIFICADO EN EL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

Genotipo	Bulbo			Hoja		Pseudotallo		
	Altura	Diámetro	Relación altura/diámetro	Peso	Longitud [†]	Diámetro	Longitud	Diámetro
L10	*85,3 bcd	*119,2 abcd	0,7 bcdefg	**758,8 ab	†60,0 abcd	†5,1 abc	†17,3 abc	*26,2 a
L12	89,9 bcd	117,7 abcd	0,8 bcdefg	911,3 ab	56,5 abcd	5,9 abc	17,3 abc	31,4 a
L18	86,3 bcd	119,6 abcd	0,7 bcdefg	982,5 a	59,3 abcd	6,4 ab	18,0 abc	32,2 a
L21-3bR	89,1 bed	108,6 abcd	0,8 bcdefg	760,3 ab	51,5 bcd	4,9 abc	18,8 a	29,7 a
L21-7bR	90,0 bed	109,5 abcd	0,8 bcdefg	750,3 ab	62,3 abc	5,6 abc	16,3 abc	30,0 a
L75-1bCE	82,5 bed	129,0 a	0,6 fg	812,5 ab	48,3 d	5,6 abc	15,8 abc	31,5 a
L11-9bR	82,0 bed	113,1 abcd	0,7 bcdefg	817,8 ab	55,5 abcd	5,8 abc	18,5 ab	29,9 a
L18-5bR	97,2 bc	103,5 abcd	0,9 bcd	752,3 ab	51,8 bcd	5,8 abc	15,8 abc	30,1 a
L3-10bR	90,1 bcd	122,6 abc	0,8 bcdefg	695,8 ab	57,3 abcd	6,0 abc	15,3 abc	32,5 a
L6-5b	93,6 bcd	116,7 abcd	0,8 bcdefg	852,5 ab	58,0 abcd	5,9 abc	16,3 abc	31,9 a
L1-8bCE	95,2 bcd	114,1 abcd	0,8 bcdefg	586,3 ab	56,5 abcd	5,1 abc	15,3 abc	30,2 a
L15-3bCE	93,1 bed	101,4 abcd	0,9 bcde	603,8 ab	52,8 bcd	4,5 bc	18,8 a	26,8 a
L11	84,8 bed	121,7 abc	0,7 bcdefg	818,8 ab	54,3 abcd	5,6 abc	15,0 abc	28,2 a
L7-8bR	103,2 b	117,3 abcd	0,9 bcdefg	947,5 ab	64,8 ab	6,1 abc	16,3 abc	30,9 a
L7-9bR	92,8 bcd	111,3 abcd	0,8 bcdefg	822,3 ab	57,0 abcd	6,1 abc	16,5 abc	33,7 a
L8	84,3 bcd	119,5 abcd	0,7 bcdefg	751,3 ab	56,8 abcd	5,4 abc	16,5 abc	29,5 a
L8-4b	83,0 bcd	96,0 cd	0,9 bcdefg	613,3 ab	53,3 bcd	5,5 abc	17,0 abc	29,0 a
DMS	25,0	28,5	0,3	449,7	13,8	1,9	5,6	9,3
CV	9,9	8,9	12,2	22,7	8,5	12,0	11,9	10,7

*Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa. *Milímetro; **Gramo; †Centímetro.

cebolla, el cese de la aparición de nuevas hojas se produce con el inicio de la formación de bulbos, carácter que se considera que ha tenido lugar cuando la relación de la formación de bulbos presenta un valor superior a 2.0 (Brewster, 2001).

Con relación al peso del bulbo, se identificó que L18 produjo los bulbos de mayor peso (982,5g); mientras que, el menor peso lo alcanzó L3-2bCE con 523,8g (Tabla IV). Mallor *et al.* (2011), al evaluar diferentes accesiones de cebolla, reportaron bulbos con peso entre 443 a 588g, peso que es menor al registrado en los mejores genotipos de este estudio. El peso del bulbo es un factor importante que se correlaciona con la firmeza (Larsen *et al.*, 2009), aunque otros autores han demostrado el impacto que tiene el retraso en la cosecha sobre el tamaño final del bulbo (Sargent *et al.*, 2001), que en el presente estudio no tuvo

significancia, debido a que, al ser genotipos de días intermedios, la cosecha se realizó en el punto de madurez comercial.

En hoja, la mayor longitud se registró en la L1-13CE con 67,25 cm y la menor longitud en la L75-1bCE con 48,25 cm (Tabla IV). El diámetro de la hoja mostró un reducido margen de diferencia y se identificó a la L17 con las hojas más anchas (6,75 cm) y la L3-11bR con hojas más angostas (4,25 cm). En un estudio realizado con clones, Galeano-Mendoza *et al.* (2018) reportaron valores en el diámetro de la hoja de 2,9 a 4,8 cm, valores menores que los encontrados en este estudio.

Finalmente, para la longitud del pseudotallo, el genotipo L21-3bR presentó el pseudotallo de mayor tamaño (18,75 cm). En contraste, el pseudotallo de menor tamaño (12,75 cm) se registró en el

L3-13bCE. Al evaluar diferentes clones, Galeano-Mendoza *et al.* (2018) encontraron longitud del tallo de 18 a 25 cm, valores similares a los reportados en este estudio. Asimismo, los valores reportados para el diámetro del pseudotallo oscilan entre 20,4 y 31,0mm, que son similares a los valores registrados en este estudio (26,2 a 34,7mm). En otro estudio, se reportaron valores de 25,2 a 26,1mm en variedades de cebolla cultivada en diferentes épocas de siembra (Zarza-Silva *et al.*, 2015).

Conclusiones

Los resultados evidencian la variabilidad existente entre caracteres morfológicos de las líneas; por lo tanto, esta riqueza genética puede focalizarse en seleccionar algunos de estos materiales como líneas prominentes para el desarrollo de variedades de polinización libre

e incluso como parentales para la formación de híbridos de alto rendimiento. Este es el primer trabajo que se realiza en materiales acriollados de cebolla en México, que pueden ser utilizados por los programas de mejoramiento genético.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIFAP por el apoyo para la realización de este trabajo y a la Universidad de Guanajuato por el apoyo complementario (CIIC 052/2024).

REFERENCIAS

- Brewster JL (2001) *Las cebollas y otros alliums*. 1st ed. Editorial Acribia, Argentina. 266 pp.
- Brewster JL (2008) *Onions and other vegetable alliums*. 2nd ed. CABI Digital Library, RU. 411 pp. <https://doi.org/10.1079/9781845933999.0000>
- Caselles CA, Soto VC, Galmarini CR (2019) Effect of

- environmental factors on bee activity and onion (*Allium cepa* L.) seed yield. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias 51*: 13–26. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCFA/article/view/2560/1931>
- Cruz CD, Souza-Carneiro PC, Regazzi AJ (2014) *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 3rd ed., Vol. 2. Editora UFV, Brasil. 514 pp.
- DeMason DA (2018) Morphology and Anatomy of Allium. In: Rabinowitch HD, Brewster JL (Eds.) *Onions and Allied Crops* (Vol. 1). CRC Press. EE.UU. pp. 27–51. <https://doi.org/10.1201/9781351075169>
- Dobzhansky T (1970) *Genetics of the evolutionary process*. Columbia University, EE.UU. 522pp.
- Galeano-Mendoza CH, Barquero-Cubillos EF, Molina-Varón JA, Cerón-Lasso MS (2018) Agronomic Evaluation of BunChing Onion in the Colombian Cundiboyacense High Plateau. *International Journal of Agronomy 2018*: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/4940589>
- García E (2004) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5ª ed. (cd con el programa Modificado) Instituto de Geografía, UNAM, México.
- González-Pérez E, Ramírez-Meraz M, Canul-Ku J, Flores-López R, Macías-Valdez, ML (2021) Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 25*: 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2802>
- Gower JC (2005) Principal Coordinates Analysis. In: Armitage P, Colton T (Eds.), *Encyclopedia of Biostatistics*. 1st ed., Vol. 1. John Wiley & Sons, RU. pp. 3514–3518. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a13070>
- Hoogerheide ESS, Azevedo Filho JA, Vencovsky R, Zucchi MI, Zago BW, Pinheiro JB (2017) Genetic variability of garlic accessions as revealed by agromorphological traits evaluated under different environments. *Genetics and Molecular Research 16*: gmr16029612. <https://doi.org/10.4238/gmr16029612>
- IPGRI (In International Plant Genetic Resources Institute) (2001) Descriptors for *Allium*. https://www.ecpgr.cgiar.org/fileadmin/bioersity/publications/pdfs/728_Descriptors_for_Allium_Allium_spp._pdf
- Jiang GL (2013) Molecular markers and marker-assisted breeding in plants. In: *Plant breeding from laboratories to fields*. Andersen, SB (Ed.). pp. 45–83. <http://dx.doi.org/10.5772/52583>
- Lancaster JE, Triggs CM, De Ruiter JM, Gandar PW (1996) Bulbing in Onions: Photoperiod and Temperature Requirements and Prediction of Bulb Size and Maturity. *Annals of Botany 78*: 423–430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0138>
- Larsen T, Saxena A, Cramer CS (2009) Relatedness of bulb firmness to other attributes of New Mexico onion entries. *International Journal of Vegetable Science 15*: 206–217. <https://doi.org/10.1080/19315260902727742>
- López-Martínez LX, Aguilar-Cisneros LM, Dublán-García O (2014) Actividad antioxidante e inhibidora de a-glucosidasa y a-amilasa de tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L.). *Nova Scientia 6*: 234–247.
- Luitel BD., Han JW, Cho MC, Choi MS (2023) Variation in phenotypic traits in onion (*Allium cepa* L.) germplasm collections. *Korean Journal Plant Research 36*: 237–255. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2023.36.3.237>
- Lyngkhoi F, Saini N, Gaikwad AB, Thirunavukkarasu N, Verma P, Silvar C, Yadav S, Khar A (2021) Genetic diversity and population structure in onion (*Allium cepa* L.) accessions based on morphological and molecular approaches. *Physiology and Molecular Biology of Plants 27*: 2517–2532. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01101-3>
- Mallor C, Carravedo M, Estopañan G, Mallor F (2011) Characterization of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from the Spanish secondary centre of diversity. *Spanish Journal of Agricultural Research 9*: 144–155. <https://www.inia.es/sjar>
- McCallum J (2007) Onion. In: Kole C (Ed.), *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. Vegetables. 1st ed., Vol. 5. Springer, Alemania. pp. 331–342. https://doi.org/10.1007/978-3-540-34536-7_11
- Núñez-Colín CA, Escobedo-López D (2011) Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana 22*: 415–427. <https://doi.org/10.15517/am.v22i2.8746>
- Ochar K, Kim SH (2023) conservation and global distribution of onion (*Allium cepa* L.) germplasm for agricultural sustainability. *Plants 12*: 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants12183294>
- Peña-Caballero V, Morales-Vargas AT, Núñez-Colín CA (2020) Eigenanálisis aplicado a diferentes áreas de las ciencias agrícolas y biotecnología: una revisión. *Acta Agrícola y Pecuaria 6*: e0061009. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061009>
- Reveles-Hernández M, Velásquez-Valle R, Reveles-Torres LR, Cid-Ríos JA (2014) *Guía para producción de cebolla en Zacatecas*. INIFAP. México. Folleto Técnico (62): 1–48. <http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/prodCebolla.pdf>
- Rohlf FJ (2005) NTSYSpc *Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System Version 2.2*. Getting Started Guide. Exeter Software, Nueva York, EE.UU.
- Sauceda-Acosta CP, González-Hernández VA, Sánchez-Soto BH, Saucedo-Acosta RH, Ramírez-Tobías HM, Quintana-Quiroz JG (2017) MACF-IJ, método automatizado para medir color y área foliar mediante imágenes digitales. *Agrociencia 51*: 409–423.
- Sargent SA, Stoffella PJ, Maynard DN (2001) Harvest Date Affects Yield and Postharvest Quality of Nondried, Short-day Onions. *HortScience 36*: 112–115. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.1.112>
- SAS Institute (Statistical Analysis System Institute) (2004) SAS OnlineDoc®, v. 9. SAS Institute, Cary, NC, EE.UU.
- Sharma S, Khar A, Khosa JS, Mandal S, Malla S (2004) Recent Advances in Molecular Genetics of Onion. *Horticulturae 10*: 2–29. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030256>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2023) *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2022*. SADER, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sokal RR (1963) The principles and practice of numerical taxonomy. *Taxon 12*: 190–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1217562>
- UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales) (2008) *Cebolla, Echalion, Chalota, Chalota Gris*. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad (Documento TG/46/7). 42pp. <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg046.pdf>
- Vasconcelos-Segundo VC, Innecco R, Freitas JA, Lima EN, Oliveira-Nogueira AP, Queiroz-Luz JM (2022) Genetic parameters and diversity, and correlations in onion strains. *Revista Caatinga 35*: 352–362. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n211rc>
- Zarza-Silva HA, Enciso-Garay CR, González-Ferreira FN (2015) Características morfológicas y cualitativas de variedades de cebolla en tres épocas de trasplante. *Investigación Agraria 17*: 36-45. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2015.junio.36-45>