

Degradación de almidón de reserva de la semilla de *Phaseolus vulgaris* L. silvestre y domesticado

Ma. L. Patricia Vargas-Vázquez¹

Ebandro Uscanga-Mortera^{2,§}

Daniel Padilla-Chacón³

Heike Vibrans Lindemann²

Petra Yáñez-Jiménez²

Antonio García-Esteva²

1 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (vargas.luisa@inifap.gob.mx).

2 Posgrado en Botánica-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56264. (vibrans.heike@colpos.mx; yanez01@colpos.mx; esteva@colpos.mx).

3 CONAHCyT-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56264 (daniel.padilla@colpos.mx).

Autor para correspondencia: euscanga@colpos.mx.

Resumen

La domesticación ha modificado el tamaño y el tipo de reservas de las semillas, de aquí surge la pregunta si esas modificaciones han tenido impacto en el metabolismo y la movilización de esas reservas durante la germinación y establecimiento de las plántulas. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la domesticación en cotiledones, eje embrional y plántulas desarrolladas en oscuridad de frijoles domesticados y silvestres. En 2019, ocho semillas de tres variedades mejoradas y tres recolectas silvestres se germinaron a 25 °C, otras ocho semillas con radícula expuesta se sembraron en bolsas de cultivo y las plántulas obtenidas se mantuvieron por 14 días en oscuridad. Las semillas germinadas y las plántulas se disectaron en sus estructuras y se determinó su masa seca, la concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa y además en cotiledones, el número de células, y el número de los gránulos de almidón mm⁻² y las dimensiones de estos. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variedades mejoradas en promedio tuvieron 11 y tres veces más materia seca en cotiledones y eje embrional comparadas con las silvestres, y siete, nueve y 13 más en raíz, vástago y remanente de cotiledones, respectivamente. Concentraciones de almidón, glucosa y sacarosa por gramo de masa seca fueron mayores en cotiledones de las mejoradas; en contraste, concentraciones de almidón, glucosa y fructosa fueron mayores en el eje embrional de las silvestres. En raíz, las silvestres tuvieron más concentración de almidón, fructosa y sacarosa, y en vástago, los domesticados más glucosa, fructosa y sacarosa. Las silvestres tuvieron 42% más células y 30% más gránulos de almidón que las domesticadas por unidad de superficie. La domesticación modifica la composición y movilización de reservas durante la germinación y establecimiento de plántulas.

Palabras clave:

azúcares reductores, frijol, germinación, sustancia de reserva.

Introducción

La domesticación de las plantas es el resultado de la selección humana, cambios en el ambiente y prácticas de manejo que impulsaron cambios fenotípicos, principalmente en las características seleccionadas y reproductivas, pero también fisiológicos y anatómicos resultados de ser cultivadas (Roucou *et al.*, 2018). Las características seleccionadas están enfocadas a cubrir las necesidades humanas, pero también existe la adaptación de la planta al ambiente que le permiten sobrevivir bajo cultivo y que son similares entre especies cultivadas 'síndrome de domesticación' (Allaby, 2020).

La domesticación de *Phaseolus vulgaris* L. incluyó cambios en el tamaño de la semilla, y en la forma y metabolismo de la planta, entre otros (Smýkal *et al.*, 2018). En México, el mejoramiento genético de *P. vulgaris* se ha centrado en el tamaño y contenido de proteínas y carbohidratos no estructurales de la semilla (Allende-Arrarás *et al.*, 2006).

El peso de semilla de *P. vulgaris* silvestre varía de 0.04 a 0.14 g y el domesticado de 0.2 a 1 g (Lépiz-Ildfonso *et al.*, 2010). Las semillas del frijol almacenan carbohidratos para usarse en la germinación y asegurar la sobrevivencia de la plántula, el almidón representa del 25 al 45% de la masa seca (Punia *et al.*, 2020) y es la reserva principal de la semilla. La formación de una semilla y su transición a una plántula activa genes para la formación del embrión, la maduración de la semilla, y su tolerancia a la desecación; asimismo, involucra el uso de las reservas, pieza clave en el éxito evolutivo de las plantas (Carbonero *et al.*, 2017).

Las plantas silvestres y domesticadas del frijol tienen patrones diferentes de crecimiento inicial como consecuencia indirecta de la selección de semillas más grandes durante la domesticación; sin embargo, poco se ha estudiado la concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en materiales domesticados y silvestres. La movilización de las reservas de la semilla interviene en el éxito de la vegetación natural y en la agricultura, involucra el catabolismo de las reservas de la semilla, su transporte al embrión y la síntesis de nuevos materiales (Pandey *et al.*, 2010).

La distribución de masa seca y glúcidos en la germinación y establecimiento de la plántula está regida por mecanismos genéticos, bioquímicos y fisiológicos (Di Vittori *et al.*, 2019). Actualmente se conoce que las plantas utilizan sus azúcares mediante varias rutas metabólicas del carbono para optimizar su uso en el desarrollo. Algunos azúcares regulan la síntesis de proteínas para el crecimiento vegetal al ser fuente de energía para los procesos metabólicos en respuesta a estreses y al conectarse con otras redes de señalización para controlar la proliferación y expansión celular (Lastdrager *et al.*, 2014).

En el mejoramiento genético de las plantas es necesario conocer los procesos genéticos, bioquímicos y fisiológicos que propicien una tasa más alta de asignación de los principales compuestos de reserva en las semillas (Coelho y Benedito, 2008). La comparación de las formas domesticadas y silvestres ha permitido identificar probables cambios ocurridos durante el proceso de domesticación (Shi y Lai, 2015). El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la domesticación en la composición y estructura de cotiledones, eje embrional y plántulas desarrolladas en oscuridad. Si existen diferencias entre frijoles domesticados y silvestres, en la asignación de biomasa y carbohidratos de los cotiledones hacia la plántula, éstas se deberán a cambios ocurridos en el proceso de su domesticación.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se emplearon tres variedades mejoradas de *Phaseolus vulgaris* L.: OTI, Cacahuete-72 y Canario-G15, donadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y tres formas silvestres recolectadas en Tepoztlán, Morelos, Cholula, Puebla y Arcelia, Guerrero, México.

Preparación de muestras

Ocho semillas de cada cultivar y recolecta se escarificaron (se realizó una muesca con un cortaúñas en la parte opuesta al hilio) y se colocaron sobre papel filtro Ahlstrom No. 541 en cajas Petri de 9 cm de diámetro, se les aplicaron 10 ml de agua destilada y se mantuvieron en una incubadora (Esco Isotherm) a 25 °C hasta que germinaron. Asimismo, ocho semillas con radícula expuesta (1-2 mm de longitud), se sembraron en bolsas de cultivo de 15 x 25 cm con fuelle color negro calibre 500 de 1 kg de capacidad que contenían sustrato de vermiculita y se colocaron para la emergencia y desarrollo de las plántulas en un cuarto oscuro por 14 días (d).

Las evaluaciones incluyeron: 1) medición la masa seca de cotiledones y eje embrional de semillas germinadas y de la raíz, el vástago y el remanente de los cotiledones de las plántulas en una balanza analítica Sciencetech modelo SA 120; 2) la concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en cotiledón y eje embrional de semillas germinadas y en la raíz y vástago de plántulas en cuatro repeticiones por material y 3) el número de células y el número y dimensiones de gránulos de almidón en el cotiledón en cuatro semillas germinadas de cada material.

Masa seca de cotiledones, eje embrional, raíz, vástago y remanente de los cotiledones

Los cotiledones y el eje embrional (meristemo apical caulinar, hipocótilo y meristemo radical subapical) de cada semilla germinada y la raíz, el vástago y el remanente de los cotiledones de las plantas mantenidas en oscuridad por 14 d, se separaron con un escalpelo, se introdujeron por separado en sobres de papel aluminio, se sumergieron en nitrógeno líquido, se liofilizaron por 72 h y se pesaron en una balanza analítica (Sciencetech modelo SA 120).

La eficiencia en asignación (EA) de biomasa de los cotiledones a la plántula fue calculada mediante la siguiente relación (Yamaguchi, 1978)

$$EA = \frac{\text{Masa seca de raíz+vástago}}{\text{Masa seca de cotiledones-Masa seca del remanente de cotiledones}} \times 100$$

Concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en cotiledones y eje embrional y órganos de la plántula

Cuatro semillas germinadas se disectaron en cotiledones y el eje embrional, también, cuatro plántulas se disectaron en raíz y vástago, posteriormente se liofilizaron y se determinó la concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa mediante la técnica propuesta por Viola y Davis (1992) y modificada por Vargas-Vázquez *et al.* (2020). La modificación consistió en determinar la concentración óptima de enzimas y tiempos de calentamiento en baño maría de las muestras.

Número de células, número y dimensiones de gránulos de almidón en el cotiledón.

En semillas germinadas, se tomó un segmento del centro del cotiledón, el cual se fijó en FAA, se deshidrató gradualmente en alcoholes, se incluyó en parafina en un cambiador automático de tejidos (Tissue-Tek II). Posteriormente se hicieron cortes histológicos de 10 micras de espesor con un micrótopo rotatorio (Erma Inc.). Posteriormente se pigmentaron con ácido peryódico y reactivo de Schiff (Johansen, 1940). El número de células y gránulos de almidón se cuantificó en campos de 40 x en un microscopio óptico (Zeiss, modelo Axioscope 2) y posteriormente se calculó el número por mm². Se obtuvieron imágenes con una cámara digital (Amscope) y se estimó la longitud, diámetro y área de cada gránulo de almidón con el programa Image J.

Diseño experimental y análisis estadístico

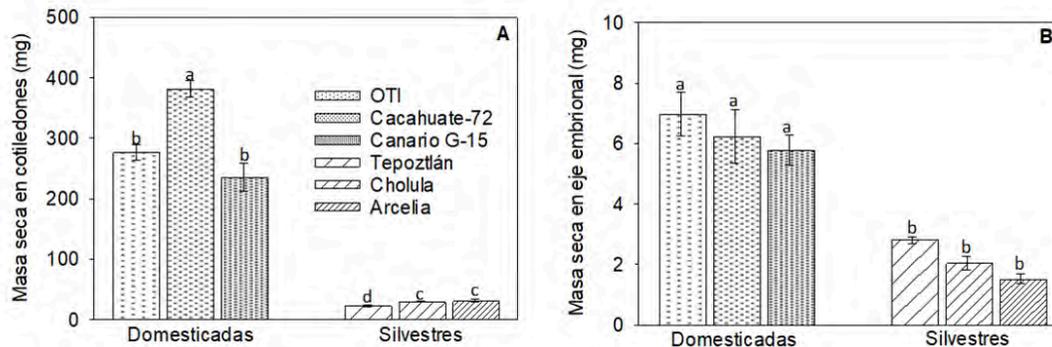
Cada variedad y cada recolecta silvestre representó un tratamiento. Éstos se distribuyeron en un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue una semilla o una plántula. Previo a los análisis se verificó la independencia, normalidad y homogeneidad de varianza de los datos. Cuando no se cumplieron estos supuestos, las variables fueron transformadas a logaritmo o raíz cuadrada. Posteriormente se sometieron a Andevas y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (SAS, 2012). Los resultados se graficaron con el paquete SigmaPlot Versión 14 (2019).

Resultados

Masa seca de cotiledones, eje embrional, raíz y vástago

Las variedades mejoradas tuvieron 11 veces más masa seca en los cotiledones y tres veces más en el eje embrional que las silvestres. La relación entre la masa seca del eje embrional y la de los cotiledones en los mejorados fue de 0.02 y en los silvestres de 0.08. Entre las variedades mejoradas, así como entre las semillas silvestres no hubo diferencias en la masa seca del eje embrional ($p > 0.05$) (Figura 1 A y B).

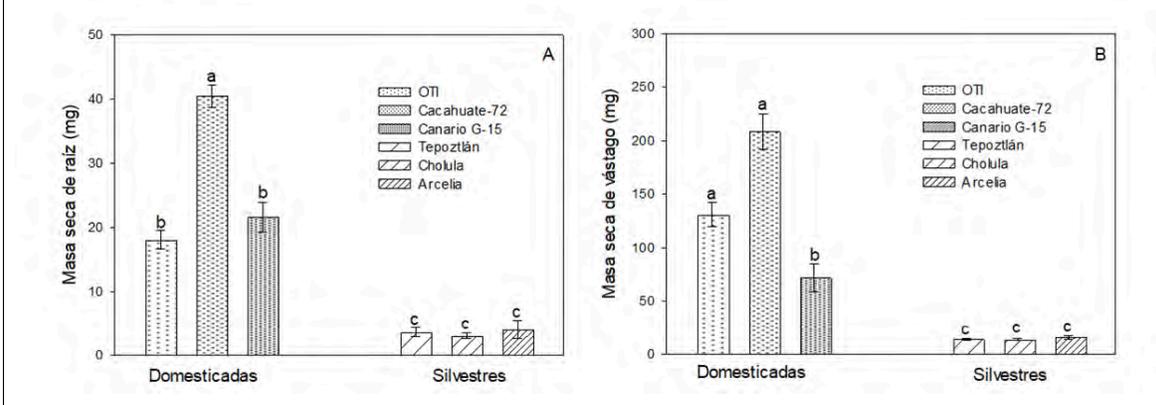
Figura 1
Masa seca de cotiledones (A) y eje embrional (B) en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de variedades mejoradas y recolectas silvestres. Cada barra es el promedio de cuatro repeticiones \pm ee. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencia significativa entre materiales (Tukey ≤ 0.05).



La raíz y el vástago de las domesticadas pesaron en promedio siete y nueve veces más respectivamente, que los silvestres. El contenido de materia seca en promedio fue de 18% en la raíz, 82% en el vástago y no hubo diferencia entre los mejorados y los silvestres (Figura 2).



Figura 2. Masa seca de raíz (A) y vástago (B) en plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de variedades domesticadas y recolectas silvestres. Cada barra es el promedio de cuatro repeticiones \pm ee. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencia significativa entre materiales (Tukey \leq 0.05).



La eficiencia de asignación fue mayor en los silvestres que en los domesticados (67.4 vs 51.2%, $p < 0.05$). Entre los domesticados, cacahuete presentó mayor asignación de materia que OTI y Canario, mientras que, entre los silvestres, Arcelia y Tepoztlán tuvieron mayor asignación que Cholula.

Concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en los cotiledones y el eje embrional

En los cotiledones de las variedades mejoradas, las concentraciones de almidón, glucosa y sacarosa fueron mayores (60, 27, 369%, respectivamente) que, en los silvestres, mientras que la de fructosa fue similar. Entre los materiales mejorados no hubo diferencia significativa en la concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa, y en los silvestres, tampoco, excepto Cholula, con menos glucosa que Arcelia y Tepoztlán (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en los cotiledones (C) y eje embrional (EE) de variedades mejoradas y recolectas silvestres de *Phaseolus vulgaris* L.

Forma	Nombre	Almidón		Glucosa		Fructosa		Sacarosa	
		$(\mu\text{mol g}^{-1}$ peso seco)		C	EE	C	EE	C	EE
Mejorada	OTI	459a	648d	5.7a	47bc	5.6a	34bc	62a	53a
	Cacahuete	514a	568d	5.8a	45c	4.5ab	37bc	66a	68a
	Canario	384ab	751cd	5.5a	51abc	4.2ab	33c	56a	80a
Silvestre	Tepoztlán	290b	1017bc	6.2a	79ab	5.7a	70a	15b	57a
	Cholula	275b	1631b	3.5b	52abc	3.8b	62ab	9b	52a
	Arcelia	280b	2518a	4.1ab	81a	3.9b	84a	14b	81a
Mejorada	Promedio	452a	656b	5.7a	47b	4.8a	36b	61a	67a
Silvestre	Promedio	282b	1722a	4.5b	71a	4.2a	72a	13b	63a

Los valores son la media de cuatro repeticiones de cada material. Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa (Tukey \leq 0.05).

En el eje embrional, la concentración de almidón, glucosa, y fructosa de los silvestres fueron estadísticamente mayores que en las variedades mejoradas; mientras que la concentración de sacarosa fue similar. Entre las tres variedades mejoradas no hubo diferencia en la concentración de glucosa, fructosa y sacarosa y entre los silvestres destacó Arcelia con mayores valores de concentración de almidón (Cuadro 1).

Concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en raíz y vástago

En la raíz, las recolectas silvestres tuvieron más moléculas de almidón, fructosa y sacarosa por g de peso seco que los domesticados. En contraste, en el vástago, los domesticados tuvieron más moléculas de glucosa, fructosa y sacarosa, pero menos moléculas de almidón. Entre los mejorados, OTI y Canario tuvieron más almidón en la raíz que Cacahuate, en los demás glúcidos no se observó diferencia, con respecto al vástago no se observó diferencia en el contenido de los glúcidos. Entre los silvestres destaca Cholula por su alta concentración de fructosa en raíz y sacarosa en vástago (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en la raíz y el vástago de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. de variedades mejoradas y recolectas silvestres desarrolladas en oscuridad.

Forma	Nombre	Almidón		Glucosa		Fructosa		Sacarosa	
		(μmol g ⁻¹ peso seco)							
		Raíz	Vástago	Raíz	Vástago	Raíz	Vástago	Raíz	Vástago
Mejorada	OTI	164b	126a	25b	596a	18c	284a	12c	124ab
	Cacahuate	58c	128a	51ab	335ab	27bc	167abc	14c	108ab
	Canario	107bc	147a	65ab	448ab	39bc	223ab	21bc	143a
Silvestre	Tepoztlán	714a	162a	65ab	217b	47b	119bc	46a	79ab
	Cholula	679a	188a	68a	324b	91a	173abc	57a	136a
	Arcelia	541a	152a	57ab	200b	36bc	94c	39ab	63b
Mejorada	Promedio	110b	134b	47a	460a	28b	225a	16b	125a
Silvestre		645a	167a	63a	247b	58a	129b	47a	93b

Los valores son la media de cuatro repeticiones de cada material. Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa (Tukey ≤ 0.05).

Número de células, número y tamaño de gránulos de almidón en el cotiledón de semillas germinadas

Las silvestres tuvieron 1.7 veces más células y 1.4 veces más gránulos de almidón por unidad de superficie que las domesticadas (Cuadro 3 y Figura 3). Canario presentó mayor número de células y gránulos que OTI y Cacahuate y Cholula tuvo menos células y similar número de gránulos de almidón que las otras recolectas silvestres.

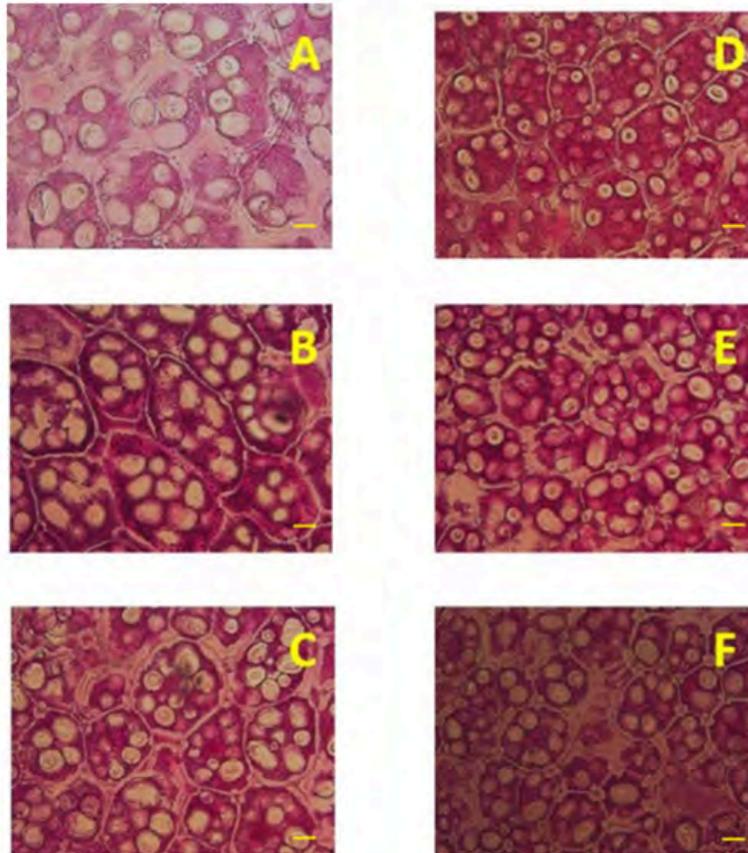
Cuadro 3. Número de células, número y dimensiones de gránulos de almidón en cotiledones de semillas germinadas de variedades mejoradas y recolectas silvestres de *P. vulgaris* L.

Forma	Nombre	Núm. mm ⁻²		Dimensiones gránulos de almidón		
		Células	Gránulos de almidón	Longitud (μ)	Diámetro (μ)	Área (μ ²)
Mejorada	OTI	1246c	347 c	9.4a	7.8a	50a
	Cacahuate	1224c	4090bc	8.2b	6.2bc	32b
	Canario	1924b	6231a	7.6b	6.2bc	32b
Silvestre	Tepoztlán	2536a	6056ab	7.4bc	6bc	30b
	Cholula	2121ab	6035ab	6.3c	5.2c	22b
	Arcelia	2915ab	7674a	7.7b	6.3b	33b

Forma	Nombre	Núm. mm ⁻²		Dimensiones gránulos de almidón		
		Células	Gránulos de almidón	Longitud (μ)	Diámetro (μ)	Área (μ ²)
Mejorada		1465b	4599b	8.4a	6.7a	38a
Silvestre		2524a	6589a	7.1b	5.8b	28b

Los valores son la media de cuatro repeticiones de cada material. Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa (Tukey ≤ 0.05).

Figura 3. Gránulos de almidón en células del cotiledón de semillas germinadas (radícula de 1-2 mm) de variedades domesticadas: OTI (A), Cacahuete-72 (B), Canario G-15 (C) y recolectas silvestres de frijol: Cholula (D), Arcelia (E) y Tepoztlán (F). Escala de la barra= 10 μm.



Discusión

La aportación pretende ampliar la concepción del síndrome de domesticación al diferenciar materiales mejorados y silvestres a nivel de semillas y plántulas. La domesticación ha cambiado tanto la masa seca de los cotiledones, como la del eje embrional, traduciéndose en un tamaño mayor de la semilla. La domesticación de las variedades OTI y Canario no ha diferenciado entre ellas la masa seca del eje embrional; mientras que en Cacahuete ha habido un ligero incremento, esta diferencia puede deberse a que provienen de diferentes razas (Singh *et al.*, 1991; Estrada-Gómez *et al.*, 2004).

En las recolectas silvestres se observó igual masa seca en cotiledones y eje embrional en Cholula y Arcelia. Valores similares a los encontrados en esta investigación fueron consignados en otras semillas silvestres y mejoradas de *P. vulgaris* (Morales-Santos *et al.*, 2017), en trigo la evolución

bajo la domesticación ha aumentado la masa seca del grano, pero no la del embrión (Golan *et al.*, 2015), resultados contrastantes a los observados en la presente investigación y donde, la domesticación ha incrementado la masa seca de todas las estructuras de la semilla en frijol.

Así como la domesticación de *P. vulgaris* ha favorecido la masa seca de los cotiledones y eje embrional, también lo ha hecho con la masa seca de la raíz y del vástago de las plántulas; sin embargo, la distribución de la materia entre estos órganos se ha mantenido entre los domesticados y los silvestres. Milla y Matesanz (2017) mencionaron que semillas grandes, típicas de los cultivos, producen individuos con órganos grandes como lo podemos constatar en nuestros resultados.

El vigor de las plántulas está en función del tamaño de la semilla, de la fracción de las reservas translocadas y de la eficiencia de conversión de dichas reservas en los órganos de las plántulas (Mohammadi *et al.*, 2011). Las accesiones silvestres mostraron mayor eficiencia en la asignación de materia que las domesticadas, este patrón ya ha sido observado también en otras accesiones silvestres y variedades mejoradas de frijol común (Celis-Velázquez *et al.*, 2008).

La domesticación ha conducido a un mayor tamaño de semillas y por ende la cantidad de sus reservas; sin embargo, durante la germinación no todas las reservas son usadas aun cuando las plántulas se encuentren en condiciones de oscuridad o estrés (Ansari *et al.*, 2012). Sin embargo, Hu *et al.* (2017) refiere que el tamaño de la semilla sólo le da ventaja competitiva a las plántulas cuando éstas se encuentran en estrés y que las provenientes de semillas pequeñas presentan tasas relativas de crecimiento mayores con respecto a las de las semillas grandes.

En este trabajo se observó que el almidón y la sacarosa son las mayores sustancias de reserva con respecto a la glucosa y fructosa en las variedades mejoradas; sin embargo, Vargas-Vázquez *et al.* (2020) consignaron que en *Phaseolus coccineus*, los materiales silvestres presentaron mayor concentración de glúcidos que los domesticados, mientras que Cilia *et al.* (2021) no encontraron diferencias en la concentración de glúcidos entre *P. vulgaris* y *P. acutifolius*, lo que indicaría que la domesticación aún entre especies del mismo género no ha determinado una tendencia en la concentración de glúcidos entre las especies, como lo ha hecho con el tamaño de la semilla. Estas diferencias podrían deberse a las condiciones abióticas, donde cada especie evolucionó y fue domesticada. La translocación de las sustancias de reserva de la semilla a la plántula es importante para el crecimiento de esta. Cuando la germinación inicia, el almidón es convertido a azúcares translocables que junto con los azúcares de reserva son translocados al eje embrional para que inicie el crecimiento y se transforme en una plántula. Por ejemplo, en *Arabidopsis*, el triglicerol es transformado a sacarosa (Pritchard *et al.*, 2002).

En el caso del frijol, el almidón al ser la principal reserva en la semilla tiene que ser transformado a sacarosa, principal sustancia translocable, para ser transportado al eje embrional y ser usada en el crecimiento (Bewley y Black, 2013). El tamaño de los granos de almidón varió entre las variedades y las recolectas silvestres, siendo en éstas de menor tamaño, pero en mayor número, lo que indica que es un carácter que presenta variabilidad. Wani *et al.* (2010); Bajaj *et al.* (2018) reportaron mayor tamaño en variedades mejoradas de frijol de la India; sin embargo, Yoshida *et al.* (2003) mencionaron que las dimensiones de los gránulos varían desde uno hasta 38 μm , lo cual indica que es un carácter variable entre variedades y no muestra un patrón en el grado de domesticación.

La concentración de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa en los cotiledones y el eje embrional también se ha modificado por la domesticación. Las funciones y vías metabólicas de dichas moléculas difieren, lo anterior se observa parcialmente en la concentración cuantificada en este estudio. En esta investigación se localizaron diferencias significativas en su contenido entre ambas estructuras y entre materiales domesticados y silvestres. En los silvestres, la mayor concentración de azúcares en el eje embrional indicó la alta demanda de carbono en respuesta a la actividad metabólica por el crecimiento de la radícula (Sánchez-Linares *et al.*, 2012).

La mayor concentración de azúcares en la raíz de las plántulas silvestres indicó que quizá al sobrevivir en suelos agrestes requieren más energía para crecer. La alta concentración de almidón, glucosa y sacarosa en los cotiledones de variedades coincide con lo documentado por Ortega y Rodríguez (1979).

Conclusiones

La domesticación de *Phaseolus vulgaris*, ha incrementado el peso seco de todas las estructuras de la semilla y favorecido el mayor tamaño de la raíz y del vástago de las plántulas; sin embargo, la asignación de la biomasa entre estos órganos se ha mantenido entre los domesticados y los silvestres. Existe una mayor eficiencia en la asignación de materia de reserva energética en las formas silvestres que en las domesticadas. La domesticación favoreció la cantidad de reservas de la semilla; sin embargo, durante la germinación no todas las reservas son utilizadas aun cuando las plántulas se encuentren en condiciones de oscuridad. El almidón y la sacarosa son las reservas más abundantes con respecto a la glucosa y fructosa en las variedades mejoradas. Los granos de almidón en las colectas silvestres, excepto en una de ellas, fueron de menor tamaño, pero en mayor número.

Bibliografía

- 1 Allaby, R. G. 2020. Domestication syndrome in plants. *In*: Encyclopedia of Global Archeology. Smith, C. Ed. Springer. New York. 2182-2184 pp. 10.1007/978-3-030-30018-0-2416.
- 2 Allende-Arrarás, G.; Acero-Godínez, M. G.; Padilla-Ramírez, J. S.; Mayek-Pérez, N. 2006. Comportamiento agronómico y características fisicoquímicas del grano de frijol en Aguascalientes, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29(1):89-93.
- 3 Ansari, O.; Chogazardi, H. R.; Sharifzadeh, F. and Nazarli, H. 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 45(2):43-48. <https://repository.iuls.ro/xmlui/handle/20.500.12811/2297>.
- 4 Bajaj, R.; Singh, N.; Kaur, A. and Inouchi, N. 2018. Structural, morphological, functional and digestibility properties of starches from cereals, tubers and legumes: comparative study. *Journal of food Science and Technology*. 55(9):3799-3808. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3342-4>.
- 5 Bewley, J. D.; Bradford, K. J. H.; Henk, W. M.; Nonogaki, H. 2013. Seeds: physiology of development and germination. Springer Science+Business Media LLC. New York. 444 p.
- 6 Carbonero, P.; Iglesias-Fernández, R. and Carbajosa, J. V. 2017. The AFL subfamily of B3 transcription factors: evolution and function in angiosperm seeds. *Journal of Experimental Botany*. 68(4):871-880. Doi: 10.1093/jxb/erw458.
- 7 Celis-Velázquez, R.; Peña-Valdivia, C. B.; Trejo-López, C.; Aguirre-Rivera, J.R.; Córdova-Téllez, L. and Carballo-Carballo, A. 2008. Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2):167-177. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711425002.pdf>.
- 8 Cilia-García, M.; Peña-Valdivia, C. B.; Bernal Gracida, L. A.; Yáñez Jiménez, P.; García Esteva A. and Padilla-Chacón, D. 2021. Effects of water restriction on carbohydrates concentration, starch granules size and amylolytic activity in seeds of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray. *Botanical Sciences*. 99(2):364-376. Doi: 10.17129/botsci.26476.
- 9 Coelho, C. M. M. and Benedito, V. A. 2008. Seed development and reserve compound accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science Biotechnology*. 2(2):42-52.
- 10 Di Vittori, V.; Gioia, T.; Rodríguez, M.; Bellucci, E.; Bitochi, E.; Nanni, M.; Attene, G.; Rou, D. and Papa, R. 2019. Convergent evolution of the seed shattering trait. *Genes*. 10(1):68. Doi: 10.3390/genes10010068.
- 11 Estrada-Gómez, J. A.; Estrada-Trejo, V.; Hernández-Livera, A.; Molina-Moreno, J. C. and Campos-Escudero, A. 2004. OTI una nueva variedad de frijol para el Valle de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(1):115-116.

- 12 Golan, G.; Oksenberg, A. and Peleg, Z. 2015. Genetic evidence for differential selection of grain and embryo weight during wheat evolution under domestication. *Journal of Experimental Botany*. 66(19):5703-5711. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv249>.
- 13 Hu, X. W.; Zhang, R.; Wu, Y. P. and Baskin, C. C. 2017. Seedling tolerance to cotyledon removal varies with seed size: a case of five legume species. *Ecology and Evolution*. 7(15):5948-5955. Doi: 10.1002/ece3.3169.
- 14 Johansen, D. A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw Hill Book Company, Inc. London. 530 p.
- 15 Lastdrager, J.; Hanson, J. and Smeekens, S. 2014. Sugars signals and the control of plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*. 65(3):799-807. Doi: 10.1093/jxb/ert474.
- 16 Lépiz-Ildefonso, R.; López-Alcocer, J. J.; Sánchez-González, J. J.; Santacruz-Ruvalcaba, F.; Nuño-Romero, R. y Rodríguez-Guzmán, E. 2010. Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres o intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(1):21-28.
- 17 Milla, R. and Matesanz, S. 2017. Growing larger with domestication: a matter of physiology, morphology or allocation? *Plant Biology*. 19(3):475-483. <https://doi.org/10.1111/plb.12545>.
- 18 Mohammadi, H.; Soltani, A.; Sadeghipour, H. R. and Zeinaly, E. 2011. Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. *International Journal of Plant Production*. 5(1):65-70.
- 19 Morales-Santos, M. E.; Peña-Valdivia, C. B.; García-Esteva, A.; Aguilar-Benítez, G. and Kohashi-Shibata, J. 2017. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*. 51(1):43-62. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00043-en.pdf>.
- 20 Ortega-Delgado, M. L. y Rodríguez-Coquíz, C. 1979. Estudio de carbohidratos en variedades mexicanas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). *Agrociencia*. 37:33-49.
- 21 Pandey, R.; Vijay, P. and Dadlani, M. 2010. Mobilization of seed reserves and environmental control of seed germination. *In: Seed Science and Technology*. Singhal, N.C. Ed. Kalyani Publishers. New Delhi, India. 84-116 pp.
- 22 Pritchard, S. L.; Charlton, W. L.; Baker, A. and Graham, I. A. 2002. Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*. 31(5):39-647. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1365-313X.2002.01376.x>.
- 23 Punia, S.; Dhull, S. B.; Sandhu, K. S.; Kaur, M. and Purewal, S. S. 2020. Kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) starch: A review. *Legume Science*. 2(3):e52. <https://doi.org/10.1002/leg3.52>.
- 24 Roucou, A.; Violle, C.; Fort, F.; Roumet, P.; Ecarnot, M. and Vile, D. 2018. Shifts in plant functional strategies over the course of wheat domestication. *Journal Applied Ecology*. 55:25-37. Doi: 10.1111/1365-2664.13029.
- 25 Sánchez-Linares, L.; Gavilanes-Ruiz, M.; Díaz-Pontones, D.; Guzmán-Chávez, F.; Calzada-Alejo, V.; Zurita-Villegas, V.; Luna-Loaiza, V.; Moreno-Sánchez, R.; Bernal-Lugo, I. and Sánchez-Nieto, S. 2012. Early carbon mobilization and radicle protrusion in maize germination. *Journal of Experimental Botany*. 63(12):4513-4526. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers130>.
- 26 SAS Institute Inc. 2012. SAS version 9.3. Cary, N.C., USA.
- 27 Shi, J. and Lai, J. 2015. Patterns of genomics change with crop domestication and breeding. *Current Opinion in Plant Biology*. 24:47-53. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.01.008>.
- 28 SigmaPlot Version 14. 2019. Systat Software, Inc., San Jose, California.

- 29 Singh, S. P.; Gepts, P. and Debouck, D. G. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany*. 45(3):379-396.
- 30 Smýkal, P.; Nelson, M. N.; Berger, J. D. and Von Wettberg, E. J. B. 2018. The impact of genetic changes during crop domestication. *Agronomy*. 8(7):119-141. Doi: 10.3390/agronomy8070119.
- 31 Vargas-Vázquez, M. L. P.; Uscanga-Mortera, E.; Padilla-Chacón, D.; Vibrans, H.; Kohashi-Shibata, J.; Miranda-Colín, S. y Yáñez-Jiménez, P. 2020. Asignación de biomasa y carbohidratos en semillas y plántulas de *Phaseolus coccineus* L. domesticado y silvestre. *Botanical Sciences*. 98(2):366-376. Doi: 10.17129/botsci.2485.
- 32 Viola, R. and Davies, H. V. 1992. A microplate reader assay for rapid enzymatic quantification of sugars in potato tubers. *Potato Research*. 35:55-58. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02357723.pdf>.
- 33 Wani, I. A.; Sogi, D. S.; Wani, A. A.; Gill, B. S. and Shivhare, U. S. 2010. Physicochemical properties of starches from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*. 45(10):2176-2185. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02379.x>.
- 34 Yamaguchi, J. 1978. Respiration and growth efficiency in relation to crop productivity. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ.* 59(1):59-129. <https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/12920>.
- 35 Yoshida, H.; Nozaki, K.; Hanashiro, I.; Yagi, F.; Ito, H.; Honma, M.; Matsui, H. and Takeda, Y. 2003. Structure and physicochemical properties of starches from kidney bean seeds at immature, premature and mature stages of development. *Carbohydrate Research*. 338(5):463-469. Doi: 10.1016/S0008-6215(02)00489-5.



Degradación de almidón de reserva de la semilla de *Phaseolus vulgaris* L. silvestre y domesticado

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2025
Date accepted: 01 March 2025
Publication date: 01 May 2025
Publication date: Apr-May 2025
Volume: 16
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3602
DOI: 10.29312/remexca.v16i3.3602

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

azúcares reductores

frijol

germinación

sustancia de reserva

Counts

Figures: 3

Tables: 3

Equations: 2

References: 35

Pages: 0