



Diversidad para color de la testa entre poblaciones de ajonjolí, colectadas en el Centro y Noroeste de México †

[Diversity for testa seed color among sesame populations, collected in Central and Northwestern Mexico]

Genny Llaven-Valencia^{1*}, Fernando Castillo-González¹,
Amalio Santacruz-Varela¹, Elizabeth García-León²,
Serafin Cruz-Izquierdo^{1*}, Ignacio Benítez-Riquelme¹
and Aidé Hernández-Hernández³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad – Genética, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, C.P. 56264, Estado de México, México. Email:

llaven.genny@colpos.mx, sercruz@colpos.mx

²INIFAP–Campo Experimental Valle del Fuerte, Carr. Internacional México–Nogales km 1609, Juan José Ríos, Guasave, C.P. 81110, Sinaloa, México.

³ Tecnológico Nacional de México–Campus Guasave. Carretera Internacional entronque a carretera La Brecha SN, Ejido Burrioncito, C.P. 81149, Sinaloa, México

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an oilseed with demand for direct and industrial consumption due to its nutritional value and phytochemical components. The color of the coat appears to be related to the seed biochemical properties, antioxidant activity and biological properties. **Objective:** To identify and generate knowledge on seed coat color variability in sesame accessions from central and northwestern Mexico. **Methodology:** 73 sesame populations were collected in the Mexican states of Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Sinaloa and Sonora. Color parameters L*, a*, and b* were recorded through readings in a Hunter-Lab miniScan XEPLUS colorimeter. The tone (hue) was calculated by means of arctan expression (b^*/a^*) and chroma as: $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$. Readings were taken in triplicate on a 10-g seed sample. The data were processed by analysis of variance (ANOVA), principal components (PCA) and hierarchical clusters. **Results:** Low coefficients of variation were found in the parameters of the HunterLab scale, 0.64, 1.85, 0.91, 0.97 and 1.06% for L*, a*, b*, chroma and hue, respectively, indicating that the color information of the seed coat is consistent, allowing to identify groups of populations by color as follows: 5 light color populations, 37 cream color, 23 brown and 8 dark color. The PCA, based on L*, hue and chroma, indicated that the first PC explains 95% of the total variation among populations, and the cluster analysis allowed differentiation among non-dark coat populations. **Implications:** Complete chemical and proximal determinations are required with special interest in black sesame due to its nutraceutical quality. **Conclusions:** Producers preserve genetic diversity by cultivating different local genotypes based mainly on yield and grain color diversity. **Key words:** Diversity; Nutritional components; Colorimeter; Seed quality; natural pigments.

RESUMEN

Antecedentes: El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es una oleaginosa con demanda para consumo directo e industrial por su valor nutricional y componentes fitoquímicos. El color de la testa parece estar relacionado con las propiedades bioquímicas de la semilla, actividad de los antioxidantes y propiedades biológicas. **Objetivo:** Identificar y generar conocimiento de variabilidad en color de la testa de la semilla en colectas de ajonjolí del centro y noroeste de México. **Metodología:** Se colectaron 73 poblaciones de ajonjolí en los estados mexicanos de Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Sinaloa y Sonora. Se registraron los parámetros de color L*, a*, y b* a través de lecturas en un colorímetro Hunter-Lab miniScan XEPLUS. Se calculó el tono (hue) por medio de la expresión arctan (b^*/a^*) y el croma como: $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$. Las lecturas se tomaron por triplicado sobre una muestra de 10 g de semilla. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANDEVA), de componentes

† Submitted December 11, 2023 – Accepted December 18, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5321>



principales (ACP) y de conglomerados jerárquicos. **Resultados:** Se encontraron coeficientes de variación bajos en los parámetros de la escala HunterLab: 0.64, 1.85, 0.91, 0.97 y 1.06% para L*, a*, b*, croma y hue, respectivamente, lo cual indica que la información de color en la testa de la semilla es consistente, permitiendo identificar grupos de poblaciones por color como sigue: 5 poblaciones de color claro, 37 de color crema, 23 de color marrón y 8 de color oscuro. El ACP, con base en L*, hue y croma, indicó que el primer CP explica 95% de la variación total entre las poblaciones, y el análisis de conglomerados permitió la diferenciación entre poblaciones con testa de color no oscuro. **Implicaciones:** Se requieren determinaciones químicas y proximales completas con especial interés en los ajonjolíes de color negro por su calidad nutracéutica. **Conclusiones:** Los productores conservan la diversidad genética al cultivar los diferentes genotipos locales con base principalmente en rendimiento y por diversidad en colores de grano.

Palabras clave: Diversidad; componentes nutricionales; calidad de semilla; color de semilla; pigmentos naturales.

INTRODUCCIÓN

El sésamo o ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es una semilla oleaginosa cuyo centro de origen aún es polémico, entre India y Etiopía (Bedigian, 2010). La diversidad genética de las variedades locales se considera valiosa y esencial para el futuro de la producción mundial. Su demanda ha aumentado debido al interés comercial para consumo directo e industrial en sus diversos valores nutricionales, componentes fitoquímicos, terapéuticos, así como por su contenido y relación de proteínas–aminoácidos y de aceites–ácidos grasos, vitaminas y minerales (Chávez-Ontiveros *et al.*, 2020). Los países de mayor producción son Myanmar (Birmania), India, Pakistán y Tanzania, reconocidos también como los principales exportadores, cuya producción oscila entre 260 y 133 mil toneladas. La producción de México representa el 0.9% del ajonjolí que se cosecha en el mundo, con rendimientos que van de 0.700 a 1.2 t ha⁻¹, colocando a este país en el lugar número 17 como productor de ajonjolí a nivel mundial. En México, Sinaloa, Guerrero y Michoacán son los estados con mayor producción de ajonjolí. En el estado de Sinaloa, en el noroeste, se produjeron 21 mil 306 toneladas de semilla durante los últimos cinco años (SADER, 2023), donde los municipios de Sinaloa, Ahome y Choix figuraron con 45.1, 16.1 y 15.4%, respectivamente, como los principales productores de ajonjolí en dicho estado.

La introducción del ajonjolí a México está vinculada con la llegada de los colonizadores españoles en el siglo XVI. Se cree que los españoles trajeron la planta a América desde África o Asia como parte del intercambio de plantas que se dio durante la colonización y fue rápidamente adoptado por las culturas indígenas debido a su facilidad de cultivo y su utilidad tanto en la cocina como en la medicina tradicional (Rajeswari *et al.*, 2010). La diversidad genética que se introdujo ha estado sujeta a procesos de evolución bajo domesticación; sin embargo, se han hecho pocos estudios para valorar la diversidad actual para poder dirigir su mejor aprovechamiento con

variantes más productivas y de mejor calidad. Se han hecho exploraciones de colecta de semilla de poblaciones locales y se han conservado muestras de germoplasma en instituciones educativas y de investigación. La producción nacional de ajonjolí se basa, en el uso de variedades con buena adaptación a condiciones específicas que faciliten las labores agrícolas y presenten las características de calidad con aceptación en el mercado internacional. Existe una considerable variabilidad genética en las colecciones de germoplasma de ajonjolí, según estudios de descripción fenotípica, que han permitido detectar cualidades agrónomicamente útiles y proporcionar información para los programas de mejoramiento genético (Das y Ghosh, 2010, Sharma *et al.*, 2014). De acuerdo con (Dossou *et al.*, 2022), las semillas de sésamo son consideradas mundialmente como un alimento funcional por sus propiedades nutricionales y terapéuticas. Por otro lado, la diversidad de colores de la testa del grano está asociada con la variabilidad de metabolitos con actividades antioxidantes, colores que van desde el blanco, crema, marrón y negro; de modo que el color de la cubierta de la semilla es un parámetro para su consumo (Zhang *et al.*, 2013); al ajonjolí negro se le atribuye mayor preferencia por propiedades para la salud humana debido a la alta capacidad antioxidante, que repercute en mejor precio en el mercado por su demanda en industrias farmacéuticas, de alimentos y de cosméticos (Castro-Montoya *et al.*, 2015); sin embargo, de acuerdo con Hussain *et al.* (2018), el ajonjolí de color blanco es el de mayor uso para alimento y en la producción de aceite. Por lo tanto, la capacidad biológica de las semillas depende principalmente de sus características fitoquímicas en las que están involucradas grasas, proteínas, lignanos, compuestos fenólicos totales y flavonoides disponibles en semillas de sésamo blanco y negro (Dar *et al.*, 2019; Konsoula y Liakopoulou-Kyriakides, 2010).

Para hacer un estudio colorimétrico se determinan las variables luminosidad (L*), que cuantifica la opacidad y oscila entre blanco y negro; la

combinación de rojo y verde (a^*) y la combinación de amarillo y azul (b^*). Con las últimas dos variables se derivan el tinte (H) y la cromaticidad (C), parámetros que caracterizan de manera objetiva el color (McGuire, 1992; Hernández *et al.*, 2009). Algunos estudios relacionados con el color de la testa en ajonjolí han determinado variantes que van desde blanco, crema, marrón y negro (Bedigian, 2010; Namiki, 2007); sin embargo, no se reportan estudios mediante análisis de L^* , a^* y b^* específico para ajonjolí.

La diversidad del ajonjolí en México se ha estudiado de manera insuficiente; se reconocen algunas semillas de manera específica por región y se promueven localmente. Con el propósito de estudiar de manera sistemática tal diversidad que ha evolucionado bajo domesticación desde la introducción del cultivo a México, se hizo una exploración de colecta en varios estados de la vertiente del Pacífico y se logró conjuntar 73 poblaciones (Figura 1). En principio, y tomando en cuenta la posible relación del color de la testa de la semilla con la calidad nutracéutica, se estableció un estudio de granos enteros considerando la valoración del color dado por tres magnitudes: L^* (luminosidad), C^* (croma) y H^* (tono), a partir de

la caracterización del color que se logra mediante las coordenadas de L^* , a^* y b^* , lo cual permite registrar de manera objetiva las diferencias de color en su naturaleza de variación continua y porque mediante la distancia euclidiana entre las lecturas a^* y b^* corresponde cercanamente a la diferencia de color percibida por un observador (León *et al.*, 2006). El estudio de la diversidad para el color de grano permitirá construir una perspectiva para valoración posterior de compuestos bioquímicos funcionales relacionados con los pigmentos. El objetivo de esta investigación fue identificar y generar conocimiento sobre la variabilidad en color de la testa de la semilla en colectas de ajonjolí del centro y noroeste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se evaluaron 73 poblaciones las cuales forman parte de colecta nacional del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) resguardada en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos. Para la elección se consideró preferencia de consumo, adaptación, rendimiento y color de testa del grano.

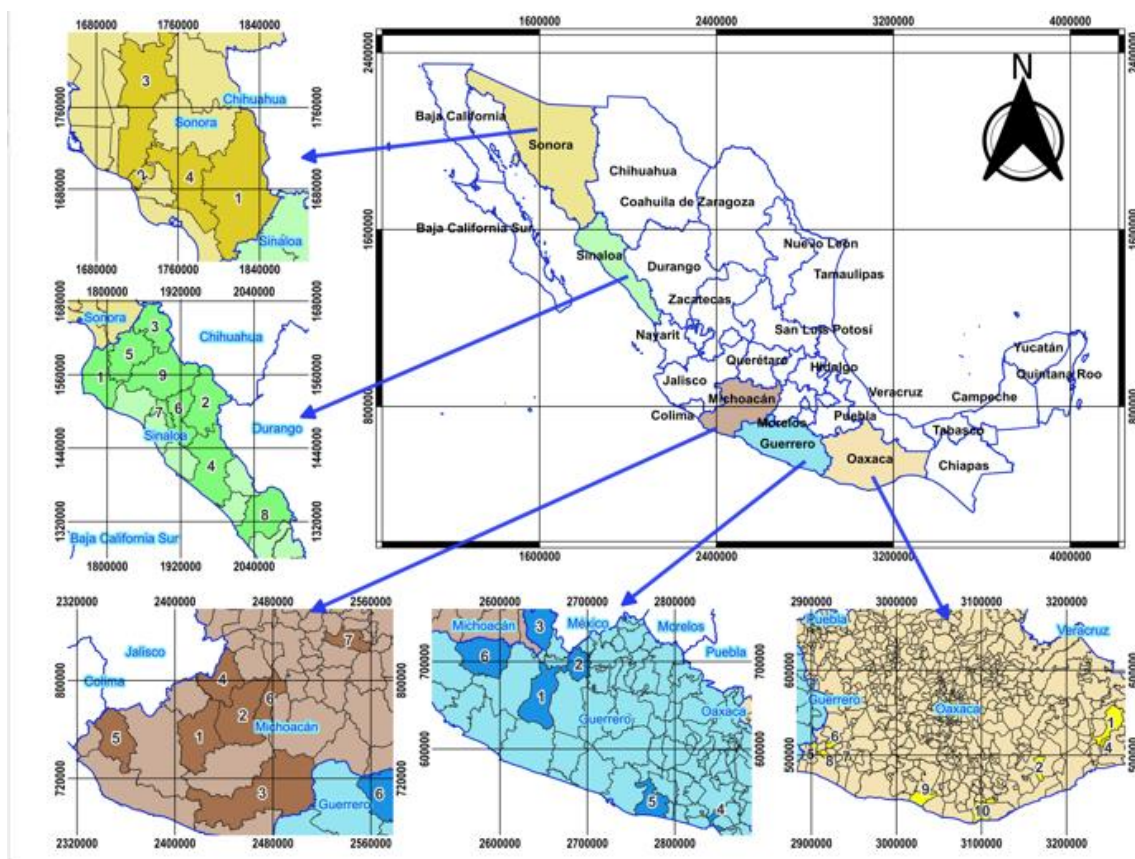


Figura 1. Estados explorados para la colección de muestras de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

Poblaciones colectadas

La distribución del cultivo de ajonjolí en México está determinada por preferencias de producción y consumo debido a las aplicaciones culinarias como el de grano oscuro y el valor comercial en mercados industriales nacionales e internacionales las tonalidades claras a blanco. Los dos tipos principales producidos y consumidos en el país son el sésamo blanco y el sésamo negro.

Sonora: (65) Ostimuri 88, (5) Cola de borrego, (16) La oriental, (58) Río Yaqui, (28) Pata de Gallo, (63) Teras 77, (54) Yori, (18) Tanquiqueño, (13) Torocobampo, (40) Blanco 2.

Sinaloa: (24) Breve Doble, (34) Breve Oriental, (31) Breve Sencillo, (19) Brevito, (11) Cajilludo, (61) Húngaro, (45) SOP9539TD, (12) Pachequeño, (37) Etchohuaquila, (29) Dormilón, (15) Dormilón Breve.

Michoacán: (60) Criollo San Marcos, (50) Criollo moreleano, (33) SL159X16, (38) Chicol Hicario, (42) Chumbitaro Michoacán, (52) Concepción Vera 142, (23) 2-Chamacua Michelena, (17) 86-Concepcion Vera, (62) 99 Huesillo, (51) Ambrosio, (49) Eva, (2) Francisco Toribio, (21) Abraham Gutiérrez, (1) Jesús Díaz, (43) José Delgado, (41) Levanta Pobres, (27) Luis Bocio, (6) Othón, (56) Platanillo, (46) Puleco, (14) 1-Chamacua Michelena, (10) 115-Francisco Arellano, (48) Viviano Arroyo, (47) 155-Verde Manga de Cuimbo, (25) 160-Cola de Macho, (53) 180-Concepción Vera, (4) 181-Francisco Arellano, (59) Regional felicidad, (8) Rio Grande, (55) San Joaquín, (22) San José, (32) Tesia, (39) Tlapehuala, (36) Turinoco, (7) Valentín, (64) Verde manga de Cuimbo, (3) Zirándaro.

Guerrero: (26) Iguala131475R, (20) Blanco 88, (9) Igualteco, (30) Cárdenas, (44)-Regional, (57) Arcelia.

Oaxaca: (66) 1N3R, (73) 2NV3, (72) 3N8TC, (68) 4NCR10, (71) 5NR1V, (69) 6NNV3C, (70) N73C, (67) 8N1C, (35) blanco88 Oaxaca.

Preparación de muestra para el estudio de color y diseño experimental

Se midió el color del grano de 73 colectas de ajonjolí en términos de los valores L^* , a^* y b^* (MacDougall, 2010; McGuire, 1992), con un equipo Hunter-Lab miniScan XEPLUS (Mod. PL50); la medición de los parámetros de color en la metodología CIELAB, corresponden a: L^*

luminosidad (negro-blanco), a^* (verde-rojo), b^* (azul-amarillo), método planteado por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). El instrumento fue calibrado antes de la primera medición y rectificado después de cada 30 mediciones, empleando una pieza de porcelana blanca ($L^* = 96,9$; $a^* = 0,04$; $b^* = 1,84$). Las lecturas se tomaron por triplicado sobre una muestra de 10 g de grano colocada en una cápsula de plástico transparente. Se calculó el tono o ángulo (Hue) por medio de la función: $\arctan(b^*/a^*)$, valor angular que indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de a^* y el eje Y a los de b^* (0° = color rojo-púrpura; 90° = amarillo; 180° = azul verdoso; y 270° = azul). El Croma se calculó como la distancia: $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$. La cromaticidad indica la intensidad o concentración del color predominante dentro del cuadrante (McGuire, 1992; MacDougall, 2010). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para cada variable, mediante el procedimiento GLM del SAS versión 9.1 (SAS Institute 2004). Se realizó también un análisis de componentes principales y se graficó la dispersión de las poblaciones sobre el plano determinado por los dos primeros componentes, así como las correlaciones de las variables con esos dos componentes y un análisis de conglomerados para obtener el dendrograma correspondiente (Johnson, 2000).

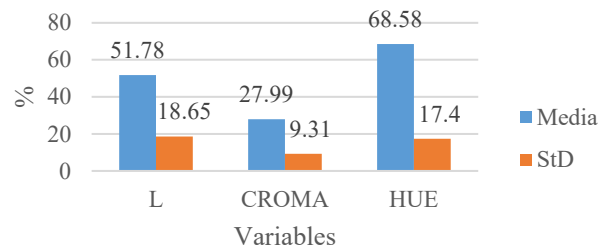
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas entre poblaciones (Tabla 1), para los parámetros de la escala HunterLab; los coeficientes de variación fueron aceptables: 0.64, 1.85, 0.91, 0.97, y 1.06% para L^* , a^* , b^* , Croma y Hue, respectivamente, lo cual implica que la valoración del color en la testa de la semilla fue consistente, permitiendo identificar agrupaciones por color; en la Figura 2 se observa que la variable Hue tiene gran influencia para clasificar grupos debido al porcentaje de brillantez en la testa donde el valor medio fue de 68.58% con una desviación estándar de 17.4 la cual se considera aceptable. En la Tabla 2 se observa la predominancia de los colores claros en los estados explorados para colecta, esto permite inferir que el color de la testa es un carácter importante en la producción y se puede atribuir a demanda comercial, atributos nutricionales, adaptación y manejo (Morris, 2009).

Tabla 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para parámetros de color en 73 poblaciones de ajonjolí.

F.V	G.L	L*	a*	b*	Croma	Hue
Repetición	2	0.46086	0.0018466	0.18138	0.17157	0.18233
Población	72	1044.4136 **	9.7376084 **	175.0733**	260.22473**	909.1382**
Error	144	0.11181	0.0133901	5.7729	0.07465	0.53252
C. V.		0.64	1.85	0.91	0.97	1.06

F.V: Fuente de variación, G.L.: Grados de libertad, L*: Brillantez; a*: matiz rojo-verde, b*: matiz amarillo-azul, Croma: cromaticidad; Hue: tonalidad.

**Figura 2. Valores medios y desviación estándar (StD) de luminosidad (L), Croma y Hue en testa de ajonjolí en las poblaciones evaluadas.****Tabla 2. Valores medios de cinco variables determinados en testa de ajonjolí.**

No.	Población	L*	a*	b*	Croma	Hue
1	Jesús Díaz	64.97	5.02	22.72	27.76	77.49
2	Francisco Toribio	65.86	5.28	23.41	28.69	77.28
3	Zirándaro	61.93	5.49	23.47	28.96	76.84
4	181-Francisco Arellano	64.47	5.29	22.52	27.86	76.77
5	Cola de borrego	63.92	5.89	24.53	30.65	76.61
6	Othón	61.39	5.88	24.65	30.53	76.59
7	Valentín	63.07	5.48	22.26	27.73	76.18
8	Rio grande	62.41	5.86	23.81	29.67	76.18
9	Igualteco	63.79	5.98	24.3	30.28	76.17
10	115-Francisco Arellano	61.76	5.79	23.45	29.24	76.12
11	Cajilludo	61.81	6.68	26.85	33.53	76.04
12	Pachequeño	62.28	7.06	28.37	35.43	76.01
13	Torocobampo	61.40	5.93	23.76	29.69	75.99
14	1-Chamacua michelena	59.60	5.82	23.95	28.77	75.78
15	Dormilón breve	61.55	6.47	25.48	31.95	75.76
16	La oriental	63.33	6.51	25.58	32.09	75.71
17	86-Concepcion Vera	63.70	5.39	20.89	26.28	75.53
18	Tanquiqueño	59.81	7.38	28.43	35.81	75.44
19	Brevito	63.95	6.05	23.3	29.36	75.44
20	Blanco 88	61.33	6.93	26.53	33.46	75.36
21	Abraham Gutiérrez	60.72	5.83	20.68	26.50	74.26
22	San José	62.22	5.96	22.71	28.67	75.29
23	2-Chamacua michelena	61.71	6.03	22.81	28.84	75.19
24	Breve Doble	55.56	7.39	27.61	35.00	75.01
25	160-Cola de macho	58.66	6.57	24.53	31.11	75.00
26	Iguala131475R	60.51	6.27	23.41	29.68	75.00
27	Luis Bocio	56.69	6.47	24.09	30.56	74.97
28	Pata de Gallo	57.13	7.64	28.37	36.01	74.92
29	Dormilón	61.04	6.80	25.22	32.02	74.91
30	Cárdenas	63.45	6.21	22.88	29.09	74.81
31	Breve Sencillo	57.15	7.07	26.05	33.13	74.81
32	Tesia	56.80	6.59	24.19	30.77	74.77

No.	Población	L*	a*	b*	Croma	Hue
33	SL159X16	56.30	6.32	23.17	29.49	74.75
34	Breve Oriental	58.46	8.37	30.58	38.95	74.69
35	blanco88 OAXACA	60.63	6.45	23.44	29.89	74.6
36	Turinoco	58.87	6.85	24.62	31.47	74.46
37	Etchohuaquila	54.77	7.49	26.65	34.13	74.31
38	Chicol Hicario	56.05	6.81	24.17	30.98	74.27
39	Tlapehuala	55.36	6.99	24.69	31.68	74.2
40	Blanco 2	57.67	6.55	23.13	29.68	74.19
41	Levanta pobres	54.24	7.10	24.94	32.04	74.11
42	Chumbitaro Michoacán	60.45	6.74	23.66	30.4	74.11
43	José Delgado	61.42	5.79	20.32	26.11	74.09
44	Regional	56.16	7.08	24.68	31.75	74.00
45	SOP9539TD	53.85	8.28	28.59	36.87	73.85
46	Puleco	52.17	7.76	26.42	34.18	73.62
47	155-Verde Manga de Cuimbo	52.33	7.30	24.68	31.99	73.52
48	Viviano Arroyo	52.65	7.75	25.78	33.53	73.46
49	Eva	56.10	6.81	22.93	29.74	73.45
50	Criollo moreleano	50.35	7.81	26.14	33.95	73.36
51	Ambrosio	55.13	7.78	25.98	33.76	73.33
52	Concepción Vera 142	60.76	6.31	21.03	27.34	73.31
53	180- Concepción Vera	58.51	7.12	23.60	30.72	73.22
54	Yori	47.32	7.54	24.49	32.03	72.88
55	San Joaquín	58.59	7.07	22.62	29.69	72.65
56	Platanillo	55.95	6.72	21.39	28.11	72.56
57	Arcelia	48.57	8.01	25.36	33.37	72.46
58	Rio yaqui	59.00	6.65	21.06	27.71	72.45
59	Regional felicidad	53.54	7.21	22.76	29.97	72.43
60	Criollo San Marcos	54.85	7.81	24.38	32.19	72.23
61	Húngaro	45.12	8.24	25.3	33.54	71.97
62	99-Huesillo	46.83	8.75	26.34	35.01	71.63
63	Teras 77	51.31	8.28	24.46	32.74	71.3
64	Verde manga cuimbo	53.05	8.22	24.2	32.42	71.23
65	Ostimuri88	55.98	7.01	20.42	27.43	71.03
66	1N3R	2.16	2.64	3.44	6.09	52.49
67	8N1C	0.36	2.64	1.39	5.03	20.89
68	4NCR10	0.42	2.11	0.71	2.82	18.49
69	6NNV3C	0.38	2.11	0.66	2.84	16.97
70	N73C	0.31	1.76	0.53	2.29	16.76
71	5NR1V	0.33	1.88	0.48	2.36	14.22
72	3N8TC	0.01	0.04	0.01	0.05	13.68
73	2NV3	0.04	0.24	0.06	0.3	13.27
	Promedio	49.99	6.11	21.78	28	68.59
	Máxima	65.86	8.75	30.58	38.95	77.49
	Mínima	0.01	0.04	0.01	0.05	13.29
	Desviación estándar	18.65			9.31	17.4
	DSH (0.05)	0.946	0.327	6.794	0.773	2.064

Resultados de componentes principales

El análisis de componentes principales (CP) indicó que con el primer componente es posible explicar 95% de variación entre los tres atributos evaluados para las poblaciones y el primer vector característico presenta asociaciones positivas con Brillantez, Croma y Hue (Tabla 3), reflejando una distribución equilibrada entre las tres variables. El

segundo componente presenta asociaciones negativas, indica menor brillantez y tonalidad, lo que refiere a poblaciones con color de testa oscuro. El tercer componente muestra asociación negativa en tonalidad con valor -0.798, se relaciona con testas de muy baja tonalidad; sin embargo, con brillantez y cromaticidad. Los parámetros de color, cuando son integrados al análisis de diversidad, aportan una cantidad indispensable de información

en análisis de componentes principales ya que contribuyen de forma significativa a visualizar la integración de grupos dentro de una amplia colección (Varga *et al.*, 2019); en relación con esto, Laurentin y Benítez (2014) mencionan que dentro de un lote es posible identificar gran variedad de texturas, lo que influye significativamente en el color de la testa indicando patrones en la testa de la semilla, así también que las de texturas rugosas generalmente son de tonalidades más oscuras que las semillas de texturas lisas, lo que está gobernado por genes específicos. La diversidad en el color de las semillas de ajonjolí es resultado de factores tanto genéticos como ambientales. Un estudio realizado por Bedigian (2010) señala que los compuestos responsables de la pigmentación en las semillas, como los polifenoles y antocianinas, se encuentran en mayor concentración en las semillas de color negro y marrón. Estos pigmentos también están relacionados con una mayor actividad antioxidante, lo que confiere un mayor valor nutricional a las semillas de color oscuro.

Los parámetros de color de la escala HunterLab indican que la brillantez (L^*) osciló entre 45.12 y 65.86 en las poblaciones consideradas para tonalidades claras, mientras que los considerados como de tonalidades oscuras a negras presentaron valores que van de 0.01 a 2.16; la comparación de medias muestra agrupaciones con valores de mayor luminosidad para las poblaciones de Francisco Toribio y Jesús Díaz con valores de 65.86 y 64.97, respectivamente, consideradas como las de color más claro, estadísticamente diferentes a las 71 poblaciones restantes, ya que este valor da

información de la coordenada negro/blanco; es decir que presentan elevada luminosidad (Alvis *et al.*, 2017). Con respecto al parámetro matiz rojo-verde (a^*), todos los valores fueron positivos: en las 65 poblaciones con testa de color claro se presentaron valores en el intervalo de 5.04 a 8.74, y para las ocho poblaciones con testa oscura los valores variaron de 0.04 a 3.64 (Figura 3). El rango de variación de los parámetros L^* , a^* y b^* que se originan a partir de la variación en la cantidad de pigmentos de las semillas permite valorar a los genotipos de acuerdo con semillas más oscuras u opacas (valor de L^* menores) y transparentes o brillantes (valores de L^* mayores) y semillas de color marrón rojizo (valores de a^* mayores) y amarillas (valores de b^* mayores) como indican García-Fernández *et al.* (2021) y Gebregziabher *et al.* (2022).

Con el biplot de los resultados de CP se ratificó la variabilidad entre poblaciones y este permitió observar agrupaciones de acuerdo con la valoración del color de la testa con los parámetros: L^* , Croma y Hue. Estos resultados permitirán orientar líneas de investigación relacionados con la conservación, y mejoramiento aprovechando la diversidad genética de esta oleaginosa distribuida en el territorio mexicano.

Hue y croma se valoran mediante la relación de las lecturas entre a^* y b^* ; de ahí la dependencia entre sí, y aportan cada uno una parte sustancial de información más objetiva del color de la testa en la semilla (Varga *et al.*, 2019).

Tabla 3. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales para 73 poblaciones de ajonjolí, para las tres variables de color de testa.

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	2.8636	0.1032	0.0332
Proporción de variación explicada	0.9545	0.0344	0.0111
Proporción acumulada	0.9545	0.9889	1.0000
	Vectores propios		
Variables	Prin1	Prin2	Prin3
Brillantez (L^*)	0.576287	-0.618789	0.533847
Cromaticidad (Croma)	0.571694	0.772031	0.277729
Tonalidad (Hue)	0.584002	-0.145146	-0.79867

Proporción: fracción de la varianza global explicada por cada CP; Acumulada: fracción de la varianza global explicada por el CP de referencia más los anteriores.

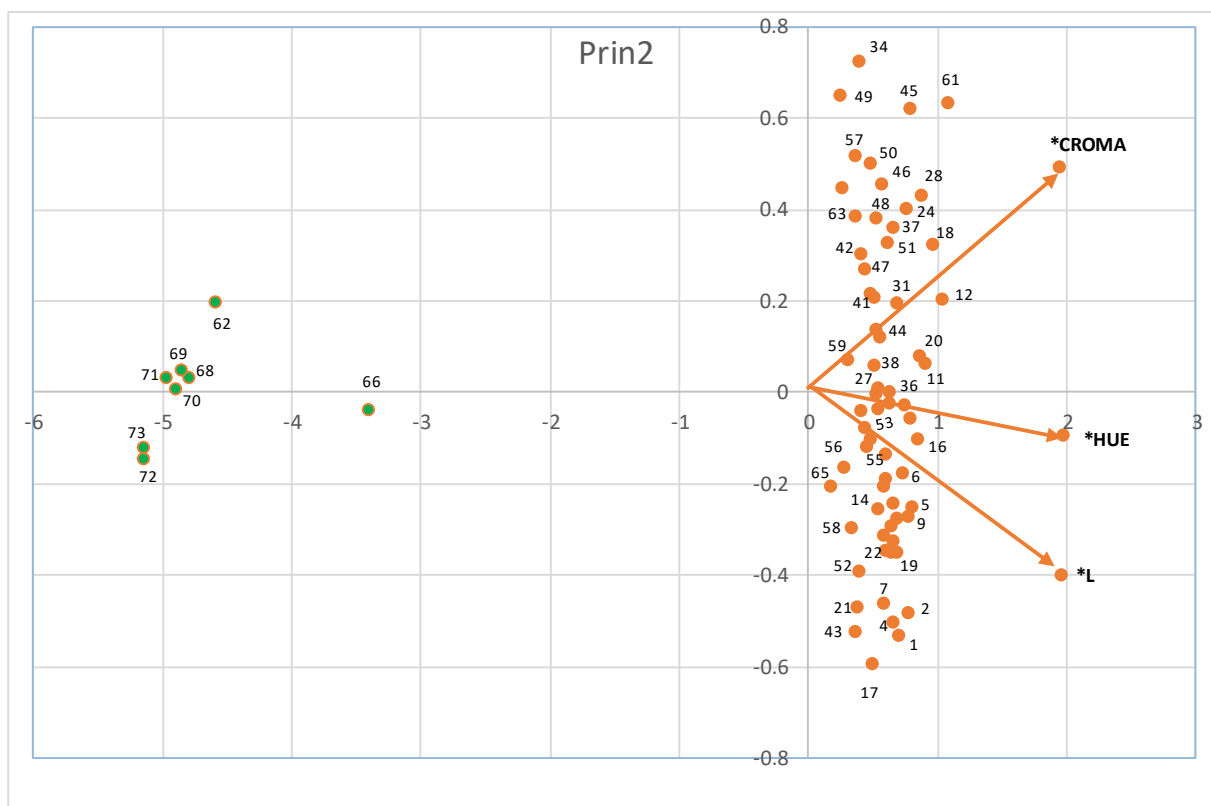


Figura 3. Biplot de las poblaciones de ajonjolí sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales. Se muestra la correlación de las tres variables CIELab con los dos componentes principales.

Los valores de cromaticidad (croma) fluctuaron entre 26.11 y 38.25 para las poblaciones de tonalidades claras a intermedias con un promedio de 31.10 (Figura 3), donde la población Breve Oriental presentó el valor más alto; las ocho poblaciones de tonos claramente oscuros presentaron color en la testa desde negro claro a negro intenso, de ellas, la de menor cromaticidad fue 3N8TC con valor de 0.05 y la de mayor correspondió a 1N3R con 6.09. Estos resultados son semejantes a los de Salinas *et al.* (2005), quienes evaluaron coloraciones de granos de maíz morado de las razas Arrocillo Amarillo, Cónico y Purépecha, con valores de croma alrededor de 2.5; en 10 líneas de granos morado rojizo, rojo y azul oscuro observaron valores de croma entre 6.2 y 11.8. En otro estudio se menciona una correlación negativa del valor de croma con contenido de antocianinas ($r = -0.5484$), por lo que podría ser estimador del contenido de antocianina en esta estructura. Así también, se observó que menores valores de croma indican tonos más oscuros y se asocian con mayor contenido de antocianinas (Salinas *et al.*, 2012).

Los rangos para los valores de Hue oscilaron entre 71.03 y 77.49 en las poblaciones de color de testa

de tonos claros a intermedios; para poblaciones de testa de tonos oscuros los valores fueron de 13.26 a 52.48. En esta investigación se observó que el color de testa del ajonjolí fue más oscuro conforme el valor de Hue fue menor. Respecto a los valores del grupo de testa de color oscuro, los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Mendoza-Mendoza *et al.* (2017), quienes reportan valores promedio en los granos de maíz de color oscuro de 10.5, 3.3, 2.2 y 39.90 para L^* , a^* , b^* y ángulo Hue, respectivamente, lo que indica colores de rojo a amarillo oscuro. El valor L^* representa la luminosidad y claridad que va desde el negro más oscuro (0) hasta el blanco más brillante (100), a^* evalúa la variación de los tonos de verde a rojo (rojo = valor positivo y verde = valor negativo), y b^* mide la variación de los tonos de azul a amarillo (amarillo = valor positivo y azul = valor negativo) (Cui *et al.*, 2021). Las testas oscuras o marrón se relacionan con mayor concentración de antocianinas y proantocianidinas, lo que ofrece una valiosa fuente de antioxidantes; por el contrario, las semillas de linaza de cubierta clara o amarilla no contienen taninos, pero los cotiledones amarillos son ricos en carotenoides (Matemu *et al.*, 2021).

Análisis de conglomerados

En la Figura 3, se observan de manera clara dos agrupaciones de poblaciones de ajonjolí: a la izquierda un grupo de ocho que corresponde a las de testa de color oscuro, determinado por valores bajos de luminosidad, y en el extremo opuesto el resto con testa de color claro. El análisis de conglomerados (Figura 4) permitió la agrupación de poblaciones con diferente tonalidad de colores claros: se muestra en el dendrograma con diferencias notables a la distancia superior de 2.0 el grupo I con ocho poblaciones de testa de color oscuro; a la distancia cercana a 0.35 se separan dos grupos, se observa el grupo II, con dos subgrupos, el IIa con 37 poblaciones de testa de color cremoso, y el IIb con cinco poblaciones de testa de color más claro o blanco, y el grupo III con 23 poblaciones de testa de color de beige a ocre.

El consumo de sésamo negro en México es popular debido a sus beneficios nutricionales y a su papel en la preservación de tradiciones culinarias. Este tipo de sésamo se utiliza en diversas recetas tradicionales, especialmente en salsas y panes, y es un ingrediente esencial en la gastronomía de algunos estados, destacándose en platos de la cocina oaxaqueña y poblana, que ofrecen sabores distintivos de las regiones del sur de México; además, el sésamo negro ha ganado un alto posicionamiento en la industria alimentaria gracias a su perfil nutricional. En contraste, el sésamo de tonos claros tiene un valor más comercial, siendo utilizado en confitería y en la extracción de aceite, y es más común en el norte del país, donde su producción está orientada a la industria extractora de aceites y derivados como pastas para alimentos concentrados para el ganado.

Entre las diferentes características del ajonjolí de alta calidad, el color es uno de los atributos importantes, puesto que está relacionado con la selección de nuevas variedades mejoradas de acuerdo con la demanda de mercado local, regional, nacional e internacional (Romero *et al.*, 2010). El color de la semilla es un rasgo importante para estudiar la evolución bajo la domesticación del ajonjolí, debido a su preferencia en determinadas regiones en los principales países productores de este grano relacionado con el origen geográfico (Zhang, *et al.*, 2013); estos autores describen la tendencia de especies silvestres o cultivos más tradicionales con granos negros y las variantes más comerciales con granos de color claro. Pathak y Dixit (1992) informaron que la preferencia por el color del grano de ajonjolí difiere de una región a otra, así como la relevancia de la apariencia física

del color de la semilla como factor clave de comercialización y la aceptabilidad del tipo de sésamo varía en gran medida según la preferencia cultural (Hossain *et al.*, 2010).

Estos antecedentes explican en gran parte la diversidad del color de la testa en las poblaciones de ajonjolí presentes en las regiones exploradas de México, que van desde blanco, crema y marrón a negro. (Figura 4). Es conveniente indicar que el color de la semilla está relacionado con la fisiología de la planta, ya que la clorofila se descompone y se acumulan nuevos compuestos durante la maduración (De Cillis *et al.*, 2019), así también es posible que la diversidad se deba a mutaciones específicas en algunos genes, que se estabilizan en las poblaciones y esto ha permitido aplicar selección y clasificación, tanto por parte de los productores como de los mejoradores (Tiryaki *et al.*, 2016).

Cuando se observa determinada tonalidad en la testa de semilla de ajonjolí está asociada a la presencia de propiedades biológicas, las que se correlacionan con su contenido de flavonoides, aminoácidos y derivados, lignanos y terpenoides (Dossou, *et al.*, 2022), compuestos que pueden estar relacionados con las propiedades bioquímicas de la semilla, tal como la actividad antioxidante, e incluso con la resistencia a enfermedades (Shahidi *et al.*, 2006).

Zhang *et al.*, (2013) reportaron que por medio de análisis de segregación genética y estudios de variación de caracteres cuantitativos (QTL), detectaron que dos genes específicos presentan efectos epistáticos dominante $\times$ aditivo y poligenes con efectos epistáticos dominante $\times$ aditivo, son responsables de controlar el rasgo de color de la testa de la semilla; sin embargo, Falusi (2007) menciona que, de acuerdo con segregación de cruzamientos, el color de la semilla tiene una base genética compleja, y posiblemente poblaciones con el mismo color de semilla correspondan a genotipos diferentes.

En trabajos similares sobre el color de las semillas de haba, se explica que parte de la diferenciación morfológica es el resultado de la selección dirigida a favorecer ciertas características y del intercambio por parte de los productores entre regiones (Herrera-Cabrera *et al.*, 2013; Rebaa *et al.*, 2017; Karkanis *et al.*, 2018 y Aguilar-Hernández *et al.*, 2019). Estas prácticas son frecuentes entre agricultores en las regiones donde se realizaron las colectas en este estudio.

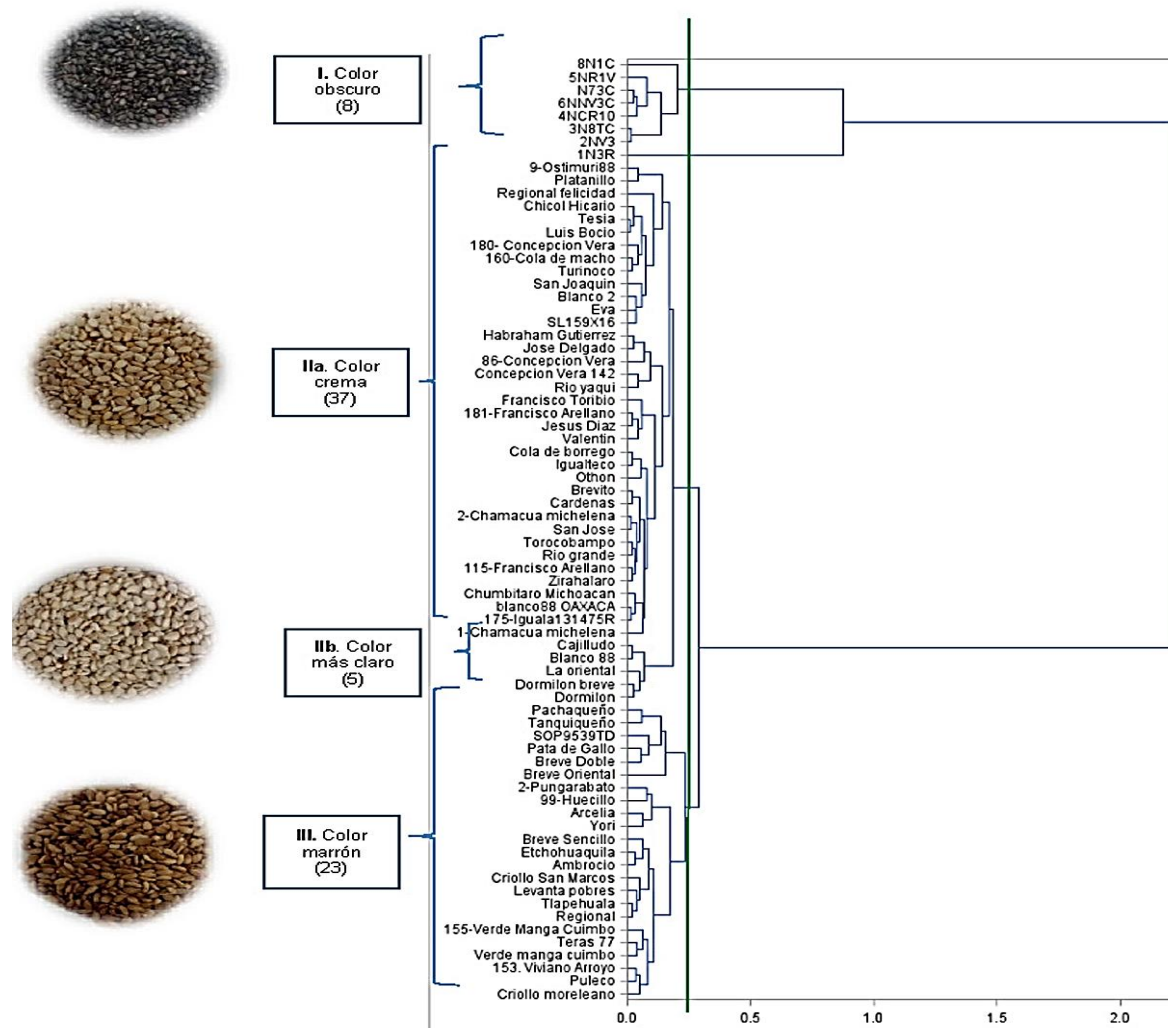


Figura 4. Dendrograma con relaciones de similitud en poblaciones de ajonjolí (*Sesamum indicum* L) de colores claros y oscuros, con base en Brillantez (L^*), Croma (C^*) y Hue (H^*).

CONCLUSIONES

Este estudio confirma la variación en color en testa de ajonjolí en las regiones exploradas de México, y la cuantificación del color permite agrupar su diversidad por color, lo cual puede ser referencia para dirigir su aprovechamiento en programas de mejoramiento genético; siendo el color un atributo importante que determina el consumo del grano, donde el brillo de las semillas es una característica deseable al momento de la cosecha y está asociado con la buena calidad para los consumidores. Los productores conservan la diversidad genética al cultivar los diferentes genotipos locales con base principalmente en rendimiento y por diversidad en colores de grano debido a los beneficios, propiedades nutricionales, químicas y organolépticas específicas. Esta diversidad no solo responde a factores biológicos, sino que también

influye en las preferencias culinarias, el valor comercial y las aplicaciones industriales.

Funding: This work was funded by Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. Data is available upon request, with the corresponding author llaven.genny@colpos.mx

Author's contribution statement (CRediT). G. Llaven-Valencia – Research, methodology, writing - original draft. **F. Castillo-González** – Resources, validation, writing - review and editing.

A. Santacruz-Varela – Conceptualization, methodology. **E. García-León** – Methodology, writing - review and editing. **S. Cruz-Izquierdo** – Conceptualization, writing - review and editing. **I. Benítez Riquelme** – Supervision, writing - original draft, writing – review and editing. **A. Hernández-Hernández** – Methodology, writing – review and editing.

REFERENCES

- Aguilar-Hernández, Á.D., Salinas Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J.L., Alemán-de-la-Torre, I., Bautista-Ramírez, E. and Flores-López, H.E., 2019. Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), pp. 1071–1082. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1828>
- Alvis, A., Romero, P., Granados, C., Torrenegra, M. and Pájaro-Castro, N., 2017. Evaluación del color, las propiedades texturales y sensoriales de salchicha elaborada con carne de babilla (*Caiman crocodilus Fuscus*). *Revista Chilena de Nutrición*, 44(1), pp. 89–94. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000100012>
- Bedigian, D. (ed.), 2010. Sésamo: El Género *Sesamum*. San Diego, California, USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13601>
- Castro-Montoya, J. M., Rangel-Peraza, J. G., Piña-Hernández, C. J., Mora-Rochín, S. and Rochín-Medina, J.J., 2015. Actividad antioxidante de compuestos fenólicos en semillas de ajonjolí y su efecto sobre el crecimiento bacteriano. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(4), pp. 2334–2501.
- Chávez-Ontiveros, J., Quintero-Soto, M.F., Pineda-Hidalgo, K.V., López-Moreno, H.S., Reyes-Moreno, C., Garzón-Tiznado, J.A. and López-Valenzuela, J.A., 2020. Diversidad genética basada en microsatélites y variación de la calidad de grano de genotipos de garbanzo de colecciones de México e internacionales. *Agrociencia*, 54(1), pp. 57–73.
- Cui, C., Liu, Y., Liu, Y., Cui, X., Sun, Z., Du, Z., Wu, K., Jiang, X., Mei, H. and Zheng, Y., 2021. Genome-wide association study of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *PLoS ONE*, 16(5), pp. e0251526. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251526>
- Dar, A.A., Kancharla, P.K., Chandra, K., Sodhi, Y.S. and Arumugam, N., 2019. Assessment of variability in lignan and fatty acid content in the germplasm of *Sesamum indicum* L. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), pp. 976–986. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03564-x>
- Das, S.A. and Ghosh, A., 2010. Characterization of rice germplasm of West Bengal. *Oryza*, 47(3), pp. 2018–2205.
- De Cillis, F., Leoni, B., Massaro, M., Renna, M. and Santamaria, P., 2019. Yield and quality of faba bean (*Vicia faba* L. var. major) genotypes as a vegetable for fresh consumption: A comparison between Italian landraces and commercial varieties. *Agriculture*, 9(12), pp. 253. <https://doi.org/10.3390/agriculture9120253>
- Dossou, S.S.K., Xu, F., You, J., Zhou, R., Li, D. and Wang, L., 2022. Widely targeted metabolome profiling of different colored sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds provides new insight into their antioxidant activities. *Food Research International*, 151, pp. 110850. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110850>
- Falusi, O.A., 2007. Segregation of genes controlling seed colour in sesame (*Sesamum indicum* L.) from Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 6(24), pp. 2780–2783. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2444>
- García-Fernández, C., Campa, A. and Ferreira, J.J., 2021. Dissecting the genetic control of seed coat color in a RIL population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Theoretical and Applied Genetics*, 134(11), pp. 3687–3698. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03922-y>
- Gebregziabher, B.S., Zhang, S., Ghosh, S., Shaibu, A.S., Azam, M., Abdelghany, A.M., Qi, J., Agyenim-Boateng, K.G., Htway,

- H.T.P., Feng, Y., Ma, C., Li, Y., Li, J., Li, B., Qiu, L. and Sun, J., 2022. Origin, maturity group and seed coat color influence carotenoid and chlorophyll concentrations in soybean seeds. *Plants*, 11(7), pp. 848. <https://doi.org/10.3390/plants11070848>
- Haiyang, Z., Hongmei, M., Chun, L., Libin, W. and Qin, M., 2013. Analysis of sesame karyotype and resemblance-near coefficient. *Chinese Bulletin of Botany*, 47(6), pp. 602–614. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1259.2012.00602>
- Hernández, M.S., Barrera, J., Martínez, O. and Fernández-Trujillo, J.P., 2009. Postharvest quality of arazá fruit during low temperature storage. *LWT – Food Science and Technology*, 42(4), pp. 879–884. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.11.009>
- Herrera-Cabrera, B.E., Castillo-González, F., Ortega-Paczka, R.A. and Delgado-Alvarado, A., 2013. Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(1), pp. 33–43. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.1.33>
- Hussain, S.A., Hameed, A., Ajmal, I., Nosheen, S., Suleria, H.A.R. and Song, Y., 2018. Effects of sesame seed extract as a natural antioxidant on the oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), pp. 4099–4110. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3336-2>
- Hossain, S., Ford, R., McNeil, D., Pittock, C. and Pannozzo, J.F., 2010. Inheritance of seed size in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and identification of QTL based on 100-seed weight and seed size index. *Australian Journal of Crop Science*, 4(2), 126–135.
- Johnson, D.E., 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Trad. Hernán Pérez Castellanos. México: International Thomson Editores.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J. A., Vågen, I. M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E. and Savvas, D., 2018. Faba bean cultivation – Revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp. 1115. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
- Konsoula, Z. and Liakopoulou-Kyriakides, M., 2010. Effect of endogenous antioxidants of sesame seeds and sesame oil to the thermal stability of edible vegetable oils. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), pp. 1379–1386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.016>
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F. and León, J., 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), pp. 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Laurentin, H. and Benítez, T., 2014. Inheritance of seed coat color in sesame. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(4), pp. 290–295. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400007>
- MacDougall, D.B., 2010. Colour measurement of food: Principles and practice. In *Colour measurement: Principles, advances and industrial applications*. UK: Woodhead Publishing. pp. 312–342. <https://doi.org/10.1533/9780857090195.2.312>
- Matemu, A., Nakamura, S. and Katayama, S., 2021. Health benefits of antioxidative peptides derived from legume proteins with a high amino acid score. *Antioxidants*, 10(2), pp. 316. <https://doi.org/10.3390/antiox10020316>
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), pp. 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Mendoza-Mendoza, C.G., Mendoza-Castillo, Ma. del C., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., Kato-Yamakake, T.Á. and Cruz-Izquierdo, S., 2017. Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 40(4), pp. 471–479. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.4.471-479>

- Morris, J.B., 2009. Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm regenerated in Georgia, USA. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, pp. 925-936. <http://doi.org/10.1007/s10722-009-9411-9>
- Namiki, M., 2007. Nutraceutical functions of sesame: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47(7), pp. 651-73. <https://doi.org/10.1080/10408390600919114>
- Pathak, H.C. and Dixit, S.K., 1986. Genetic variability and inter relationship studies in black seeded sesame (*Sesamum indicum* L.). *Madras Agricultural Journal*, 79(1), pp. 94-100. <https://doi.org/10.29321/MAJ.10.A01738>
- Rajeswari, S., Thiruvengadam, V. and Ramaswamy, N.M., 2010. Production of interspecific hybrids between *Sesamum alatum* Thonn and *Sesamum indicum* L. through ovule culture and screening for phyllody disease resistance. *South African Journal of Botany*, 76(2), pp. 252-258. <https://doi.org/doi:10.1016/j.sajb.2009.11.003>
- Rebaa, F., Abid, G., Aouida, M., Abdelkarim, S., Aroua, I., Muhovski, Y., Baudoin, J.P., M'hamdi, M., Sassi, K. and Jebara, M., 2017. Genetic variability in Tunisian populations of faba bean (*Vicia faba* L. var. major) assessed by morphological and SSR markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(2), pp. 397-409. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0419-x>
- Romero-Baranzini, A.L., Falcon-Villa, M. del R., Barrón-Hoyos, J.M., Silveria-Gramont, M.I. and Alfaro-Rodríguez, R.H., 2010. Evaluación de color del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) por métodos instrumentales y sensoriales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 27, pp. 323-335.
- Salinas-Moreno, Y., Rubio-Hernández, D. and Díaz-Velázquez, A., 2005. Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (*Zea mays*) como colorantes en yogur. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55(3), pp. 293-298.
- Salinas-Moreno, Y., Cruz-Chávez, F. J., Díaz-Ortiz, S. A. and Castillo-González, F., 2012. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(1), pp. 33-41. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.1.33>
- Shahidi, F., Liyana-Pathirana, C.M. and Wall, D.S., 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*, 99(3), pp. 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.009>
- Sharma, E., Shah, T.I. and Khan, F., 2014. A review enlightening genetic divergence in *Sesamum indicum* based on morphological and molecular studies. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(1), pp. 1-9.
- SADER, 2023. Sinaloa, Guerrero y Michoacán, principales productores de ajonjolí en México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México. <https://www.gob.mx/pronabive/prensa/sinaloa-guerrero-y-michoacan-principales-productores-de-ajonjoli-en-mexico-352468>, Consultado 15/Octubre/2024.
- SAS Institute, 1994, 1994. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute Inc.
- Tiryaki, G. Y., Cil, A. and Tiryaki, I., 2016. Revealing seed coat colour variation and their possible association with seed yield parameters in common vetch (*Vicia sativa* L.). *International Journal of Agronomy*, 2016, pp. 804108. <https://doi.org/10.1155/2016/1804108>
- Tomaszewska-Gras, J., Islam, M., Grzeca, L., Kaczmarek, A. and Fornal, E., 2021. Comprehensive thermal characteristics of different cultivars of flaxseed oil (*Linum usitatissimum* L.). *Molecules*, 26(7), pp. 1958. <https://doi.org/10.3390/molecules26071958>
- Troshchynska, Y., Bleha, R., Kumbarová, L., Sluková, M., Sinica, A. and Štětina, J., 2019. Discrimination of flax cultivars based on visible diffusion reflectance

- spectra and colour parameters of whole seeds. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(3), pp. 199–204. <https://doi.org/10.17221/202/2018-CJFS>
- Varga, F., Vidak, M., Ivanović, K., Lazarević, B., Širić, I., Srećec, S., Šatović, Z. and Carović-Stanko, K., 2019. How does computer vision compare to standard colorimeter in assessing the seed coat color of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? *Journal of Central European Agriculture*, 20(4), pp. 1169–1178. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2509>
- Zhang, H., Miao, H., Wei, L., Li, C., Zhao, R. and Wang, C., 2013. Genetic analysis and QTL Mapping of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *PLoS ONE*, 8(5), pp. e63898. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063898>