

## Caracterización agronómica de germoplasma de *Salvia hispanica* L.

Andrés Xingú-López<sup>1</sup>  
Andrés González-Huerta<sup>2</sup>  
Eulogio de la Cruz-Torres<sup>3</sup>  
Dora Ma. Sangerman-Jarquín<sup>4</sup>  
Salvador Montes-Hernandez<sup>5</sup>  
Martín Rubí-Arriaga<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México. CP. 50200. (andrésxl2000@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México. CP. 50200. (agonzalezh@uaemex.mx). <sup>3</sup>Departamento de Biología-Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, México. CP. 52750. (eulogio.delacruz@inin.gob.mx). <sup>4</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. Tel. 55 38718700, ext. 85353. (sangerman.dora@inifap.gob.mx). <sup>5</sup>Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. (montes.salvador@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: m.rubi65@yahoo.com.mx.

### Resumen

La *Salvia hispanica* L. (chía) es una planta herbácea originaria de México, pertenece a la familia Lamiaceae. El cultivo fue prohibido y sustituido por otros cereales durante la conquista. Por el contenido nutricional y propiedades nutraceuticas que posee, se ha reintroducido y actualmente se considera un alimento potencial altamente nutritivo. La superficie sembrada se incrementa anualmente, los materiales cultivados son genotipos locales o introducidos, debido que son escasas las variedades mejoradas. Con el objetivo de identificar accesiones sobresalientes, orientadas a una mayor eficiencia del cultivo, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2017, se caracterizaron agronómicamente 32 accesiones de *S. hispanica*, en siete ambientes, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron las variables: altura de planta, diámetro de tallo, peso de planta, número de espigas, peso de grano por planta y rendimiento por hectárea. Las accesiones 1, 2, 12 y 22 presentaron mayor rendimiento de semilla por hectárea, altura de planta, número de espigas florales, frutos por espiga y peso seco de planta. El promedio de producción de semilla fue de 924 kg ha<sup>-1</sup>. El mejor ambiente para producción de chía fue Rancho San Lorenzo, Metepec. El análisis clúster agrupó a las accesiones en cinco conglomerados, agrupándolos por su rendimiento y variables afines.

**Palabras clave:** chía, variabilidad genética, variables agronómicas.

Recibido: julio de 2022

Aceptado: octubre de 2022

## Introducción

*Salvia hispanica* L. es una planta herbácea de la familia Lamiaceae, nativa de las zonas montañosas del sudoeste de México, Guatemala y Nicaragua (Lobo *et al.*, 2011). Base de la dieta alimentaria de los pueblos indígenas de México, fue uno de los cuatro cultivos de los aztecas, superado solo por maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y chile (*Capsicum annuum* L.). Durante la conquista de la Nueva España su producción disminuyó hasta casi desaparecer, por la reducción de la población prehispánica y por la implementación del cultivo de cereales (Xingú *et al.*, 2017).

En las últimas décadas ha resurgido, las propiedades nutraceuticas y sus atractivos beneficios nutricionales han ampliado su consumo (Xingú *et al.*, 2017), posee aceite con 68% de ácido  $\alpha$ -linolénico el más importante de los ácidos grasos omega-3 para consumo humano, que lo convierten en la fuente vegetal más rica en antioxidantes (Orona-Tamayo *et al.*, 2017), vitaminas B1, B2 y B3 (Jamshidi *et al.*, 2019), fibra, proteínas y minerales como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y sodio (Michajluk *et al.*, 2018).

Además, posee propiedades medicinales (Deka y Das, 2017), tiene efectos beneficiosos para el tratamiento del síndrome metabólico (Lombardo y Chicco, 2017), regula glucosa en sangre y favorece la coagulación sanguínea (Nieman *et al.*, 2012), disminuye el colesterol malo y triglicéridos, y mejora la función intestinal (Sandoval-Oliveros y Paredes-López, 2013). La demanda global de chía comenzó a partir de los años noventa, actualmente se cultiva en Argentina, Bolivia, Paraguay, Australia y México (Busilacchi *et al.*, 2015), donde su consumo se incrementa día con día, exportándose a Perú, Estados Unidos de América, Chile, Alemania, Países Bajos, Reino Unido, Dinamarca, Japón, Canadá, Nueva Zelanda, Singapur y Sudáfrica (Suárez, 2018).

En México, la producción comercial de esta especie se desarrolla en ocho entidades federativas. No obstante, que durante el periodo 2006-2009, la superficie sembrada con chía era menor a las 50 ha, para el año 2010 aumentó a 2 300 ha, cifra que fue en constante incremento hasta el ciclo de cultivo 2013 que superó as 18 000 ha. Sin embargo, a partir de 2014 registró una tendencia decreciente y durante el ciclo primavera-verano 2017, se cultivó únicamente en 5 400 ha con una producción de 3 200 t (SIAP, 2019). Reducción debida a factores como: falta de experiencia sobre el cultivo, desconocimiento de las propiedades nutricionales y limitada información sobre variedades mejoradas (Sosa-Baldivia y Ruiz-Ibarra, 2016).

El estado de Jalisco es el mayor productor al concentrar más de 65% de la superficie cultivada que aporta un volumen superior a 2 000 t, equivalentes al 63% de la producción (SIAP, 2019). El cultivo de chía se basa en su mayoría en genotipos regionales. No obstante que se han establecido bancos de germoplasma en instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), El Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), destaca la colección de accesiones de la empresa Chíablanca SC de RL ubicada en Acatitlán, Jalisco, que concentra colectas de las diferentes zonas productoras.

La información sobre la caracterización de materiales de esta especie es escasa, se han tipificado poblaciones silvestres, semidomesticadas y domesticadas (Calderón-Ruiz *et al.*, 2021). Hernández y Miranda (2008) estudiaron tres ecotipos de chía cultivada, encontrando similitud en tamaño de semilla y densidad de inflorescencia, pero con diferencias en ciclo biológico, largo y ancho de

corola, ancho de inflorescencia y altura de planta y concluyeron que entre las estructuras morfológicas que diferencian a *S. hispanica* cultivada de la silvestre son: tamaño de flor, densidad de verticilos en la inflorescencia, peso de semilla y duración del ciclo biológico.

Investigaciones realizadas por Sosa-Baldivia *et al.* (2017), reportan rendimientos potenciales de 1 723 kg ha<sup>-1</sup>, los cuales relaciona con el número de plantas por m<sup>2</sup>, altura de planta y longitud de inflorescencia principal, en tanto Grimes *et al.* (2018) reportaron una producción de 1 274.7 kg ha<sup>-1</sup> de la variedad Sahi Alba 914. Los rendimientos se relacionan con un mayor número de ramas planta<sup>-1</sup> e inflorescencias planta<sup>-1</sup> (Pereira *et al.*, 2020). Estudios en la actualidad, se han centrado en demostrar las propiedades como alimento funcional (Grancieri *et al.*, 2019) pero han sido insuficientes los trabajos de descripción de los materiales disponibles de esta especie, por lo que surgió la presente investigación con el objetivo de caracterizar agrónomicamente accesiones de chía de las principales regiones productoras de México.

## Materiales y métodos

### Material genético

Se obtuvieron 250 gramos de semillas de cada una de las 32 accesiones de chía (Cuadro 1), dos fueron donadas por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), seis por el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), 13 por la empresa Chíablanca, SC de RL (ubicada en Acatic, Jalisco) y 11 proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

**Cuadro 1. Accesiones de *Salvia hispanica* L.**

Número	Genealogía	Color de semilla	Institución
1	CHGRD	Negra	ICAMEX
2	CHCRI	Negra	ICAMEX
3	ININ1	Negra	ININ
4	ININ2	Gris Jaspeado	ININ
5	ININ3	Blanca	ININ
6	ININ4	Negra	ININ
7	ININ5	Negra	ININ
8	ININ6	Negra	ININ
9	ININ7	Gris Jaspeado	ININ
10	ININ8	Blanca	ININ
11	ININ9	Gris Jaspeado	ININ
12	ININ10	Blanca	ININ
13	ININ11	Negra	ININ
14	17Pz	Blanca	Chíablanca SC de RL
15	83FB5B	Blanca	Chíablanca SC de RL
16	59 Normal	Negra	Chíablanca SC de RL
17	66 Grano Café	Café	Chíablanca SC de RL
18	122 Az	Negra	Chíablanca SC de RL

Número	Genealogía	Color de semilla	Institución
19	64	Negra	Chíablanca SC de RL
20	SLVTTLA	Negra	Chíablanca SC de RL
21	B54	Blanca	Chíablanca SC de RL
22	CRIPINA	Pinta	Chíablanca SC de RL
23	680	Negra	Chíablanca SC de RL
24	346	Negra	Chíablanca SC de RL
25	30Pz	Blanco	Chíablanca SC de RL
26	P75ZN	Gris Jaspeado	Chíablanca SC de RL
27	CNPGA	Negra	Banco germoplasma Chapingo
28	CNPGB	Negra	Banco germoplasma Chapingo
29	CPJGA	Gris Jaspeado	Banco germoplasma Chapingo
30	CPJGB	Gris Jaspeado	Banco germoplasma Chapingo
31	CBJGA	Blanca	Banco germoplasma Chapingo
32	CBJGB	Blanca	Banco germoplasma Chapingo

### Localidades de evaluación

Los cultivos se establecieron en el ciclo agrícola primavera-verano 2017 en las localidades cuyas características se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Características de las comunidades donde se estableció el cultivo de chíá.**

Característica	CPB	RSL	SFT	XAL	SJX
Latitud norte	19°24'49"	19°14'40"	19°18'17"	19°10'51"	19°00'50"
Latitud oeste	99°41'29"	99°35'36"	99°46'29"	99°25'41"	99°31'52"
Altitud (m)	2 640	2 606	2 750	2 770	2 330
Clima	C(w2)(w)ig	C(w2)(w)ig	C(w2)(w)ig	Cwb	C(w2)(w)ig
Suelo	Vertisol	Phaeozem	Vertisol	Andosol	Andosol
Precipitación media anual (mm)	790	980	777	1 069	1 000
Topografía	Llanura	Llanura	Llanura	Montaña	Montaña

CPB= El Cerrillo Piedras Blancas (municipio de Toluca); RSL= Rancho San Lorenzo (Metepec); SFT= San Francisco Tlalcalcalpan (Almoloya de Juárez); XAL= Xalatlaco (Xalatlaco); SJX= San Juan Xochiaca (Tenancingo).

### Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por ambiente. La parcela consto de tres surcos de 4.5 x 0.8 m, cada surco con 90 plantas a una distancia de 0.05 m. El surco central fue la unidad experimental útil.

### Establecimiento y conducción de experimento

La preparación del suelo consistió en barbecho, dos pasos de rastra y surcado. La siembra se realizó manualmente a chorrillo sobre el lomo del surco en mayo de 2017. Posteriormente se llevó a cabo un aclareo para ajustar la densidad requerida. Transcurridos entre 30 y 45 días después de la emergencia de las plántulas, se realizó el control de malezas de forma manual.

## Variables evaluadas

Se seleccionaron 10 plantas de cada unidad experimental y se evaluaron las siguientes variables: altura de planta (desde la base del tallo hasta el ápice de la espiga principal, registrada en cm), diámetro de la base del tallo (mm), peso seco de planta madura (gramos), número de frutos por flósculo en espiga principal, largo de espiga principal (cm), largo de espiga principal desde nudo (cm), número de ramas laterales, número de espigas florales totales por planta, índice de cosecha (razón entre el peso de semilla y peso total de planta no trillada) y rendimiento en kg (plantas contenidas en un metro lineal).

## Análisis de datos

En el paquete estadístico SAS versión 6.01 se llevaron a cabo los siguientes análisis: varianza (individual y combinado), comparación de medias entre sitios y entre cultivares (individual y combinado). Las 14 interrelaciones entre cultivares y entre variables se determinaron mediante un análisis de componentes principales (Sánchez, 1995).

## Resultados y discusión

Se obtuvo significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes (A), entre accesiones de chíá (C) y en la interacción accesiones (C) por ambientes (A) para peso seco de planta, diámetro de tallo, altura de planta, número de frutos por espiga, longitud de espiga, longitud de espiga desde nudo, número de ramas por planta, número de espigas por planta, peso de grano por planta, índice de cosecha y rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$  (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Media, coeficiente de variación, cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F del análisis de varianza combinado (siete ambientes) de 11 variables. Valle de Toluca, 2017.**

FV	GL	PSP	DT	AP	NFE	LE	LEN	NRP	NEP	PGP	IC	R
Ambiente (A)	6	1147.48**	82.53**	616.49**	76.61**	64.65**	160.54**	500.47**	391.51**	392.44**	106.72**	369.93**
Repeticiones/A	14	0.13	0.01	0.13	0.01	0.06	0.05	0.14	0.09	0.37	0.04	0.36
Accesiones (C)	31	8.56**	8.4**	18.9**	8.54**	8.39**	17.2**	12.96**	13.5**	19.6**	13.1**	20**
C*A	186	8.19**	6.01**	7.41**	4.02**	2.67**	4.25**	5.22**	5.38**	7.35**	4.02**	7.27**
Error	434	81.81	8.37	61.11	14.05	31.94	2.84	2.09	108.11	4.224	14.43	108 381
Media		37.87	8.88	90.61	12.79	28.13	15.59	16.63	41.64	5.66	18.11	924.29
CV (%)		23.88	32.56	8.63	29.28	20.09	10.81	8.68	24.97	36.287	20.98	35.61

PSP= peso seco de planta; DT= diámetro de tallo; AP= altura de planta; NFE= número de frutos por flósculo de espiga principal; LE=longitud de espiga; LEN=longitud de la espiga desde nudo; NRP= número de ramas por planta; NEP= número de espigas por planta; PGP= peso de grano por planta; IC= índice de cosecha; R= rendimiento.

El Cuadro 4 muestra que, no obstante que RSL superó al resto de las localidades en altura de planta, RSL1 presentó el mayor peso seco por planta, peso de grano por planta y rendimiento. RSL, RSL1, SFT y XAL presentan similitud estadística en longitud de espiga desde nudo y número de frutos por espiga. RSL, RSL1 y SFT superan al resto de las localidades en número de espigas por planta. RSL y RSL1 poseen mayor longitud de espiga y número de ramas por planta. Lo anterior, permitió

establecer que el mejor comportamiento se presentó en las localidades RSL y RSL1, lo que perfila a este sitio como una zona potencial para promover el desarrollo del cultivo de chía. Las diferencias en los parámetros productivos del cultivo de chía en las localidades evaluadas pueden atribuirse a que las condiciones de cada localidad pueden influir en el desarrollo y producción de las colectas (Durán *et al.*, 2016), aunque el efecto del genotipo es el más marcado (Busilacchi *et al.*, 2013).

**Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades (Tukey  $p \leq 0.01$ ).**

Ambiente	PSP	DT	AP	NFE	LE	LEN	NRP	NEP	PGP	IC	R
CPB	7.606f	8.45c	62.72f	8.71b	22.476 d	12.48c	12.49d	21.03c	1.572 d	20.71b	374.73de
CPB1	9.281f	7.61cd	69.66e	9.59b	25.04cd	13.82b	13.8c	22.33c	1.98d	22.88a	316.35f
RSL	55.05c	11.93b	111.5a	15.79a	33.97a	17.16a	20.28a	63.17a	8.324 b	15.13d	1 333.35b
RSL1	86.42a	7.45cd	106.8b	15.74a	33.75a	17.16a	20.35a	63.16a	13.02a	15.33d	2 083.11a
SFT	66.56b	13.4a	109.24ab	15.44a	30.72b	17.1a	18.2b	64.38a	7.54b	12.68e	1 206.88b
XAL	23.75d	6.83d	92.97c	14.88a	26.14c	17.78a	17.75b	34.59b	3.89c	17.46c	623.29c
SJX	16.44e	6.55d	81.338d	9.439b	24.81cd	13.66b	13.58c	22.83c	3.32c	22.6ab	532.37cd

PSP= peso seco de planta; DT= diámetro de tallo; AP= altura de planta; NFE= número de frutos por flósculo de espiga principal; LE= longitud de espiga; LEN= longitud de la espiga desde nudo; NRP= número de ramas por planta; NEP= número de espigas por planta; PGP= peso de grano por planta; IC= índice de cosecha; R= rendimiento; CPB= Cerrillo Piedras Blancas, CPB1= Cerrillo Piedras Blancas 1; RSL= Rancho San Lorenzo; RSL1= Rancho San Lorenzo 1; SFT= San Francisco Tlalcalalpan; XAL= Xalatlaco; SJX= San Juan Xochiaca.

En relación con las accesiones en el Cuadro 5, sobresalen las selecciones 1 (semillas negras) y 12 (semilla blanca) en peso de grano por planta y rendimiento (superan los 1 400 kg ha<sup>-1</sup>), el peso propio de semilla influye en el rendimiento, las semillas de color gris jaspeado y blanco, son las más pesadas en comparación con las de color marrón uniforme (Rovati *et al.*, 2012). Los materiales 19 y 23 mostraron peso de semilla por planta y rendimientos menores a 50 kg ha<sup>-1</sup>, genotipos afectados por heladas en plena floración, los cuales convendría evaluar en zonas con menor riesgo de heladas o bien modificar la época de siembra debido a que la planta es sensible a bajas temperaturas (González, 2016).

**Cuadro 5. Medias de variables agronómicas de chía cultivada en siete ambientes.**

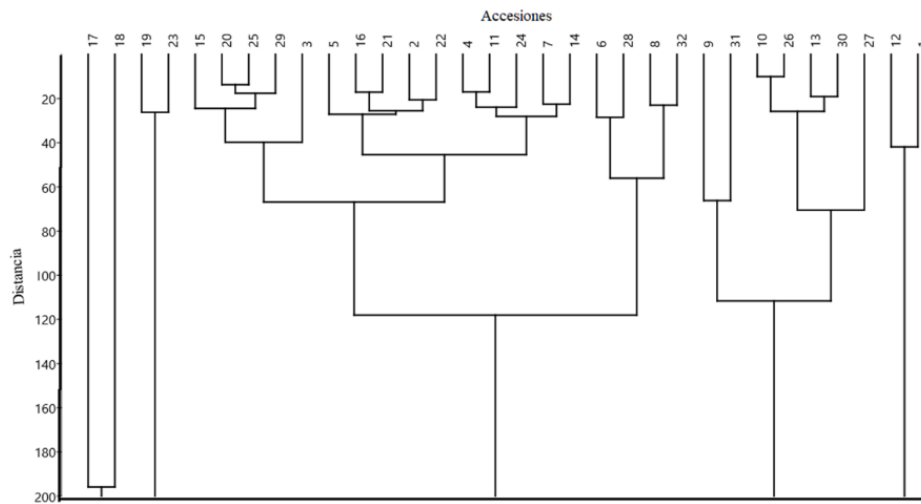
A	PSP	DT	AP	NFE	LE	LEN	NR	NEP	PGP	IC	R
1	48.68ab	8.56de	100.26a-d	12.15bc	31.75bc	15.25d-i	14.55i	46.34a-h	8.66a	18.52b-g	1 403.8a
2	45.62a-d	8.95cde	102.319abc	11.66bc	29.88nc	17.22a-d	16.56b-h	53.28ab	6.41a-d	16.49e-h	1 043.2a-d
3	42.56a-d	8.24ed	103.84ab	10.74bc	28.55bcd	15.89b-g	18.07ab	48.79a-f	5.95cd	17.3c-g	972.4bcd
4	35.863c-h	7.53e	94.86b-i	20.26a	42.07a	12.886jk	18.05ab	33.96g-l	6.67a-d	19.97b-e	1 087.5a-d
5	35.17c-h	8.55ed	92.05d-j	11.61bc	34.25b	14.31h-k	17.43a-f	32.84h-l	6.37a-d	18.51b-g	1 037.9a-d
6	36.897b-h	12.58abc	99.27a-f	14.14b	30.76bc	14.46h-k	16.24b-i	37.13d-l	6.99a-d	20.01b-e	1 141.1a-d
7	36.633d-h	13.46ab	105.38a	12.54bc	28.75bcd	15.45c-h	17.73a-d	33.66g-l	6.54a-d	19.94c-e	1 071.2a-d
8	44.828a-d	11.53a-d	101.97a-d	14.48b	26.72cd	16.38b-f	18.66a	42.45b-k	7.19abc	17.84b-g	1 175.6abc
9	34.929d-h	13.93a	91.2e-k	13.45b	26.16cd	16.73a-e	16.96a-g	26.86	5.23cde	18.36b-g	854cde
10	30.082gh	7.45e	86.61i-k	14.71b	26.61cd	16.98a-d	16.46b-h	28.91 kl	4.86cde	19.98b-e	797.7cde

A	PSP	DT	AP	NFE	LE	LEN	NR	NEP	PGP	IC	R
11	40.091a-g	8.86cde	93.05c-i	20.21a	30.56bc	18.72a	16.43b-i	42.77a-j	6.65a-d	20.4a-e	1 091.9a-d
12	47.378abc	8.92cde	93.25c-g	13.29bc	28.22bcd	15.22d-i	16.48b-h	49.79a-d	8.9a	19.46b-f	1 444.7a
13	38.939a-g	7.98de	97.89a-g	11.211bc	26.44cd	15.87c-g	17.59a-f	40.49b-l	4.73cde	16.086e-i	777.9cde
14	31.273e-h	7.23e	85.76i-l	12.96bc	27.95bcd	16.32b-f	15.97d-i	35.8e-l	6.53a-d	22.58ab	1 064.9a-d
15	26.496h	7.18e	81.18kl	13.14bc	29.38bc	16.26b-f	15.82e-i	29.41jkl	6.2a-d	25.37a	1 014.7a-d
16	34.056d-h	7.82de	80.69l	13.22bc	29.65bc	17.88ab	14.89hi	55.31a	6.39a-d	18.61b-g	1 039a-d
17	37.185b-h	8.61de	85.29i-l	13.43b	29.65bc	15.29d-i	15.74ghi	53.39ab	3.06ef	11.35i	502.3ef
18	38.931a-g	9.04cde	89.03f-l	11.99bc	28.09bcd	14.53e-k	17.61a-f	49.07a-e	1.85fg	11.571hi	306.5fg
19	41.537a-g	9.98b-e	91.38e-k	10.29bc	21.66d	14.32f-k	18.55a	30.96i-l	0.11g	14.6f-i	20.8g
20	38.722a-g	7.5e	91.38i-l	12.25bc	26.71cd	17.59abc	16.45b-h	43.69a-i	6.18bcd	19.37b-f	1 006.6bcd
21	41.892a-g	7.59e	91.38jkl	14.56b	27.12bcd	17.55abc	16.11c-i	51.48abc	6.45a-d	21.69abc	1 053.4a-d
22	49.767a	9.37cde	91.38e-l	12.48bc	26.2cd	15.33d-i	16.87a-g	51.74abc	6.35a-d	16.26e-i	1 027.2a-d
23	42.181a-f	9.03cde	91.38a-g	8.51c	21.83d	12.77k	17.65a-e	36.52d-l	0.12g	14.61f-i	45.7g
24	42.498a-e	8.2de	91.38c-i	10.08bc	25.69cd	13.19ijk	17.94abc	52.09abc	6.64a-d	16.6d-g	1 081.1a-d
25	31.057e-h	6.96e	91.38jkl	11.56bc	25.56cd	16.12b-g	15.17gni	35.17f-l	6.12bcd	20.31b-e	1 000.3bcd
26	32.048e-h	7.28e	91.38i-l	11.26bc	28.34bcd	17.78ab	15.16ghi	36.16d-l	4.91de	15.88e-i	800.3de
27	30.354fgh	7.51e	91.38kl	11.38bc	26.87bcd	14g-k	15.27ghi	34.27g-l	4.43d-h	13.96ghi	720.2d-h
28	32.251fgh	8.54e	91.38f-l	12.29bc	26.43cd	15.99b-g	17.35a-f	38.58c-l	6.84a-d	21.58a-d	1 115.8a-d
29	38.889a-g	10.7a-e	91.38g-l	11.26bc	25.15cd	15.8b-g	17.66a-e	47.02a-g	6.12bcd	17.69b-g	991.5bcd
30	34.556d-g	10.63a-e	91.38l	11.65bc	27.21bcd	14.65e-k	16.12c-i	46.24a-h	4.78cde	16.35e-h	781.3cde
31	32.846e-h	7.29e	91.38kl	13.7b	28.91bcd	15.02d-j	14.81hi	38.68c-l	5.62cde	19.28b-f	917.9cde
32	37.695b-h	7.47e	91.38h-l	13.03bc	27.07bcd	13.24h-k	16d-l	49.67a-d	7.31abc	19.03b-f	1 188.7abc

Las accesiones que superan los rendimientos de 1 000 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, también superan 30 espigas florales, 90 cm de altura y los 34 g de peso seco de planta, se podría deducir que estas variables están estrechamente relacionadas con el rendimiento de semilla (Karim *et al.*, 2016).

El dendrograma muestra que a una distancia euclidiana de 200 se integraron cinco grupos (Figura 1). El conjunto 1 se formó por las accesiones 17 y 18, las cuales presentaron maduración fisiológica a los 160 días después de la siembra, a diferencia de las de ciclo intermedio que tienen su producción a los 150 días. La producción es baja, 306 kg ha<sup>-1</sup> (18) y 502 kg ha<sup>-1</sup> (17), pero que están dentro de los rendimientos de la media nacional de 500 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2019).

El conglomerado dos se formó de las accesiones 19 y 23, que presentaron floración a los 160 días, pero mostraron daño por frío en la temporada de heladas, por lo cual su producción fue mínima, de 20.8 kg ha<sup>-1</sup> (19) y 45.7 kg ha<sup>-1</sup> (23), esto confirma que temperaturas por debajo de 5 °C, afectan el cultivo de chíá (Baginsky *et al.*, 2016) y que en climas templados se acumula más biomasa y producen menos semilla, caso contrario que cuando crecen en ambientes cálidos, en esas condiciones aceleran la fase reproductiva y producen más semilla (Medina-Santos *et al.*, 2019).



**Figura 1. Dendrograma a partir de 12 variables agronómicas de 32 colectas de chíá.**

Las accesiones 15, 20 y 25 forman un subgrupo del conglomerado tres, las cuales se consideran de ciclo precoz, ya que su floración se presentó a los 90 días y su madurez fisiológica a los 120 días, comparten la presencia promedio de 15 ramas por planta, a este subgrupo se integran las accesiones 29 y 3 de ciclo intermedio (150 días), con 16 a 18 ramas y de 47 a 48 espigas florales por planta. Otro subgrupo lo componen con una producción de semilla semejante, las accesiones 2 (1 043 kg ha<sup>-1</sup>), 22 (1 027 kg ha<sup>-1</sup>), 5 (1 037 kg ha<sup>-1</sup>), 16 (1 039 kg ha<sup>-1</sup>) y 21 (1 053 kg ha<sup>-1</sup>). Las accesiones 7 y 14 comparten la misma producción 1 071 kg ha<sup>-1</sup> y 1 064 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, el peso de grano por planta 7 (6.54) y 14 (6.52) y número de espigas florales por planta 7 (33) y 14 (35).

El grupo cuatro se formó de las accesiones seis (1 141 kg ha<sup>-1</sup>) y 28 (1 115 kg ha<sup>-1</sup>), que forman un subgrupo compartiendo la misma producción y peso de grano por planta, otro forma las colectas 8 y 22 con rendimientos de 1 175 y 1 188 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, así como el mismo peso de grano por planta. El subgrupo de las accesiones 10 y 26 comparten diámetro de tallo (7.2 mm), longitud de espiga desde nudo, producción de semilla por planta y rendimiento. Otro subgrupo formado por las accesiones 13 y 30 tiene la misma producción de semilla por planta (4.7 g), rendimiento de 777-781 kg ha<sup>-1</sup> y número de flores por flósculo en espiga. Rendimientos similares de las accesiones de este grupo se han obtenido en el Petacal, Jalisco con cultivares locales (Sosa-Baldivia *et al.*, 2017).

El conglomerado cinco se integró por las accesiones 1 y 12 que fueron las que presentaron el mayor peso de semilla por planta y producción, con rendimientos superiores a 1 400 kg de semilla por ha. La producción de frutos o semillas y el rendimiento son variables que permiten determinar los genotipos idóneos para implementar en la búsqueda de zonas de cultivo (Bochicchio *et al.*, 2015).

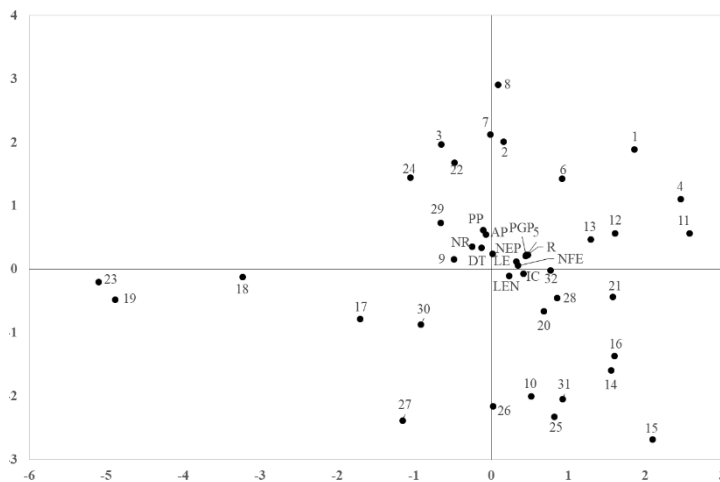
### **Análisis de componentes principales**

Los cuatro primeros componentes principales, explican 74% de la variabilidad agronómica de 32 accesiones de *S. hispanica*. Sánchez (1995) menciona que este porcentaje es confiable para interpretar adecuadamente las correlaciones que existen entre ellos. El primer componente con 30.43% se relacionó con el rendimiento. El segundo componente con 21.39% estuvo definido por la variable peso de semilla por planta, el tercer componente principal 12.25%, definido por la



numero de espigas por planta y el cuarto componente con el 10.24 de la variabilidad generada por largo de espiga, aglutinaron la variación no reunida por el primero, presentando los mayores coeficientes factoriales.

En el análisis de componentes principales, los nuevos factores (o componentes) son independientes entre sí, esto es, una variable debe tener coeficientes elevados con un sólo factor y no deben existir factores con coeficientes similares (Restrepo *et al.*, 2012). Las variables rendimiento, peso de grano por planta, número de frutos por espiga, número de espigas por planta y longitud de espiga, tienen una contribución positiva y significativa, lo que permite precisar la contribución de las variables a los componentes principales y su relación con la variación explicada (Figura 2). Las variables estudiadas tienden a agruparse, con un grado aceptable de concordancia en su ubicación dentro de los cuadrantes (Olivares y Hernández, 2020).



**Figura 2.** Representación multidimensional de dos componentes principales de 32 colectas de *S. hispanica*.

## Conclusiones

La caracterización demostró que existe una amplia variabilidad agronómica entre las accesiones evaluadas, los factores rendimiento, número de espigas, peso de semilla por planta y altura de planta son variables que permiten seleccionar a los mejores materiales; las selecciones 1, 2, 12 y 22 presentan características agronómicas sobresalientes, las cuales se pueden establecer con rendimientos potenciales atractivos para productores de la zona de estudio, sembrando oportunamente cuando se instale el temporal y así evitar el daño por heladas o bien como base para desarrollar programas de mejoramiento genético de *S. hispanica* L.

## Agradecimientos

Al Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México, particularmente al Ing. Enrique Archundia Garduño, a la empresa Chíablanca (Ing. Guillermo Orozco de Rosas), al Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, México, de la Universidad Autónoma Chapingo (Dr. Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez) y al Instituto de Investigaciones Nucleares (Dr. Eulogio de la Cruz Torres), por proporcionar sus colectas.

## Literatura citada

- Baginsky, C.; Arenas, J.; Escobar, H.; Garrido, M.; Valero, N.; Tello, D.; Pizarro, L.; Valenzuela, A.; Morales, L. and Silva, H. 2016. Growth and yield of chía (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 76(3):255-264. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000300001>.
- Bochicchio, R.; Rossi, R.; Labella, R.; Bitella, G.; Perniola, M. and Amato, M. 2015. Effect of sowing density and nitrogen top-dress fertilization on growth and yield of chía (*Salvia hispanica* L.) in a Mediterranean environment: first results. *Ital. J. Agron.* 10(3):163-166. <http://dx.doi.org/10.4081/ija.2015.640>.
- Busilacchi, H.; Bueno, M.; Severin, C.; Di, S. O.; Quiroga, M. y Flores, V. 2013. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de santa Fe (República Argentina). *INCA. Cultivos tropicales.* 34(4):55-59.
- Busilacchi, H.; Qüesta, T. y Zuliani, S. 2015. La chía como una nueva alternativa productiva para la región pampeana. *Agromensajes.* 41(2):37-46.
- Calderón, R. A.; Montes, H. S.; García, P. M. A.; Covarrubias, P. J.; Aguirre, M. C. L. y Raya, P. J. C. 2021. Caracterización de poblaciones de chía silvestre y cultivada. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(7):1165-1170. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2243>.
- Deka, R. and Das, A. 2017. Advances in chía seed research. *Adv biotech & micro.* 5(2):1-3. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.05.555662>.
- Durán, P. N.; Ruiz, J. A. González, D. R.; Mena, M. S. y Orozco, R. G. 2016. Cambio climático y su impacto sobre la aptitud ambiental y distribución geográfica de *Salvia hispanica* L. En México. *Interciencia.* 41(6):407-413.
- González, B. M. 2016. La chía, alimento alternativo para consumo humano. *Rev. Iberoame. Cienc. Biológ. Agropec.* 5(9):1-8.
- Grancieri, M.; Duarte, H. S. and Gonzalez, M. E. 2019. Seed (*Salvia hispanica* L.) as a source of proteins and bioactive peptides with health benefits: a review. *Rev Food Sci Food Saf.* 18(2):480-499. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12423>.
- Grimes, S. J.; Phillips, T. D.; Hahn, V.; Capezzone, F. and Graeff, H. G. 2018. Growth, yield performance and quality parameters of three early flowering chía (*Salvia hispanica* L.) genotypes cultivated in southwestern germany. *Agriculture.* 8(10):1-20. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100154>.
- Hernández, J. A. y Miranda, S. 2008. Caracterización morfológica de chía (*Salvia hispanica*). *Rev. Fitotec. Mex.* 31(2):105-113.
- Jamshidi, A. M.; Amato, M.; Ahmadi, A.; Bochicchio, R. and Rossi, R. 2019. Chía (*Salvia hispanica* L.) as a novel forage and feed source: A review. *Ital. J. Agron.* 14(1):1-18. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1297>.
- Karim, M. M.; Ashrafuzzaman, M. and Hossain, M. A. 2016. Effect of planting time on the growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.). *Asian J. Med. Biol. Res.* 1(3):502-507. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v1i3.26469>.
- Lobo, Z. R.; Alcocer, M. G.; Fuentes, F. J.; Rodríguez, W. A.; Morandini, M. y Devani, M. R. 2011. Desarrollo del cultivo de chía en Tucumán, República Argentina. *EEAOC-avance agroindustrial.* 32(4):27-30.
- Lombardo, Y. B. y Chicco, A. 2017. Consumo de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L): posibles mecanismos de acción sobre el mejoramiento de la dislipidemia, resistencia insulínica y adiposidad visceral en modelos experimentales y su extensión al humano. *FACIBIB.* 21(1):85-114. <https://doi.org/10.14409/fabicib.v21i0.6869>.

- Medina, S. L.; Covarrubias, P. J.; Aguirre, M. C. L.; Iturriaga, G. Ramírez, P. J. G. y Raya, P. J. 2019. Caracterización de colectas de chía de la región occidental de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 10(8):1837-1848. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1955>.
- Michajluk, B. J.; Piris, P. A.; Mereles, L. G.; Wiszovaty, L. N. y Caballero, S. B. 2018. Semillas de *Salvia hispanica* L., 'chía' como fuente de macronutrientes, fibra alimentaria y minerales. Investig. Agrar. 20(1):74-77. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.74-77%20%20>.
- Nieman, D. C.; Gillitt, N.; Jin, F.; Henson, D. A.; Kennerly, K.; Shanely, R. A.; Ore, B.; Su, M. and Schwartz, S. 2012. Chia seed supplementation and disease risk factors in overweight woman: A metabolomics investigation. The journal of alternative and complementary medicine. 18(7):700-708.
- Olivares, B. O. y Hernández, R. A. 2020. Aplicación de técnicas multivariantes en la aptitud de las tierras agrícolas en Carabobo, Venezuela. Tropical and subtropical agroecosystems. 23(2):1-12.
- Orona, T. D. L.; Valverde, E. M. and Paredes, L. O. 2017. Chia-the new golden seed for the 21st century: nutraceutical properties and technological uses. In: sustainable protein sources. Chapter 17. Elsevier. 265-281 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00017-2>.
- Pereira, D.; Schuelter, A. R.; Dembocurski, D.; Passos, F. R.; Maestre, K. L.; Silva, E. A. and Klen, M. R. 2020. Yield components and chemical composition of grains from *Salvia hispanica* L. genotypes cultivated in western paraná under different population densities. Research, society and development. 9(12):1-20. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10798>.
- Restrepo, L. F.; Posada, S. L. y Noguera, R. R. 2012. Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. Rev. Colom. Cienc. Pecuaria. 25(2):258-266.
- Rovati, A.; Escobar, E. y Prado, C. 2012. Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.). EEAOC-avance agroindustrial. 33(3):40-43.
- Sánchez, J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. Rev. Fitotec. Mex. 18(2):188-203.
- Sandoval, O. M. R. and Paredes, L. O. 2013. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). J. Agric. Food Chem. 61(1):193-201. <https://doi.org/10.1021/jf3034978>.
- SIAP. 2019. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>. Búsqueda 22/01/19.
- Sosa, B. A. y Ruiz, I. G. 2016. Será *diabrotica speciosa* gemar, 1824 (coleoptera: chrysomelidae) una plaga de importancia económica para la producción de chía (*Salvia hispanica* L.) En México. Entomología mexicana. 3(1):269-274.
- Sosa, B. A.; Ruiz, I. G.; Gordillo, S. G. V.; Etchevers, B. J. D.; Sharma, M. X.; Liu, X. y Robles, Torre, R. R. 2017. Respuesta de cuatro cultivares de chía (*Salvia hispanica* L.) a la fertilización nitrogenada en el petacal, Jalisco, México. Informes agronómicos de hispanoamérica. 28(1):8-13.
- Suárez, N. P. D. 2018. Logística y recursos naturales en los países sin litoral: el caso de la soya y la chía en el estado plurinacional de Bolivia y Paraguay. CEPAL. 35-37.
- Xingú, L. A.; González, H. A.; Cruz, T. E.; Sangerman, J. D. M.; Orozco, R. G. y Rubí, A. M. 2017. Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 8(7):1619-1631. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.516>.