

5. Efecto de la fertilización y densidades de siembra sobre el rendimiento de chíá



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.299.05>

ANDRÉS XINGÚ LÓPEZ*

ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA**

EULOGIO DE LA CRUZ TORRES***

DORA MARÍA SANGERMAN-JARQUÍN****

GASPAR ESTRADA CAMPUZANO*****

MARTÍN RUBÍ ARRIAGA*****§

Resumen

La chíá (*Salvia hispanica* L.) es un cultivo originario de México y Guatemala, actualmente es cultivada y consumida en varias partes del mundo; desafortunadamente se tienen pocos datos agronómicos que permitan un cultivo con manejo adecuado de la nutrición, densidad de población y genotipo; puntos clave en la producción. El objetivo consistió en evaluar el efecto de la fertilización y densidades de siembra sobre el rendimiento de ocho accesiones de chíá, durante el año 2018 se desarrollaron una serie de experimentos en cuatro ambientes del valle de Toluca, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por sitio, usando un arreglo de parcelas subdivididas en una serie de experimentos en espacio. Las parcelas grandes correspondieron a tres densidades de po-

§ Autor para correspondencia: mrubia@uaemex.mx

* Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0456-727X0>

** Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6055-7597>

*** Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6870-1765>

**** Doctora en Ciencias. Editora en jefa de la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-1182>

***** Doctor en Ciencias Agropecuarias por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1189-0470>

***** Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-5017>

blación, las subparcelas a ocho accesiones y la parcela pequeña a tres dosis de fertilización. El mayor peso de planta, diámetro de tallo y biomasa seca, correspondieron a la densidad de 82 000 plantas por hectárea, pero los rendimientos de 1 805 kg corresponden a densidades de 252 000 plantas por hectárea y dosis de fertilización de 60-60-60.

Palabras clave: *salvia hispanica L., densidad de población, fertilización.*

Introducción

Salvia hispanica L. es una planta herbácea de la familia *Lamiaceae*, nativa del sudeste de México y norte de Guatemala (Busilacchi et al., 2013). La domesticación de chía se remonta a las antiguas culturas prehispánicas mexicanas en el año 2 600 a. C., junto con el amaranto, frijol y maíz conformaban la base de la alimentación de aztecas y mayas. A raíz de la conquista española, granos como el trigo y cebada se introdujeron, desplazando a la chía (Ayerza y Coates, 2006).

La chía se caracteriza por presentar semilla de diferentes colores: entre ellos el negro, gris jaspeado, blanco y marrón (Rovati et al., 2012), es un alimento nutritivo que contiene: lípidos, proteínas y fibra alimentaria; es fuente de potasio, calcio, hierro, magnesio y zinc (Michajluk et al., 2018); ácidos grasos (Gutiérrez et al., 2014), polifenoles, actividad antioxidante, ácidos orgánicos y aminoácidos (de Falco et al., 2018a y 2018b). La composición de la semilla de chía es afectada por temperatura, luz, tipo de suelo y disponibilidad de nutrientes (Ayerza y Coates, 2004).

Cuando la chía se cultiva en zonas con presencia de heladas tempranas, debe considerarse como un ciclo de 160 días, lo que marca la necesidad de programar la siembra para que estas no afecten la floración, fructificación y llenado de grano, lo cual resulta determinante para el rendimiento; además debe establecerse en zonas con precipitaciones promedio de 800 a 900 mm por año y con temperaturas menores de los 33°C (Manzaneda, 2015), fertilizar (Miranda, 2012) y debe procurarse una densidad de siembra adecuada (Manzaneda, 2015; Noriega-González et al., 2018).

La demanda global de chía inició en la década de 1990, actualmente se cultiva en Argentina, Bolivia, Paraguay, Australia y México (Busilacchi et al., 2015), y se exporta a Japón, Estados Unidos y Europa (Alenbrant et al., 2014). El interés de cientos de agricultores, las perspectivas de producción y la aceptación de diversos públicos por sus características nutraceuticas, hacen que su mercado se amplíe día a día (Xingú et al., 2017).

El potencial productivo está estimado en 3 140 kg ha⁻¹ (Ketthaisong et al., 2016), pero el rendimiento promedio en México es de 810 kg ha⁻¹ (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021), esto debido a que se desconoce el uso de: variedades mejoradas, dosis de fertilización, métodos de labranza, sistemas de riego, densidades, fechas de siembra, el control y manejo adecuado de plagas, enfermedades y malezas (Sosa et al., 2017a y 2017b).

El manejo adecuado de la nutrición es clave en la producción con rendimientos potenciales y con calidad de semilla adecuada (Noriega-González et al., 2018). Por tanto, el exceso o déficit de nutrientes, puede afectar negativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Anjos et al., 2018). Los micronutrientes, requeridos en trazas (100 mg kg⁻¹ de peso seco) por las plantas, desempeñan un papel significativo e importante en los procesos celulares y metabólicos, por lo cual se debe asegurar su suministro (Tripathi et al., 2015).

Con base en lo anteriormente expuesto se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización y densidades de siembra sobre el rendimiento de ocho accesiones de chía.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano 2018 en cuatro sitios experimentales del Valle de Toluca, México (ambientes): Rancho San Lorenzo (A1), localizado a 19°14'40.3" latitud norte y 99°35'36.5" longitud oeste, a una altitud de 2 606 msnm, presenta suelo tipo Feozem háplico; San Francisco Tlalcilcalpan (A2), ubicado a 19°18'17.9" latitud norte y 99°46'29.7" longitud oeste, a una altura media de 2,750 msnm y suelo vertisol eútrico; El Cerrillo Piedras Blancas (A3) localizado a 19°24'49.0" lati-

tud norte, 99°41'29.8" longitud oeste, a una altitud de 2,640 msnm, posee un suelo vertisol, y San Juan Xochiaca (A4), ubicado a 19°00'50.2" latitud norte y 99°31'52.1" longitud oeste a una altitud de 2 330 msnm, suelo tipo andosol úmbrico. El clima del Valle de Toluca es templado subhúmedo, con temperatura media anual de 13.7°C y precipitación pluvial entre 1 000 y 1 200 mm, con heladas de 80-140 días en la época de octubre a marzo (García, 2005; Sotelo et al., 2011).

Factores y niveles de estudio

Para el experimento se utilizaron ocho accesiones de *S. hispanica*, tres densidades de siembra y tres fórmulas de fertilización (tabla 5.1). Las accesiones fueron proporcionadas por las siguientes instituciones; una por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICA-MEX), tres por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y cuatro por la empresa ChíaBlanca de Acatic Jalisco, las cuales han presentado buena adaptación a la zona de estudio. Los factores y niveles de estudio se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Factores y niveles de estudio evaluados en chía, en el valle de Toluca, México, en el ciclo primavera-verano 2018

Factores de estudio	Niveles
Densidad de población (plantas ha ⁻¹) (A)	252 000
	126 000
	84 000
Accesiones (B)	ICAMEX-1
	ININ-5
	CHB-30Pz
	ININ-11
	ININ-10
	CHB-122 Az
	CHB-17Pz
	CHB-59 Normal
Dosis de fertilización (C)	20-20-20
	40-40-40
	60-60-60

Fuente: Elaboración propia y obtenida de los datos de la investigación.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Se empleó una serie de experimentos en espacio con un diseño experimental de bloques completos al azar en parcelas subdivididas, con tres repeticiones por ambiente. En la parcela grande se asignaron las densidades de población, en las medianas las accesiones y en las chicas las dosis de fertilización.

Manejo agronómico

La preparación mecánica del suelo consistió en dos pasos de rastra y surcado a 80 cm. La siembra se efectuó manualmente depositando la semilla a la distancia requerida (5, 10 y 15 cm), la maleza se controló por medio de deshierbes mecánicos y químicos (Paracuat). Las fuentes de fertilizantes fueron urea agrícola (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5) y nitrato de potasio (13-0-46), la fertilización se incorporó en una sola aplicación al costado de la línea de cultivo, a los 30 días de emergida la planta.

Registro de variables

Se seleccionaron 10 plantas de cada unidad experimental, en las que se registró: (a) longitud de planta (LP), con la ayuda de una cinta métrica fue medida en cm desde base del tallo a la punta de la espiga en una planta totalmente desarrollada; (b) peso seco de planta (SPS) registrada en gramos y secada en estufa a 60°C durante 72 hrs; (c) diámetro de tallo (DT), fue medido con un vernier digital en la base del tallo en milímetros; (d) longitud de inflorescencia (LI), medida en centímetros, de la parte inicial a la parte final de la inflorescencia totalmente extendida; (e) longitud de inflorescencia desde el nudo (LIN), medida en centímetros de la axila donde se muestra el ultimo nudo del tallo a la parte final dela inflorescencia; número de ramas (NR); (f) número de espigas (NE); (g) peso de semilla por planta (PSPP) en gramos y pesado en balanza analítica AS 220.R2 PLUS; (h) índice de cosecha (IC), y (i) rendimiento de grano (RG), $kg\ ha^{-1}$.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables estudiadas se analizaron con base en un modelo lineal general para lo cual se consideró el efecto del bloque y los tratamientos, con el procedimiento PROC ANOVA y con la prueba de comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) en una serie de experimentos en bloques completos al azar en arreglo de parcelas subdivididas (González et al., 2019), el procedimiento empleado permitió analizar los efectos de los tratamientos del diseño experimental, en el programa SAS, para Windows'99.

Resultados y discusión

De acuerdo con el resumen de análisis de varianza (tabla 5.2), se verifica que ocurre un efecto significativo ($p < 0.01$) para efecto ambiente y en la interacción REP (AMB) para las variables estudiadas. El efecto de densidades de población sobre las variables PSP, AP, LE, LEN, NRP, NEB, PSPP, IC y R, fue altamente significativa, solo la variable DT no presentó significancia. En la interacción amb*a, hubo significancia para las variables: PSP, AP, NRP, NE, NEB, PGP, IC y R; mientras que para la interacción REP*A(AMB), hubo diferencia significativa en la variable PSP, DT, AP, LE, LEN, NRP, NEB, PSPP, IC y R. El análisis de varianza permitió detectar un efecto positivo de las accesiones estudiadas en todas las variables, así mismo en la interacción A*B, en interacción AMB*B, en interacción AMB*A*B y en la interacción rep*b(amb*a).

En dosis de fertilización (c) existe significancia para PSP, AP, LE, LEN, NEB, PGP, IC y R; la interacción a*c se presenta alta significancia (0.01%) en las variables PSP y R y significancia (0.05%) para la variable PSPP; mientras que para la interacción B*C se presenta significancia para PSP, lo mismo que para la interacción A*B*C. Las medias totales de experimento indican PSP de 65 g, AP de 105.1 cm, LI de 16.3, NR de 17.1, NE de 52.5, PSPP de 9.83, IC de 15.2, R de 1 411 kg.

Tabla 5.2. Cuadrados medios y significancia estadística para variables agronómicas en cultivo de chía en el valle de Toluca, Estado de México, ciclo primavera-verano 2018

FV	GL	PSP	DT	AP	LE	LEN	MRP	NEP	PGP	IC	R
AMB	3	26210.3**	759.6**	57343.2**	3953.3**	4447.8**	1476.8**	19583.9**	682.7**	116.4**	14002598**
REP (AMB)	8	30300.2**	134.7**	1072.1**	2819.8**	60.7	60.2**	7256.8**	1536.2**	361.3**	31209903**
A	2	22539.9**	15.2	1497.7**	3214.9**	249.6**	108.8**	11669.3**	1058.6**	200.7**	86185213**
AMB*A	6	779.9**	22.4	242.7**	3038.6**	59.9	7.7**	1763.1**	9.4**	45.9**	679946**
REP*A(AMB)	16	1355.1**	21.6**	245.9**	4975.5**	44.4	9.4**	1058.7**	42.7**	43.6**	1830912**
B	7	2696.7**	109.9**	6163.1**	3586.9**	168.7**	133.2**	4398.9**	435.4**	1199.2**	9267854**
A*B	14	1142.3**	30.5**	459.4**	4162.8**	105.9**	10.7**	2268.6**	12.6**	85.9**	729584**
AMB*B	21	774.6**	30.6**	238.8**	3908.7**	83.8**	11.1**	934.8**	25.2**	43.2**	525307**
AMB*A*B	42	463.9**	35.9**	314.7**	4461.3**	36.9*	8.7**	633.9**	6.1**	27.9**	121887**
REP*B(AMB*A)	168	799.6**	40.7**	350.1**	4312.5**	88.9**	12.4**	1453.2**	14.5**	39.9**	271837**
C	2	7214.7**	0.6	14394.7**	439.9**	2406.5**	1.6	445.7	183.7**	12.4**	3817150**
A*C	4	32.2**	2.8	42.1	21.6	46.4	2.5	71.9	2.3*	0.27	207029**
B*C	14	15.6**	2.2	54.9	16.3	44.5	1.9	168.8	0.6	1.59	14869
A*B*C	28	8.1**	5.8	29.9	21.8	20.6	1.4	83.9	0.2	0.76	5453
AMB*C	6	53**	2.1	103.4	19.5	23.5	1.6	145.3	3.1**	4.36**	55925
AMB*A*C	12	10**	5.1	100.4	15.9	9.6	1.2	67.8	0.3	0.76	5100**
AMB*B*C	42	11.4**	1.5	39.6	19.1	15.1	1.4	73.1	0.3	1.44	4412
Error	468	9.2	4.8	46.2	20.8	18.9	1.5	94.3	0.4	0.7	5796
Media		65	10.5	105.1	16.2	29.4	17.1	52.5	9.83	15.2	1411
CV (%)		5	20.8	6.4	28.1	14.8	7.1	18.5	6.4	5.6	4.5

Nota: A = Densidad; B = accesiones; C = dosis de fertilización; AMB (Ambiente); REP (Repetición); GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; PSP = peso seco de planta; DT = diámetro de tallo; LP = longitud de planta; LI = Longitud de inflorescencia; LIN = Longitud de inflorescencia desde nudo; NR = número de ramas; NE = número de espigas; PSPP = peso de semilla por planta; IC = índice de cosecha; RG = Rendimiento de grano en kg ha⁻¹.
Fuente: Elaboración propia y obtenida de los datos de la investigación.

Interacción ambiente-variables agronómicas

Los resultados obtenidos de las variables agronómicas por ambiente (tabla 5.3), permiten determinar a Rancho San Lorenzo como el mejor ambiente en la producción de chíá, presentó diferencia significativa en peso seco de planta con 79.2 g, 119.9 cm de longitud de planta, 65.8 espigas por planta, un peso de 12.3 g de grano por planta y un rendimiento en semilla de 1 757.7 kg ha⁻¹; el ambiente San Francisco Tlalcilalcalpan, presentó rendimiento de 1 446.2 kg ha⁻¹ y una longitud de planta de 115.9 cm, estos dos ambientes presentan precipitaciones semejantes y su tipo de suelo son franco arenosos, por lo cual las condiciones de clima durante el ciclo de cultivo de *S. hispanica*, incidieron significativamente en el desarrollo, producción y calidad de la semilla (Busilachi et al., 2019), además se confirma que entre más desarrollo fisiológico se presente en la planta; este se ve reflejado en la producción de semilla, y que aunado a las condiciones climáticas, el manejo del cultivo y una siembra uniforme, en un período de lluvias normales; se presenta un mayor desarrollo y uniformidad en las plantas, lo que se refleja en los rendimientos (Quiroga et al., 2015).

Tabla 5.3. Comparación de medias agronómicas en cuatro ambientes del Valle de Toluca, México

Ambiente	PSP	DT	LP	LI	LIN	NR	NE	PGP	IC	RG
Rancho San Lorenzo	79.2a	11.5ab	119.9a	15.8a	34.2a	19.8a	65.8a	12.3a	15.8a	1757a
San Francisco Tlalcilalcalpan	68.8b	12.2a	115.9a	14.3a	31.8b	18.5b	53.1b	10.1b	14.7a	1446ab
Cerrillo Piedras Blancas	54.5c	7.9c	84.3c	22.3a	23.9d	13.9d	45.4b	8.3b	15.8a	1198b
San Juan Xochiaca	58.9bc	10.4b	99.9b	12.5a	27.7c	16.1c	45.9b	8.7b	14.4a	1244b

Nota: PP= peso seco de planta; DT= diámetro de tallo; LP= longitud de planta; LI= Longitud de inflorescencia; LIN= longitud de inflorescencia desde nudo; NR= número de ramas; NE= número de espigas; PSP= peso de semilla por planta; IC= índice de cosecha; RG= Rendimiento de grano en kg ha⁻¹.

Fuente: Elaboración propia y obtenida de los datos de la investigación.

Los ambientes San Juan Xochiaca y el Cerrillo Piedras Blancas (tabla 5.3), se datos de variables como longitud de planta, peso seco de planta y número de espigas bajos, variables que determinan el rendimiento de grano del cultivo de la chíá. El ambiente de El Cerrillo Piedras Blancas presentó

anegaciones, que impidieron un desarrollo adecuado de la planta, lo cual influyó en el rendimiento, debido a que la chía no soporta suelos anegados durante su desarrollo; y su rendimiento se ve afectado por las características edafoclimáticas predominantes del ciclo de cultivo (Ayerza, 2016).

Tabla 5.4. Medias de variables estudiadas para densidad de población, accesiones y dosis de fertilización en el Valle de Toluca

	PSP	DT	AP	LE	LEN	NRP	NEP	PGP	IC	R
<i>Densidad de población (plantas ha⁻¹)</i>										
252 000	56.7c	10.5a	102.7b	15.4a	28.9b	16.4b	46.8b	8.1c	14.3b	2031.7a
126 000	65.1b	10.3a	105.2ab	13.4a	28.7b	17.1ab	51.5b	9.6b	15.3ab	1206.2b
84 000	74.4a	10.7a	107.2a	19.9a	30.4a	17.7a	59.4a	11.9a	15.9a	997.1b
<i>Accesiones</i>										
ICAMEX-1	69.6a	10.3ab	112.4ab	12.5a	29.4ab	17.5ab	47.7ab	11.6ab	16.7bc	1700ab
ININ-5	68.4ab	9.6b	109.7ab	13.3a	29.5ab	16.7b	45.9b	9.1cd	13.5d	1327d
CHB-30Pz	63.5ab	9.6b	107.2b	13.5a	28.9ab	17.6ab	57.2ab	10.1cd	15.4bcd	1421cd
ININ-11	71.5a	11.4ab	115.1a	28.6a	27.9b	18.6a	44.1b	6.1e	8.3e	870e
ININ-10	60.34ab	12.4a	97.9de	13.9a	32.1a	16.9b	52.4ab	10.6bc	17.9ab	1551bc
CHB-122 Az	68.2ab	10.9ab	105.1bcd	21.3a	28.9ab	16.7b	57.5ab	12.6a	19.5a	1804a
CHB-17Pz	64.5ab	9.5b	99.8bcd	12.4a	28.7ab	17.6ab	62.5a	9.9cd	15.1cd	1411cd
CHB-59 Normal	56.9b	10.3ab	93.1e	14.2a	29.9ab	14.8c	52.9ab	8.4d	15.1cd	1204d
<i>Dosis de fertilización</i>										
20-20-20	62.4b	10.5a	101.1b	15.4b	27.5b	17.1a	51.4b	9.3c	14.9b	1328c
40-40-40	62.5b	10.6a	100.9b	15.6b	28.1b	16.9a	52.4ab	9.5b	15.3a	1363b
60-60-60	71.2a	10.5a	113.2a	17.6a	32.7a	17.1a	53.9a	10.7a	15.3a	1543a

Fuente: Elaboración propia y obtenida de los datos de la investigación.

Densidad de población

El efecto de la densidad de población (tabla 5.4) en el cultivo de chía se ve reflejado en el peso de planta seca donde a menor densidad de población existe una mayor biomasa, el cual disminuye conforme se incrementa la densidad de población, así mismo la longitud de las espigas y el peso de semilla por planta tienen un comportamiento similar, ya que al existir mayor espacio entre planta y planta existe un mejor desarrollo por efecto de una menor competencia. La altura de planta disminuyó a medida que se

incrementa la densidad poblacional de 84 000 plantas/ha (107 cm), 156 000 (105 cm) y 252 000 (102 cm), la reducción de la altura de la planta bajo densidades intermedias y altas se puede deber a la disminución en la disponibilidad de nutrientes por planta existentes en la misma área que en el tratamiento con densidades bajas.

El efecto de la densidad se afirma al evaluar el rendimiento de semilla, que a pesar de que se tiene una mejor arquitectura de la planta porque se garantiza una buena conformación y desarrollo de la planta en densidades bajas, además de que la probabilidad de ataque de plagas y enfermedades es menor porque se asocia al ingreso de aire entre las plantas (Manzaneda, 2015); en las densidades de 84 000 y 126 000 plantas por hectárea; los rendimientos de 997 y 1 206 kg ha⁻¹, respectivamente son menores a los 2 031 kg ha⁻¹ obtenido con una densidad de 252 000 plantas por hectárea. La densidad de 252 000 plantas ha⁻¹ presentó la mejor respuesta para las variables de rendimiento de semilla; más sin embargo con una densidad de población reducida el cultivo genera semillas de mayor peso (Noriega-González et al., 2018).

Accesiones

Las variables agronómicas medidas son contundentes para seleccionar accesiones de chíá adaptadas a las condiciones agroclimáticas del Valle de Toluca (tabla 5.4); un buen desarrollo de planta de chíá tiene como resultado: un adecuado peso de planta, un buen diámetro de tallo, una longitud de espigas aceptable, un buen número de ramas y espigas por planta, una producción de semilla por planta que supere 9% de su peso total de planta y un rendimiento de más de 1 000 kg ha⁻¹; estas son características útiles para determinar que siete de las ocho accesiones pueden considerarse aptas para ser cultivadas de forma comercial, ya que el uso de variedades de alto rendimiento es una práctica agronómica que garantiza el rendimiento de chíá (Sosa et al., 2017).

El desarrollo de *S. hispanica* en los genotipos estudiados fluctúa en un promedio de altura de planta de 93 (CHB-59 normal) a 115 cm (ININ-11), datos menores a los obtenidos por Busilachi et al. (2019) quienes reportan

una altura de planta de 1.59 m para el ciclo 2014 y de 1.34 m para el 2015. Analizando estos resultados obtenidos la planta puede tener un desarrollo aceptable para la variable altura; pero esta no siempre se puede reflejar en el rendimiento final de semilla, ya que la accesión ININ-11, fue el genotipo con más altura (115 cm), pero menor rendimiento (850 kg ha^{-1}) y la accesión CHB-122 Az, tiene una altura de planta de 105 cm y una producción de 1804 kg ha^{-1} .

El rendimiento de semilla por planta entre las ocho accesiones es fluctuante; ININ-11 con peso de 6.1 g por planta es el más bajo, mientras que CHB-122 Az, presenta un peso promedio de 12.6 g por planta; siete de los ocho genotipos presentaron resultados superiores a los obtenidos por Grimes y colaboradores (2018), quienes reportan peso medio de semillas por planta de 6.3 g en el genotipo W13.1 y 6.4 g en el genotipo Sahi Alba 914.

Los genotipos CHB-122 Az, ININ-10 e ICAMEZ-1, comparten las medias de peso seco de planta, diámetro de tallo, altura de planta y largo de espiga desde el nudo; y tienen diferencias en producción de semilla por planta, en el índice de cosecha en referencia al peso de planta y en rendimiento por hectárea, pero supera los 1500 kg ha^{-1} ; rendimiento superior al rango de 618.39 a $1171.33 \text{ kg ha}^{-1}$ reportados por Grimes et al. (2019).

Dosis de fertilización

Al estudiar las tres dosis de fertilización se observó un aumento en datos de las variables conforme se incrementaron las unidades de fertilizante aplicado. El aumento de peso de planta, altura de planta, número de ramas laterales y número de espigas, datos que concuerdan con Martínez et al. (2017), quien afirma que los más altos rendimientos obtenidos en plantas de chía se asocian a una mayor acumulación de biomasa, generada principalmente por la presencia de inflorescencias grandes y plantas de grandes, es decir plantas que hicieron un mejor reparto de sus asimilados y por ende presentan un mayor índice de cosecha.

La producción de semilla de chía fue más alta con la dosis de fertilización 60-60-60 con una producción de 1543 kg ha^{-1} , en comparación a las otras dosis de fertilización con una producción de 1328 kg ha^{-1} para 20-20-

20 y 1 362 kg ha⁻¹ para 40-40-40; el potencial productivo de la chía (2.21 t ha⁻¹) se puede lograr con una fertilización nitrogenada adecuada (Sosa-Baldivia y Ruiz, 2018). Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Noriega-González et al. (2018), quienes afirman que el cultivo de chía incrementa productividad de semilla en un 65%, con la aplicación de nitrógeno aunado a que la aplicación foliar de vermicompost acrecienta la biomasa y el rendimiento de semilla (González Solano et al., 2019).

Lo anterior deja en claro que la producción de la especie en estudio posee un importante potencial de desarrollo, pero que aún hace falta trabajar ampliamente en varios aspectos de manejo agronómico como es la nutrición donde es escasa la información disponible.

Conclusiones

Las condiciones agroclimáticas en los diferentes ambientes evaluados, Las parcelas fueron diferentes con una siembra uniforme, en un período de lluvias normales; los ambientes Rancho San Lorenzo y San Francisco Tlalcalcalpan, presentaron mayor desarrollo y uniformidad en las plantas, lo que se reflejó en los rendimientos. Una densidad de 252 000 plantas por hectárea y una dosis de fertilización de 60-60-60, aunado a la selección del genotipo adecuado (ICAMEX-1); la producción de chía es atractiva para las condiciones edafoclimáticas del Valle de Toluca.

Las accesiones ICAMEX-1, ININ-10 y CHB-122 Az, son los tres genotipos con características agronómicas sobresalientes que presentaron buena adaptación a las condiciones agroclimáticas y que pueden instalarse comercialmente en la zona de estudio, en suelos con buena capacidad de filtración para evitar anegaciones.

Referencias

- Ayerza, R., y Coates, W. (2006). *Chía. Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas*. Ediciones del Nuevo Extremo.
- Ayerza, R., y Coates, W. (2004). Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science*, 44(3), 131-135. <https://doi.org/10.1002/ts.154>
- Ayerza, R. (2016). Crop year effects on seed yields, growing cycle length, and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L.) growing in Ecuador and Bolivia. *Emirates Journal Food and Agriculture*, 28(3), 196-200. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-05-323>
- Busilachi, H. A., Coronel, C. N., Bueno, M. S., Gonzalez, M. P., Müller, D. R., Quiroga, M., y Severin, C. R. (2019). Incidencia de las condiciones de clima en el desarrollo y producción de semillas de *Salvia hispanica* L. *Acta Agronómica*, 68(3), 244-250. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n3.68759>
- Dos Anjos, G., Costa, F., Lobo, C., Souza, A., De Souza, G., y Dos Santos, A. (2018). Growth and photosynthetic pigment content in *Salvia hispanica* L. with macronutrient omission in nutrient solution. *Journal of Agrarian Sciences*, 46(3), 323-328. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2018V46N3P324-329>
- De Falco, B., Fiore, A., Bochichio, R., Amato, M., y Lanzotti, V. (2018a). Metabolomic analysis by UAE-GC MS and antioxidant activity of *Salvia hispanica* (L.) seeds grown under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 112, 584-592. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.030>
- De Falco, B., Fiore, A., Rossi, R., Amato, M., y Lanzotti, V. (2018b). Metabolomics driven analysis by UAE-GC-MS and antioxidant activity of chía (*Salvia hispanica* L.) commercial and mutant seeds. *Food Chemistry*, 254, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.189>
- García, E. (1981). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koeppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana*. Offset Larios.
- González, A., Pérez, D. J., Rubí, M., Gutiérrez, F., Franco, J. R. P., y Padilla, A. (2019). InfoStat, InfoGen y SAS para contrastes mutuamente ortogonales en experimentos en bloques completos al azar en parcelas subdivididas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1417-1431. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1767>
- Grimes, S. J., Phillips, T. D., Hahn, V., Capezzone, F., y Graeff-Hönninger, S. (2018). Growth, Yield Performance and Quality Parameters of Three Early Flowering Chia (*Salvia hispanica* L.) Genotypes Cultivated in Southwestern Germany. *Agriculture*, 10(8), 2-20. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100154>
- Grimes, S. J., Phillips, T. D., Capezzone, F., y Graeff-Hönninger, S. (2019). Impact of Row Spacing, Sowing Density and Nitrogen Fertilization on Yield and Quality Traits of chia (*Salvia Hispanica* L.) Cultivated in southwestern Germany. *Agronomy*, 3(9), 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030136>

- Gutiérrez, R., Ramírez, M. L., Vega, S., Fontecha, J., Rodríguez, L. M., y Escobar, A. (2014). Contenido de ácidos grasos en semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) cultivadas en cuatro estados de México. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 199-207.
- González-Solano, K. D., Rodríguez-Mendoza, M. N., Escalante-Estrada, J. A. S., García-Cué, J. L., Pedraza-Santos, M. E., y Sánchez-Escudero, J. (2019). Crecimiento y producción de chía (*Salvia hispanica* L.) en función de la irradiancia y fertilización orgánica. *Interciencia*, 6(44), 340-346.
- Manzaneda, F. (2015). Evaluación de la producción de dos variedades de Chía (*Salvia hispanica* L.), en dos densidades de siembra. *APTHAPI*, 1(1), 13-18.
- Martínez, A., Ramírez, J. G., Montes, S., García, M. A., Raya, J. C., Escutia, J. M., y Calderón, A. (2017). *Efecto de las fechas de siembra sobre el rendimiento de la chía (Salvia hispanica L)* (pp. 187-196). 4° Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- 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. *Investigación Agraria*, 20(1), 74-77. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.74-77>
- Miranda, F. (2012). *Guía técnica para el manejo del cultivo de Chía (Salvia hispanica) en Nicaragua*. Sebaco.
- Noriega-González, L. A., Caballero-Palacio, M. M., Montoro-Torres, V., y García-Vázquez, E. N. (2018). Fertilización nitrogenada y densidad de siembra en la productividad de chía. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(2), 1-8.
- Quiroga, M., Agüero, D., Zapata, R., Busilacchi, H., y Bueno, M. (2015). Activadores de crecimiento y biofertilizantes como alternativa al uso de fertilizantes químicos en cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.). *Energías Renovables y Medio Ambiente*, (35), 31-40.
- Rovati, A., Escobar, E., y Prado, C. (2012). Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.). *Avance Agroindustrial*, 33(39), 39-43.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>
- Sosa-Baldivia, A., Ruiz-Ibarra, G., Gordillo-Sobrino, G. V., Etchevers-Barra, J. D., Sharma, M., Liu, X., y Robles-de la 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, 8-13.
- Sosa, A., Ruiz, G., Rana, J., Gordillo, G., West, H., Sharma, H., Liu, X., y Robles-de la Torre, R. (2017). Diabrotica una plaga de importancia económica para la producción de chía (*Salvia hispanica* L.) en Jalisco México. *El Jornalero*, 77, 100-110.
- Sosa-Baldivia, A. and Ruiz, G. (2018). Inadequate Nitrogen Fertilization: Main Cause of the Low Seed Yield on the Chia Crop (*Salvia hispanica* L.). *Biomedical Journal Science & Technical Research*, 2(1), 2255-2256. <https://doi.org/10.26717/BJS-TR.2018.2.000670>
- Sotelo, E. D., González, A., Cruz, G., Moreno, F., y Cruz, G. (2011). Los suelos del Estado

- de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8),71-84.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., y Dubey, N. K. (2014). Role of macronutrients in plant growth and acclimation: recent advances and future prospective. En *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes* (pp. 197-216). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8824-8_8
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., y Dubey, N. K. (2015). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(139), 1-14.
- Xingú, A., Gonzalez, A., de la Cruz, E., Sangerman-Jarquín, D. M., Orozco, G., y Rubí, M. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1619-1631. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.516>