

Cambios de los contenidos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el envejecimiento de semillas de poblaciones silvestres de *Phaseolus vulgaris* (fabaceae)

Changes in the contents of phenolic compounds and antioxidant capacity during the aging of seeds of wild populations of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae)

Imelda Rosas-Medina
Aurelio Colmenero-Robles

Instituto Politécnico Nacional, Secretaría de Investigación y Posgrado, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Ciudad de México, México, 07738.

Ana Isabel Chaidez
Néstor Naranjo-Jiménez
José Antonio Ávila-Reyes
Eli Amanda Delgado-Alvarado
Liliana Wallander-Compeán
Norma Almaraz-Abarca*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220.

*Autor para correspondencia: nalmaraz@ipn.mx

Resumen

En el presente estudio se determinó la variación en los contenidos de fenoles totales, flavonoides, taninos condensados, y poder reductor de hierro de cinco poblaciones silvestres de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Durango, México, cada dos meses, durante seis meses de almacenamiento. Con fines comparativos, la variedad Negro Bola se analizó de la misma manera. Los resultados revelaron una disminución de los contenidos de los compuestos fenólicos y del poder reductor en todas las muestras analizadas, pero con importantes variaciones en los porcentajes de disminución entre ellas. Las variaciones encontradas sugieren la existencia de una alta diversidad genética entre las poblaciones silvestres. Los resultados de análisis de agrupamiento sugieren que las variaciones en los niveles de los diferentes compuestos fenólicos y en el poder reductor fueron de tal magnitud que permitieron discriminar entre las semillas de las diferentes muestras analizadas, en cualquier tiempo de almacenamiento, por lo que pueden ser quimiomarcadores útiles para el desarrollo de herramientas de control de calidad para el frijol común.

Palabras clave: Frijol común, envejecimiento de semillas, contenidos fenólicos.

Abstract

In the present study, the variation in the contents of total phenolics, flavonoids, condensed tannins, and iron reducing power of five wild populations of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from the state of Durango, Mexico, was determined every two months, during six months of storage. For comparative purposes, the Negro Bola variety was analyzed in the same manner. The results revealed a decrease in the phenolic compounds levels and in the reducing power for all the samples analyzed, but with important variations in the percentages of decrease between samples. The variations found suggest the existence of a high genetic diversity among the wild forms. The results of the cluster analysis suggest that the variations in the levels of the different phenolic compounds and in the reducing power were of such a magnitude that they allowed to discriminate between the seeds of different genotype at any time of storage, thus they can be useful chemomarkers for the development of quality control tools for common bean.

Keywords: Common bean, seed aging, phenolic content.

Introducción

Los compuestos fenólicos son los metabolitos especializados predominantes en las semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) (Yang *et al.* 2018). Estos compuestos son de particular interés antropocéntrico debido a que tienen una amplia diversidad de actividades biológicas (Sevgi *et al.* 2015; Spínola *et al.* 2017; Vasavilbazo-Saucedo *et al.* 2018) con impactos positivos en la salud humana, razón por la cual constantemente se exploran nuevas especies de plantas o nuevos tejidos o partes de ellas como fuentes de compuestos fenólicos bioactivos.

Se ha reportado que la composición fenólica entre diferentes variedades cultivadas de frijol común es variable (Doria *et al.* 2012; Mojica *et al.* 2015; Yang *et al.* 2018) y esa variación en composición causa cambios en las propiedades funcionales de las semillas (Doria *et al.* 2012). Varios estudios se han enfocado a determinar la variación de la composición fenólica de las semillas de diferentes variedades de frijol común de diferente origen geográfico (Fan & Beta 2017), durante la imbibición y después de la cocción (Mba *et al.* 2019), así como durante el envejecimiento de algunas variedades (Beninger *et al.* 2005; Duwadi *et al.* 2018).

La variación de la composición fenólica durante el envejecimiento, particularmente de la composición de proantocianidinas (taninos condensados), además de alterar las propiedades funcionales, alteran el color y las características de cocción de las semillas de frijol común, lo que tiene efectos negativos sobre las preferencias del consumidor y por lo tanto sobre su comercialización (Beninger *et al.* 2005; Duwadi *et al.* 2018). Esto justifica la búsqueda de alelos que proporcionen la característica de obscurecimiento lento, que puedan incorporarse en nuevas variedades. Al respecto, se han hecho importantes investigaciones para algunos cultivares (Junk-Knievel *et al.* 2007; Alvares *et al.* 2019). Sin embargo, a pesar de la importancia de las poblaciones silvestres como fuentes de alelos valiosos, las semillas de éstas no han sido exploradas con ese propósito. La magnitud de la variación de la composición fenólica durante el envejecimiento de las semillas está básicamente influenciada por las condiciones de almacenamiento

(Junk-Knievel *et al.* 2007) y por el genotipo (Elsadr *et al.* 2011).

El centro de origen de *P. vulgaris* se localiza en México (Bitocchi *et al.* 2017), en donde existen muchas poblaciones silvestres. En la región centro-norte del país, ocupada por el estado de Durango, el cual tiene una compleja fisiografía y una alta diversidad climática (González *et al.* 2007), nuestro grupo de investigación ha localizado un número importante de poblaciones silvestres de *P. vulgaris*. Las plantas de esas poblaciones silvestres tienen un hábito de crecimiento trepador, color de flor púrpura, vainas con dehiscencia explosiva como estrategia de dispersión de las semillas, valvas de las vainas torcidas después de la dehiscencia, y semillas pequeñas (entre 2 y 19 g/100 semillas, que es el intervalo registrado para las poblaciones silvestres de frijol común de Mesoamérica), características consideradas como propias del frijol común silvestre (Lépiz *et al.* 2010; Chacón-Sánchez *et al.* 2018). A pesar de su gran número, solamente unas pocas han sido estudiadas por su composición fenólica (Wallander 2021). El objetivo del presente estudio fue determinar y comparar los cambios en los contenidos de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante durante seis meses de envejecimiento de las semillas de cinco poblaciones silvestres de Durango, México.

Materiales y métodos

Material vegetal

Las semillas se colectaron en cuatro localidades del estado de Durango, México (Cuadro 1) en 2019. 100 semillas de cada localidad se depositaron en la Colección de Germoplasma del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango, del Instituto Politécnico Nacional (México) (CIIDIR-IPN-Durango). Con fines comparativos, la variedad cultivada Negro Bola (proporcionada por el INIFAP Durango, representando la cosecha de 2019) se analizó de la misma manera. Antes de almacenar, las semillas de cada población se secaron hasta alcanzar un contenido de humedad de 12% (Siqueira *et al.* 2014) y se molieron separadamente para obtener un polvo fino. Las semillas de cada población se almacenaron en oscuridad. La temperatura y humedad relativa variaron entre 11.06 y 27.13°C y

40.45 y 48.50 %, respectivamente durante el almacenamiento. Tres submuestras (réplicas) de cada muestra se analizaron independientemente cada 60 días durante seis meses.

Cuadro 1. Poblaciones silvestres de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de Durango, México.

Localidad	Número de Registro	Latitud N	Longitud O	Elevación (msnm)
El Mezquital	AIG-136	23° 27'	104° 29'	1400
Vicente Guerrero	AIG-137	23° 39'	104° 02'	1963
Nombre de Dios	AIG-138	24° 05'	104° 14'	1877
Nuevo Ideal	AIG-140	24° 45'	105° 00'	2037
Pueblo Nuevo	AIG-139	24° 51'	104° 51'	2039

Contenido de compuestos fenólicos

Los extractos fenólicos se prepararon de acuerdo a Reyes-Martínez et al. (2014). Los contenidos de fenoles totales se determinaron de acuerdo a Skotti et al. (2014), a partir de una curva estándar de ácido gálico (pendiente = 8.275, ordenada al origen = 0.101, r = 0.994), y se expresaron como microgramos equivalentes de ácido gálico por gramo de semilla seca ($\mu\text{g EAG/g S}$). Los contenidos de flavonoides se obtuvieron de acuerdo a Almaraz-Abarca et al. (2004), a partir de una curva estándar de quercetina (pendiente = 51.537, ordenada al origen = - 0.021, r = 0.998), y se expresaron como microgramos equivalentes de quercetina por gramo de semilla seca ($\mu\text{g EQ/g S}$). Para determinar los contenidos de taninos condensados se siguió el método descrito por

Julkunen-Tiitto (1985), la estimación se hizo a partir de una curva estándar de epicatequina (pendiente = 11.308, ordenada al origen = -0.005, r = 0.998), y se expresaron como microgramos equivalentes de epicatequina por gramo de semilla seca ($\mu\text{gEE/g S}$).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos (a concentración de 5 mg/mL) se determinó estimando el poder reductor de hierro, de acuerdo a Berker et al. (2007). La absorbancia de cada muestra se registró a 700 nm. Mayor valor de absorbancia indica mayor poder reductor.

Análisis de datos

Se analizaron tres muestras independientes para cada población. Los resultados se sometieron a análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey, usando XLSTAT2017. Las relaciones entre las diferentes muestras se determinaron por análisis de agrupamiento (UPGM e índice de similitud Euclidean). Los análisis de agrupamiento se realizaron con el programa Past4.07b.

Resultados

Contenidos de compuestos fenólicos

Las variaciones significativas en los contenidos de

Cuadro 2. Contenido de fenoles totales ($\mu\text{g EAG/g S}$) de las semillas cinco poblaciones silvestres y una variedad de frijol común (Negro Bola), recién colectadas y después de tres tiempos de almacenamiento.

Muestra	Inicio	60 días	120 días	180 días
El Mezquital	10003.29±574.20	7780.85±90.11 e	6389.10±326.51 e	3989.05±3.37 c
	d	(22.21)	(36.13)	(60.12)
Vicente Guerrero	6163.26±162.28 a	5812.64±349.86 a	4022.50±85.33 a	3233.12±92.54 b
		(5.00)	(34.73)	(47.54)
Nombre de Dios	7204.25±109.29 b	6743.62±351.20 cd	5558.30±3.69 c	4166.66±384.95 d
		(6.39)	(22.84)	(42.16)
Nuevo Ideal	7423.60±17.00 c	6355.41±431.74 b	5610.77±156.65 cd	3378.51±23.86 b
		(14.38)	(24.41)	(54.48)
Pueblo Nuevo	7326.25±377.28 b	7205.32±281.82 d	6063.75±155.70 d	4067.84±108.21 d
		(1.65)	(17.23)	(44.47)
Negro Bola	7442.55±308.13 c	6795.47±113.06 cd	4351.88±306.48 b	2511.29±80.31 a
		(8.68)	(41.52)	(66.25)

EAG: equivalentes de ácido gálico. S: Semilla. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas. Valores dentro de paréntesis indican el porcentaje de disminución con respecto al inicio.

fenoles totales entre las semillas recién cosechadas de las poblaciones silvestres de frijol común analizadas se presentan en el Cuadro 2. El intervalo de variación fue importante, entre 6163.26 y 10003.29 µg/g semilla para la población de Vicente Guerrero y El Mezquital, respectivamente. En el Cuadro 2 también se presenta la variación significativa en el porcentaje de disminución del contenido de fenoles totales para cada muestra después de 60, 120 y 180 días de almacenamiento. Después de 60 y 120 días, sobresalió la población silvestre de Pueblo Nuevo por presentar los menores porcentajes de disminución de contenido de fenoles totales. Después de 60 días de almacenamiento, las semillas de tres de las poblaciones silvestres (Pueblo Nuevo, Vicente Guerrero y Nombre de Dios) disminuyeron en menor magnitud su contenido de fenoles totales que la variedad (Negro Bola) analizada como referencia. Después de 120 y 180 días de almacenamiento, las semillas de las cinco poblacio-

nes silvestres perdieron menos fenoles totales que la variedad cultivada (Negro Bola). Sin embargo, después de 180 días, todas las muestras disminuyeron significativamente su contenido comparado al contenido inicial, siendo los de Nombre de Dios y Pueblo Nuevo los que experimentaron las menores pérdidas.

Variaciones significativas también se encontraron en los contenidos de flavonoides, tanto entre las semillas recién cosechadas de las diferentes poblaciones, como entre las semillas almacenadas a diferentes tiempos, de una misma población, principalmente después de 180 días de almacenamiento, comparados a los respectivos controles (Cuadro 3).

En el Cuadro 4 se observa la variación significativa en el contenido de taninos condensados de las muestras de frijol común analizados, tanto en semillas recién cosechadas como después de tres tiempos de almacenamiento. De entre las semillas recién cosechadas sobresalieron las de la variedad

Cuadro 3. Contenido de flavonoides (µg EQ/g S) de las semillas cinco poblaciones silvestres y una variedad de frijol común (Negro Bola), recién colectadas y después de tres tiempos de almacenamiento.

Muestra	Inicio	60 días	120 días	180 días
El Mezquital	476.88±9.39d	324.78±15.52 d (31.89)	309.96±4.03 d (35.00)	206.14±3.57 d (56.77)
Vicente Gro.	138.56±5.03a	125.43±0.58a (9.47)	119.22±1.12a (13.95)	104.78±1.94 a
Nombre de Dios	364.48±4.83c	267.98±2.96 c	241.30±6.28 c	171.77±2.57 b
Nuevo Ideal	280.39±9.08bc	212.52±0.58 b	200.17±3.52 b	153.91±0.52 (45.10)
Pueblo Nuevo	251.49±1.94b	208.10±3.51 b	202.20±2.47 b	161.89±2.73 b
Negro Bola	387.10±11.55c	327.46±2.60 d	318.87±8.04 e	188.03±1.14 c

EQ: equivalentes de ácido gálico. S: Semilla. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas. Valores dentro de paréntesis indican el porcentaje de disminución con respecto al inicio.

Cuadro 4. Contenido de taninos condensados (µg EE/g S) de las semillas de cinco poblaciones silvestres y una variedad de frijol común, recién colectadas y después de tres tiempos de almacenamiento.

Muestra	Inicio	60 días	120 días	180 días
El Mezquital	39.43±0.55cd	38.66±0.22c (1.05)	31.91±1.51c(19.07)	25.01±1.56c (36.57)
Vicente Gro.	30.68±1.92a	26.56±0.90a (13.43)	25.58±0.12 a b	16.92±0.15a (55.14)
Nombre de Dios	35.31±0.81b	26.62±0.37a (24.61)	27.01±0.20b (23.50)	19.72±0.64b (44.15)
Nuevo Ideal	37.122±0.630b	32.507±1.394 b (12.44)	29.029±0.995 d (21.82)	24.321±0.374 a (34.48)
Pueblo Nuevo	46.024±0.540e	33.812±0.821 d (26.53)	32.477±0.146 b (29.44)	30.920±2.404 d (32.81)
Negro Bola	40.37±1.30d	38.48±0.66c (4.68)	37.61±2.14e (6.83)	29.20±0.12d (27.66)

EE: equivalentes de epicatequina. S: Semilla. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas. Valores dentro de paréntesis indican el porcentaje de disminución con respecto al inicio.

Negro Bola y las de la población silvestre de El Mezquital por su alto contenido de estos compuestos fenólicos (Cuadro 4). Después de 60 días de almacenamiento, las semillas de la población de El Mezquital destacaron por su baja reducción del contenido de taninos condensados; sin embargo, después de 120 y 180 días, las semillas de la variedad Negro Bola tuvieron el menor porcentaje de reducción de estos compuestos.

Análisis de agrupamiento

Los resultados de los análisis de agrupamiento basados en los contenidos de compuestos fenólicos y en la actividad antioxidante de los extractos de las semillas de frijol común analizadas se presentan en la Figura 2. Los resultados muestran la discriminación entre los mismos. El porcentaje de disminución de la

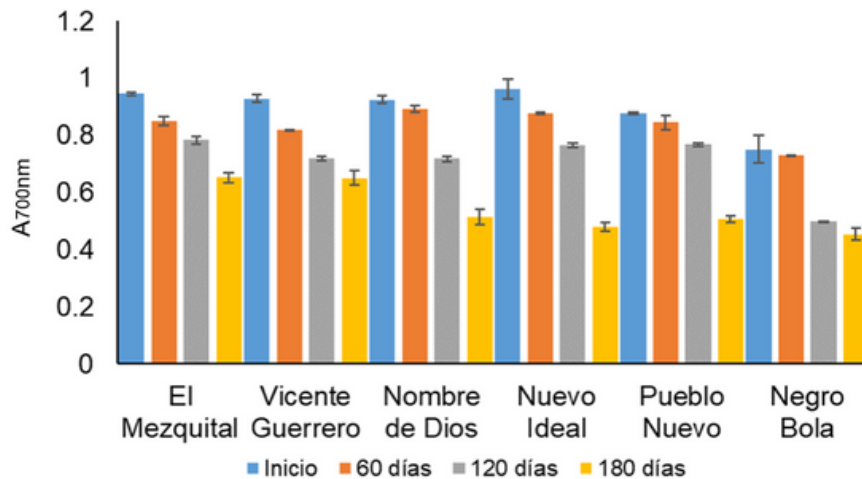


Figura 1. Poder reductor de hierro (A700nm) de los extractos fenólicos (5 mg/mL) de las semillas de cinco poblaciones silvestres y una variedad de frijol común, recién colectadas y después de tres tiempos de almacenamiento.

Capacidad antioxidante

La variación en la capacidad antioxidante de las muestras, evaluada como el poder reductor de hierro, se muestra en la Figura 1. La capacidad antioxidante de los extractos fenólicos de todos los fenotipos disminuyó progresivamente con el incremento del tiempo de almacenamiento.

capacidad antioxidante fue variable en cada muestra de frijol común analizado (Figura 1). Después de 60 días de almacenamiento, el menor porcentaje de reducción de la actividad antioxidante, con respecto al estado inicial, se registró para los extractos de las semillas Negro Bola, Nombre de Dios y Pueblo Nuevo (2.88, 3.54 y 3.75, respectivamente). Después de 120 días, las semillas de las poblaciones de Pueblo

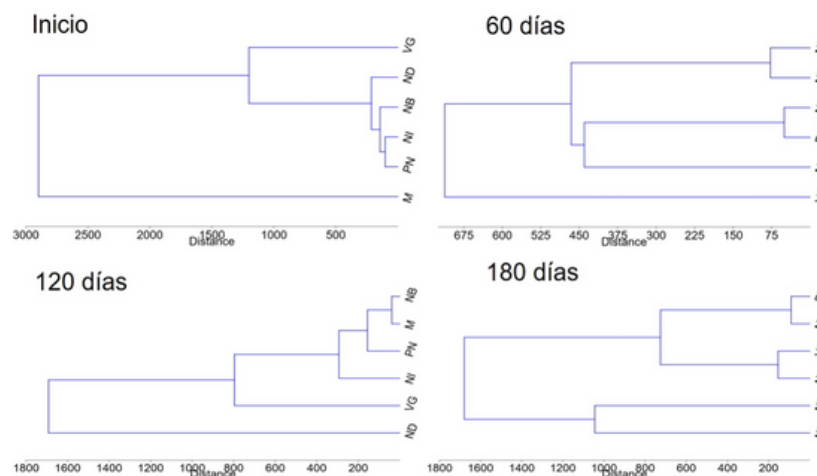


Figura 2. Resultados de los análisis de agrupamiento basados en los contenidos de compuestos fenólicos y en la actividad antioxidante de los extractos de las semillas de cinco poblaciones silvestres (M: El Mezquital, VG: Vicente Guerrero, ND: Nombre de Dios, NI: Nuevo Ideal, PN: Pueblo Nuevo) y una variedad (NB: Negro Bola) de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).

Nuevo y El Mezquital tuvieron los menores porcentajes de reducción (12.55 y 17.10, respectivamente), mientras que después de 180 días, las semillas de las poblaciones de Vicente Guerrero y Nombre de Dios mostraron los menores porcentajes de reducción (29.92 y 30.15, respectivamente).

Discusión

Contenido de compuestos fenólicos

Se ha reportado que las variedades de frijol negro contienen más compuestos fenólicos (Chávez-Mendoza y Sánchez 2017) que otras variedades; sin embargo, nuestros resultados revelaron que, entre las semillas de poblaciones silvestres, tal como las de la localidad de El Mezquital, se pueden encontrar contenidos más altos, ya que esa población acumuló un nivel mayor que la variedad Negro Bola analizada como referencia en el presente estudio (Cuadro 2). Los menores porcentajes de la disminución de los contenidos de fenoles totales registrados para las poblaciones silvestres de frijol común analizadas, comparadas con los de la variedad Negro Bola, durante tres diferentes tiempos de almacenamiento sugieren que estas poblaciones silvestres pueden representar genotipos de lenta pérdida de compuestos bioactivos y por lo tanto de disminución de propiedades biológicas. Después de 60, 120 y 180 días, las semillas de la población de Vicente Guerrero tuvieron la menor reducción en el contenido de flavonoides (Cuadro 3). El consumo de flavonoides en los alimentos se ha relacionado con beneficios a la salud debido a su reconocido amplio espectro de actividades biológicas (Seleem *et al.* 2017; Vasavilbazo-Saucedo *et al.* 2018). Los resultados del presente estudio indican que las semillas de todas las muestras de frijol común analizados son fuentes importantes de flavonoides, particularmente las de la población silvestre de El Mezquital. Las semillas de la población silvestre de Vicente Guerrero, fueron las que disminuyeron en menor magnitud su contenido de flavonoides después de seis meses de almacenamiento.

Los taninos condensados son componentes importantes de las semillas de frijol común (Alonso *et al.* 2000; Aparicio-Fernández *et al.* 2006). La oxidación de estos compuestos se ha propuesto como una de las principales causas de la decoloración de las envolturas de las semillas de esta especie (Beninger *et al.* 2005). La variación en la disminución del contenido

de estos compuestos entre las diferentes muestras analizadas después de 60, 120 y 180 días, sugiere que hay una importante variabilidad alélica relacionada a la decoloración de las semillas. El registro de este tipo de variación puede sustentar el desarrollo y/o el mejoramiento de variedades de frijol común con tasas lentas de decoloración de la semilla.

Capacidad antioxidante

La reducción progresiva del poder reductor de fierro en todas las muestras, con el incremento del tiempo de almacenamiento, se encontró asociada con la reducción, durante el mismo tiempo, de los niveles de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados (Cuadro 2-4), lo que está de acuerdo con lo reportado por algunos autores (Vukic *et al.* 2018; Park *et al.* 2019) acerca de que estos compuestos están entre los principales que proporcionan la capacidad antioxidante de los extractos vegetales.

Análisis de agrupamiento

Los resultados de los análisis de agrupamiento indicaron que los contenidos fenólicos y el poder reductor discriminan claramente entre las poblaciones analizadas, tanto desde el inicio como después de diferentes tiempos de almacenamiento, ya que cada una formó, en cada caso, un grupo independiente (Figura 2). Cambios en los contenidos y composición de compuestos fenólicos de las plantas generan variaciones en sus propiedades organolépticas y funcionales (Scarano *et al.* 2018), por lo que el registro exacto de esos cambios puede ser útil en el control de calidad de plantas alimenticias y medicinales. Los resultados de los análisis de agrupamiento indican que los contenidos de compuestos fenólicos y las capacidades antioxidantes de las semillas de frijol común pueden ser útiles como quimiomarcadores para el desarrollo de herramientas de control de calidad, como se ha sugerido para *Physalis angulata* (Cobaleda-Velasco *et al.* 2017) y *Physalis ixocarpa* (Hernández-Pacheco *et al.* 2022).

Conclusiones

Durante el almacenamiento por dos, cuatro y seis meses, de las semillas de cinco poblaciones silvestres de frijol común de Durango, México y de la variedad Negro Bola ocurrió una importante disminución de sus contenidos de fenoles totales, flavonoides, taninos condensados, y de su capacidad antioxidante. Sin embargo, el porcentaje de disminución fue significativamente variable entre las poblaciones. Esa variación puede ser útil para seleccionar genotipos de lenta reducción del contenido de compuestos fenólicos, que puedan sustentar el desarrollo y mejoramiento de variedades de frijol común. Esa variación también sugiere la existencia de una alta variabilidad genética en la especie. Las diferencias fueron de tal magnitud que los análisis de agrupamiento permitieron discriminar claramente entre las poblaciones a cualquier tiempo de almacenamiento, por lo que la caracterización fenólica de las semillas puede representar un quimiomarcador para el control de calidad de *P. vulgaris*.

Literatura citada

- Almaraz-Abarca, N., M.G. Campos, J.A. Ávila-Reyes, N. Naranjo-Jiménez, J. Herrera-Corral y L.S. González-Valdés. (2004). Variability of antioxidant activity among honeybee-collected pollen of different botanical origin. *Interciencia* 29: 574-579. [Online ISSN: 2244 – 7776].
- Alonso, R., A. Aguirre y F. Marzo. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68 (2): 159-165. [Online ISSN: 0308-8146].
- Alvares, R.C., R. Stonehouse, T.L.P.O. Souza, P.G.S. Melo, P.N. Miklas, K.E. Bett, L.C. Melo, L.A. Rodrigues, L.L. Souza y H.S. Pereira. (2019). Generation and validation of genetic markers for the selection of carioca dry bean genotypes with the slow-darkening seed coat trait. *Euphytica* 215(8): 141. [Online ISSN: 1573-5060].
- Aparicio-Fernández, X., L. Manzo-Bonilla y G.F. Loarca-Piña. (2006). Comparison of antimutagenic activity of phenolic compounds in newly harvested and stored common beans *Phaseolus vulgaris* against Aflatoxin B1. *Journal of Food Science* 70(1): 73-78. [Online ISSN: 1750-3841].
- Beninger, C.W., L. Gu, R.I. Prior, D.C. Junk, A. Vandenberg y K.E. Bett. (2005). Changes in polyphenols of the seed coat during the after-darkening process in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(20): 7777-7782. [Online ISSN: 1520-5118].
- Berker, K.I., K. Güçlü, I. Tor y R. Apak. (2007). Comparative evaluation of Fe (III) reducing power-based antioxidant capacity assays in the presence of phenanthroline, batho-phenanthroline, tripyridyltriazine (FRAP), and ferricyanide reagents. *Talanta* 72(3): 1157-1165. [Online ISSN: 0039-9140]
- Bitocchi, E., D. Rau, E. Bellucci, M. Rodriguez, M.L. Murgia, T. Gioia, D. Santo, L. Nanni, G. Attene y R. Papa. (2017). Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. *Frontiers in Plant Science* 8:722. [Online ISSN: 1664-462X].
- Chacón-Sánchez, M.I. (2018). The domestication syndrome in *Phaseolus* crop plants: A review of two key domestication traits. pp. 37-59. En: Pontarotti, P. Origin and Evolution of Biodiversity. Springer, Cham, Switzerland. 361 pp. [ISBN: 978-3-319-95953-5].
- Chávez-Mendoza, C. y E. Sánchez. (2017). Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules* 22 (8): 1360. [Online ISSN: 1420-3049]
- Cobaleda-Velasco, M., R.E Alanis-Bañuelos, N. Almaraz-Abarca, M. Rojas-López, L.S. González-Valdez, J.A. Ávila-Reyes y S. Rodrigo. (2017). Phenolic profiles and antioxidant properties of *Physalis angulata* L. as quality indicators. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research* 5(2): 114-128. [Online ISSN: 0719-4250].
- Doria, E., B. Campion, F. Sparvoli, A. Tava y E. Nielsen. (2012). Anti-nutrient components and metabolites with health implications in seeds of 10 common bean (*Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus lunatus* L.) landraces cultivated in southern Italy. *Journal of Food Composition and Analysis* 26(1-2): 72-80. [Online ISSN: 0889-1575].
- Duwadi, K., R.S. Austin, H.R. Mainali, K. Bett, F. Marsolais y S. Dhaubhadel. (2018). Slow darkening of pinto bean seed coat is associated with significant metabolite and transcript differences related to proanthocyanidin biosynthesis. *BMC Genomics* 19: 260. [Online ISSN: 1471-2164].
- Elsadr, H.T., L.C. Wright, K.P. Pauls y K.E. Bett. (2011). Characterization of seed coat post harvest darkening in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 123(8): 1467–1472. [Online ISSN: 1432-2242].
- Fan, G. y T. Beta. (2017). Discrimination of geographical origin of Napirira bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on phenolic profiles and antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis* 62: 217-222. [Online ISSN: 0889-1575].
- González, E.M.S., E.M. González y L.M.A. Márquez. (2007). *Vegetación y Ecorregiones de Durango*. Plaza y Valdés, Distrito Federal, México. 219 pp. [ISBN: 978-970-722-698-2].
- Hernández-Pacheco, C.E, N. Almaraz-Abarca, M. Rojas-López, R. Torres-Ricario, J.A. Ávila-Reyes, L.S. González-Valdez, E.A. Delgado-Alvarado, O. Moreno-Anguiano y J.N. Uribe-Soto. (2022). Salinity generates variable chemical and biochemical responses in *Physalis ixocarpa* (Solanaceae) during different times of exposure. *Electronic Journal of Biotechnology* 59: 25-35. [Online ISSN: 0717-3458]

- Julkunen-Tiitto, R. (1985). Phenolic constituents in the leaves of norther willows: Methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 33(2): 213-217. [Online ISSN: 1520-5118].
- Junk-Knievel, D.C., A. Vandenberg y K.E. Bett. (2007). An accelerated postharvest seed-coat darkening protocol for pinto beans grown across different environments. *Crop Science* 47(2): 694-702. [Online ISSN:1435-0653].
- Lépiz, I.R., López A.J., Sánchez G.J.J., Santacruz R.F., Nuño G.R., y Rodríguez G.E. (2010). Morphological traits of cultivated, wild and weedy forms in climbing common bean. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 21-28. [Online ISSN: 0187-7380].
- Mba, O.I., E.M. Kwofie y M. Ngadi. (2019). Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. *Heliyon* 5(5): e01613. [Online ISSN: 2405-8440].
- Mojica, L., A. Meyer, M.A. Berhow y E. González de Mejía. (2015). Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, in vitro inhibition of α -amylase and α -glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Research International* 69: 38-48. [Impreso ISSN: 0963-9969].
- Park, C.H., H.J. Yeo, T.B. Baskar, Y.E. Park, J.S. Park, S.Y. Lee y S.U. Park. (2019). In vitro antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean mint. *Antioxidants* 8(3): 75. [Online ISSN: 2076-3921].
- Reyes-Martínez, A., N. Almaraz-Abarca, T. Gallardo-Velázquez, M.S. González-Elizondo y Herrera-Arrieta, A. Pajarito-Ravelero, R.E. Alanís-Bañuelos, M.I. Torres-Morán. (2014). Evaluation of foliar phenols of 25 Mexican varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as antioxidants and varietal markers. *Natural Product Research* 28(23): 2158-2162. [Online ISSN: 1478-6427].
- Scarano, A., M. Chieppa y A. Santino. (2018). Looking at flavonoid biodiversity in horticultural crops: A colored mine with nutritional benefits. *Plants* 7(4): 98. [Online ISSN: 2223-7747].
- Seleem, D., V. Pardi y R.M. Murata. (2017). Review of flavonoids: A diverse group of natural compounds with anti-*Candida albicans* activity in vitro. *Archives of Oral Biology* 76: 76-83. [Online ISSN: 0003-9969].
- Sevgi, K., B. Tepe y C. Sarikurkcü. (2015). Antioxidant and DNA damage protection potentials of selected phenolic acids. *Food and Chemical Toxicology* 77: 12-21. [Online ISSN: 0278-6915].
- Siqueira, B.S., W.J. Pereira, K.A. Batista, B.D. Oomah y K.F. Fernandes. (2014). Influence of storage on darkening and hardening of slow- and regular-darkening Carioca Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Studies* 2(2): 87-104. [Online ISSN: 2166-0379].
- Skotti, E., E. Anastasaki, G. Kanellou, M. Polissiou y P.A. Tarantilis. (2014). Total phenolic content, antioxidant activity and toxicity of aqueous extracts from selected Greek medicinal and aromatic plants. *Industrial Crops and Products* 53: 46-54. [Online ISSN: 0926-6690].
- Spínola, V.J. Pinto, P. y C. Castilho. (2017). In vitro studies on the effect of watercress juice on digestive enzymes relevant to type 2 diabetes and obesity and antioxidant activity. *Journal of Food Biochemistry* 41(1): e12335. [Online ISSN:1745-4514].
- Vasavilbazo-Saucedo, A., N. Almaraz-Abarca, H.A. González-Ocampo, J.A. Ávila-Reyes, L.S. González-Valdez, A. Luna-González, E.A. Delgado-Alvarado y R. Torres-Ricario. (2018). Phytochemical characterization and antioxidant properties of the wild edible acerola *Malpighia umbellata* Rose. *CYTA-Journal of Food* 16(1): 698-706. [Online ISSN: 1947-6345].
- Vukic, M.D., N.L. Vukovic, G.T. Djelic, A. Obradovic, M.M. Kacaniova, S., Markovic, S. Popović y D. Baskić. (2018). Phytochemical analysis, antioxidant, antibacterial and cytotoxic activity of different plant organs of *Eryngium serbicum* L. *Industrial Crops and Products*, 115, 88-97. [Online ISSN: 0926-6690]
- Wallander, C.L. (2021). "Variación epigenética, genética y morfológica de formas silvestres de frijol común del estado de Durango, México". Director: Norma Almaraz Abarca. (Tesis Doctoral). Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Durango, México.
- Yang, Q.-Q., R.-Y. Gan, Y.-Y. Ge, D. Zhang y H. Corke. (2018). Polyphenols in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Chemistry, analysis, and factors affecting composition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(6): 1518-1539. [Online ISSN:1541-4337].