

Respuesta de cuatro cultivares de chía (*Salvia hispanica* L.) a la fertilización nitrogenada en el Petacal, Jalisco, México

Anacleto Sosa-Baldivia^{1,5*}, Guadalupe Ruiz-Ibarra², Gerardo Víctor Gordillo-Sobrino¹, Jorge D. Etchevers-Barra³, Maneesh Sharma⁴, Xiaozhong Liu⁴, Raúl Rene Robles-de la Torre⁵

- La chía es un cultivo en rápido crecimiento ya que se considera la fuente vegetal más importante de ácidos grasos Omega-3 para los seres humanos.
- Su cultivo esta difundido principalmente en México, Argentina, Bolivia, Paraguay y Australia.
- El uso de variedades de alto rendimiento de semilla y la fertilización con N en El Petacal, Municipio de Tolimán, Jalisco, México, son dos prácticas agronómicas que ayudan a mejorar el rendimiento.

Introducción

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie nativa del centro de México y norte de Guatemala, que hoy se considera la fuente vegetal más importante de ácidos grasos Omega-3 para el hombre (Orona-Tamayo et al., 2017). Debido a esto, en el último lustro su demanda global ha incrementado 239% anual, y se estima que para 2020, sus ventas serán de 1.2 billones de dólares (Cassiday, 2017). Mundialmente se siembran 367 000 ha, y los principales países productores son Argentina, Bolivia, Paraguay, México y Australia (Peperkamp, 2015). México cultiva 50 000 ha año⁻¹, y con un rendimiento de semilla (RS) (500 kg ha⁻¹) que es 30% superior al promedio mundial (357 kg ha⁻¹), aporta 19% (25 000 t) de la producción total (131 000 t) (Peperkamp, 2015).

El potencial productivo de la chía se estima en 3140 kg ha⁻¹ (Ketthaisong et al., 2016), sin embargo, la media comercial es mucho más baja (300-500 kg ha⁻¹) (Peperkamp, 2015). De acuerdo con Sosa et al. (2017 a,b), esto se debe a que al no estar integrada a la agricultura moderna, se desconoce cómo el uso de: (1) variedades mejoradas; (2) fertilización; (3) labranza; (4) irrigación; (5) fechas de siembra; y (6) control de plagas, enfermedades y malezas, ayudan a mejorar la productividad de la chía. Sutch (2008) reporta que la fertilización nitrogenada y el uso cultivares rendidores son las dos las prácticas que más han ayudado a aumentar el rendimiento de los cultivos; y con base en el trigo, Bell et al. (1995) estiman que su contribución es 48 y 28%, respectivamente; esto indica que el uso de variedades rendidoras a la par de una adecuada fertilización ha permitido mejorar el rendimiento de los cultivos en 76%. Los resultados de ensayos que han evaluado el comportamiento agronómico de diferentes genotipos de chía indican que es factible incrementar el RS mediante esta vía (Ayerza y Coates, 2009; Baginsky et al., 2016; Valle, 2016), sin embargo, esto no se ha explotado comercialmente porque los cultivares de alto RS no están aún disponibles (Sosa et al., 2016a).

Por otro lado, debido a que existe la creencia de que la chía presenta bajos requerimientos de fertilización (Jamboonsri et al., 2012; Sosa et al., 2017c), el uso de fertilizantes en la producción de esta especie sigue siendo bajo y a la fecha en los ensayos de rendimiento se siguen usando dosis bajas de N (28 a 45 kg N ha⁻¹) (Baginsky et al., 2016) e incluso no se aplica (Yeboah et al., 2014; Ayerza et al., 2016; Furlan et al., 2016; Valle, 2016). De acuerdo con la literatura revisada, la dosis de N más alta usada en chía es 45 kg N ha⁻¹ (Baginsky et al., 2016); si se supone que esta especie recupera 80% del N (Boaretto et al., 2007) y que por kg de N absorbido produce 16.7 kg de semilla (tomando como base el requerimiento para canola (Ciampitti y García, 2007), el rendimiento máximo esperado con base a 45 kg N ha⁻¹ es 601 kg ha⁻¹. Tomado en cuenta que este valor es congruente con el RS medio actual de México (500 kg ha⁻¹) y que desde 1935 no ha cambiado (511 kg ha⁻¹) (Rulfo, 1937), es posible que la chía está siendo sub fertilizada y por lo tanto, en el futuro, la fertilización nitrogenada podría ayudar a incrementar su RS en México. Con base en esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con N en el comportamiento agronómico de cuatro cultivares de chía (*Salvia hispanica* L.) en El Petacal, Municipio de Tolimán Jalisco, México.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en el rancho El Petacal, que se ubica en Tolimán, Jalisco, México (19° 24' LN y 103° 44' LO) a 1060 msnm. Esta zona presenta un clima extremadamente seco, baja precipitación pluvial (menos de 400 mm) y una temperatura media anual de 23.0 °C (Sosa et al., 2017b). El suelo fue un Luvisol alcalino (pH 8.1), con bajo contenido de materia orgánica (2.0%) y una disponibilidad de P, K, Ca, Mg, S-SO₄, B, Fe, Mn y Zn de 12, 233, 1113, 985, 53, 0.7, 31, 144, y 1.0 ppm, respectivamente (método Mehlich III). Antes de este experimento, el N disponible del suelo se removió parcialmente, para ello seis meses antes establecer el experimento el área experimental se cultivó

¹ Investigador de Nutrilite S. de R.L. Rancho El Petacal Jalisco, México

² Profesor del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Unidad Académica Tamazula de Gordiano Jalisco, México

³ Profesor del Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, México

⁴ Investigador de Amway Company, California, EE.UU.

⁵ Profesor de CIBA-IPN, Campus Tlaxcala México

* Autor de contacto. Correo electrónico: anacleto.sosa@amway.com

con perejil sin fertilización. Los niveles de N-NO₃ en los 20 cm superiores del suelo antes y después de realizar el blanqueo fue 53 y 15 ppm N-NO₃, respectivamente. En la siembra, el área se fertilizó con 30 kg P₂O₅, 100 kg de K₂O, 250 kg de S y 24 kg ha⁻¹ de una mezcla de micronutrientes. Las fuentes utilizadas fueron Calphos[®] (3% P₂O₅), Allganic Potassium[®] (51% K₂O), S elemental (96% S) y Micromix[®]. El experimento se estableció el 29 de octubre en surcos a doble hilera a una densidad de población de 26 plantas m⁻². El control de malezas fue manual, no se controlaron plagas ni enfermedades y los riegos se hicieron cuando la tensión de la humedad en el suelo fue igual o mayor a 20 centibares. La lámina de agua utilizada fue 457 mm; de esta, 43 mm provinieron de la lluvia y el resto (414 mm) de un pozo y se aplicó con riego por goteo.

El diseño de tratamientos fue un factorial, donde el factor A fue cuatro variedades (VARs) de chíá; y el factor B, cuatro dosis de N. Las VARs evaluadas fueron; Pinta, Negra Puebla, Blanca Acatic y el cultivar experimental de chíá blanca G-39 que fue desarrollado por Sosa et al. (2016b) en Jalisco, México. Este último, para 2018 se registrará como el primer cultivar de chíá de semilla blanca de alto rendimiento, su nombre tentativo es "Rehnborg". La dosis de N evaluadas fueron: 0, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹, para suministrar estos tratamientos se usó Allganic[®] Special (12 N-00 P₂O₅-12 K₂O); se decidió usar este fertilizante porque además de ser la fuente orgánica registrada que aporta más N, solo contiene K como ion acompañante. Al usar Allganic[®] Special (12 N-00 P₂O₅-12 K₂O) como fuente de N, las dosis evaluadas indirectamente aportaron 0, 50, 100 y 150 kg de K₂O ha⁻¹, respetivamente. Para compensar el diferencial de K aportado entre la dosis máxima y los demás tratamientos se usó Allganic[®] Potassium (52% K₂O); debido a esto, la dosis de K usada fue 250 kg K₂O ha⁻¹. Los tratamientos evaluados se dividieron proporcionalmente en tres aplicaciones que se realizaron en la etapa de cuatro nudos; inicio de botoneo y floración (25, 38 y 58 días DDS, respectivamente). El diseño experimental fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones; la parcela grande fue para variedades (VARs) y en la parcela chica se establecieron las dosis de N. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 1 m de ancho y 5 m de largo.

Hasta antes de la cosecha, las variables medidas fueron días a floración (DF) y a madurez fisiológica (DMF). Al realizar la cosecha, las variables medidas fueron el número de plantas por m² (#PLM2), altura de la planta (AP) y longitud de la inflorescencia principal (LINFP). Las plantas presentes en cada parcela experimental se cosecharon y se secaron a 70 °C por 48 h, una vez secas se pesaron para determinar su biomasa total (BT). Posteriormente, en cada muestra, todas las inflorescencias mayores de un cm se separaron, se contaron, pesaron y se desgranaron para determinar el RS. El índice de cosecha (IC) se calculó dividiendo el RS entre la BT producida. El peso de 1000 semillas (P1000S) se determinó contando y pesando esta cantidad y la uniformidad del color de la semilla (UCS) se midió en esta misma muestra, contando las semillas de color diferente que predomina en el cultivar

evaluado y expresando su valor como porcentaje. A todas las variables estudiadas se les hizo un análisis de varianza y en las que hubo significancia estadística (P < 0.05) se separaron las medias usando la prueba de Tukey (P = 0.05). Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las 11 variables evaluadas y se hizo un análisis de regresión entre las cuatro dosis de N y el RS de cada variedad. A partir de la ecuación cuadrática generada, se derivó el valor de la variable X (dosis de N) y a partir de esta se calculó la dosis óptima fisiológica (DOF) expresada en kg N ha⁻¹. El valor de la DOF calculado se sustituyó en la ecuación de regresión para calcular el valor de Y de cada variedad y que se relaciona con su rendimiento óptimo fisiológico (ROF) expresado en kg ha⁻¹ de semilla. Finalmente, la eficiencia de uso de N (EUN) de cada variedad se estimó mediante la Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN), calculada como EAN= (ROF-Rendimiento sin N)/DOF y su valor se expresó en kg semilla producido por kg N aplicado.

Resultados y discusión

En la **Tabla 1** y la **Figura 1** se presenta el efecto de las variedades (VARs), dosis de N (DN) y su interacción (VARs x DN) en 11 parámetros evaluados. A excepción del #PLM2, los diez parámetros restantes fueron afectados por el factor VARs (P < 0.05). El #PLM2 se asoció con el manejo agronómico del experimento y la nula significancia estadística encontrada indica que este componente del RS no influyó en los resultados. De todas las VARs estudiadas, Negra Puebla presentó la mayor diferencia fenotípica, y además de ser más tardía (112 DMF), también exhibió la LINP más corta (20 cm), el más bajo RS (1, 247 kg ha⁻¹) y su semilla fue negra en su totalidad. Estos resultados son congruentes con la descripción botánica reportada para esta variedad (Hernández y Miranda, 2008; Vera, 2012). Los cultivares Pinta, Blanca Acatic y el G-39 tuvieron valores similares de DFL (55 días), DMF (105 días), IC (0.29) y LINFP (23 cm); esto se debió a que son del mismo origen geográfico (Acatic, Jalisco, México) y están emparentados ya que tanto Blanca Acatic; como el G-39 se derivaron del 8% de la semilla blanca presente en el cultivar Pinta (Sosa et al., 2016a).

Las diferencias de comportamiento agronómico entre el G-39 y los cultivares Pinta y Blanca Acatic se asocian a que el G-39 ya está mejorado genéticamente, esto lo reflejó en su alto potencial productivo (1723 kg ha⁻¹) que fue 38, 35 y 25% mayor que el de Negra Puebla, Blanca Acatic y Pinta (1247, 1274 y 1381 kg ha⁻¹, respectivamente) (**Tabla 1**). El alto RS del G-39 se asoció con su capacidad para producir más BT (5764 kg ha⁻¹) y semillas pesadas (1, 454 mg 1000 semillas⁻¹) (**Tabla 1**); esto lo confirma la alta correlación encontrada entre el RS y los parámetros BT producida y P1000S (r= 0.62 y 0.59, respectivamente) (**Tabla 2**). Contrario al factor VARs, la fertilización con N solo afectó siete de los 11 parámetros evaluados; siendo #PLM2, DIF, IC y UCS las variables que no exhibieron significancia (**Tabla 1**). La escasa diferencia encontrada en el #PLM2 ya fue explicada anteriormente; mientras

que la nula influencia de la fertilización nitrogenada en la floración de la chía se debe a que este mecanismo fisiológico lo controla el fotoperiodo y solo florece cuando el día es menor de 12.3 horas luz (Ayerza, 2014; Sosa et

al., 2017b). El color de la semilla es un parámetro que es controlado genéticamente (Cahill y Provance, 2002) y el IC es tan uniforme (Sosa et al., 2017b) que la fertilización con N no influye en su expresión.

Tabla 1. Efecto variedades (VARs), dosis de nitrógeno (DN) y su interacción (VARs X DN) en 11 variables evaluadas en chía blanca (*Salvia hispanica* L.) cultivada en Toluca, Jalisco, México. Temporada 2016-2017.

Factor	#PLM2 #	DFL -----Días-----	DMF cm	AP cm	RS ----- kg ha ⁻¹ -----	BT	IC	P1000S Mg	LINFP cm	INFM2 #	UCS %
Variedades											
Pinta	26	55a	104a	114a	1348b	4689b	0.29a	1275b	22a	237d	87c
Blanca Acatic	25	54a	103a	111b	1273c	4690b	0.27b	1247b	22a	326a	90b
G-39	26	55a	106b	110b	1739a	5730a	0.30a	1453a	23a	289b	100a
Negra Puebla	26	59b	111b	105c	1277c	4430b	0.29a	1326a	19c	251c	100a
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>0.1</i>	<i>0.17</i>	<i>0.36</i>	<i>8.0</i>	<i>45</i>	<i>0.003</i>	<i>9.7</i>	<i>0.17</i>	<i>2.4</i>	<i>0.40</i>
Dosis de N											
0	26	56	101c	105c	995d	3633d	0.28	1293c	19d	233d	94
50	25	56	106b	108b	1271c	4374c	0.29	1312b	21c	258c	95
100	26	56	108b	112b	1752a	6005a	0.29	1333b	22b	295b	94
150	25	56	110a	115a	1620b	5533b	0.29	1362a	25a	318a	95
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>0.17</i>	<i>0.36</i>	<i>8.0</i>	<i>45</i>	<i>NS</i>	<i>9.7</i>	<i>0.17</i>	<i>2.4</i>	<i>NS</i>
Variedades x Dosis de N											
Pinta x 0N	26	55	98i	107e	1045g	4330e	0.24c	1231f	18h	211h	87
Pinta x 50N	26	55	102g	113b	1183e	4020f	0.29b	1228g	19g	234f	88
Pinta x 100N	25	55	105c	115b	1595c	5110d	0.31b	1291d	24b	249e	88
Pinta x 150N	25	55	109f	119a	1570c	5260c	0.30c	1350b	28a	254d	88
Blanca Acatic x 0N	26	54	97i	111c	897h	3390h	0.26c	1227g	21d	278c	89
Blanca Acatic x 50N	26	55	102g	110c	1193e	4590e	0.26c	1242e	22c	290b	90
Blanca Acatic x 100N	25	54	107d	111c	1597c	5630c	0.28c	1239e	23c	358a	91
Blanca Acatic x 150N	26	55	106e	112b	1404d	5110d	0.28c	1279d	23c	377a	92
G-39 x 0N	25	55	100h	102g	1090f	3580g	0.30b	1410a	20e	219h	100
G-39 x 50N	25	55	107d	105f	1567c	5090d	0.31b	1448a	23c	255d	100
G-39 x 100N	26	55	108c	113b	2209a	7630a	0.29c	1471a	23b	313b	100
G-39 x 150N	26	55	111b	119a	2091b	6630b	0.32a	1481a	25b	370a	100
Negra Puebla x 0N	25	59	109c	100h	947h	3210i	0.30b	1305d	17i	224g	100
Negra Puebla x 50N	26	59	111b	104f	1139e	3760g	0.30b	1328c	19g	252e	100
Negra Puebla x 100N	26	59	112a	107e	1608c	5630c	0.29c	1332c	20f	262d	100
Negra Puebla x 150N	25	59	113a	109d	1414d	5110d	0.28c	1340c	22c	268c	100
Media	26	56	106	110	1414	4896	0.29	1322	22	279	94
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>0.35</i>	<i>0.72</i>	<i>16.0</i>	<i>90</i>	<i>0.006</i>	<i>19.4</i>	<i>0.34</i>	<i>4.8</i>	<i>NS</i>
<i>NS = no significativo a P < 0.05. Valores con misma letra son estadísticamente iguales y con diferente presentan diferencias; DIB = inicio de botoneo; DFL = días a floración; DMF = días a madurez fisiológica; AP = altura de la planta; RS = rendimiento de semilla; BT = biomasa total; IC = índice de cosecha; P1000S = Peso de 1000 semillas.</i>											

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre nueve variables medidas en chíá cultivada en Tolimán, Jalisco, México.

Variable	DMF	AP	RS	BT	IC	P1000S	INFM2	LINFP
	-----Coeficiente de correlación (r) -----							
DFL	0.52**	-0.53**	0.19ns	-0.23ns	0.25ns	0.13ns	-0.39ns	-0.51**
DMF		0.01ns	0.50**	0.42**	0.42**	0.40**	0.42**	0.27ns
AP			0.43*	0.46**	0.06ns	0.06ns	0.31*	0.73**
RS				0.96**	0.35ns	0.59**	0.32ns	0.62**
BT					0.08ns	0.45**	0.32*	0.59**
IC						0.59**	0.09ns	0.21ns
P1000S							0.01ns	0.29*
INFM2								0.22ns

DIF = días a inicio de floración; DMF = días a madurez fisiológica; AP = altura de la planta; RS = rendimiento de semilla; BT = biomasa total; IC = índice de cosecha; P1000S = Peso 1000 semillas; INFLM2 = Inflorescencias m²; LINFP = longitud de la inflorescencia principal.

La dosis de N afectó significativamente las variables DMF, AP, RS, BT, P1000S, LINFP e INFM2; y las diferencias exhibidas por estas variables fueron función de la respuesta de las variedades a la dosis de N aplicada y que al final mejoró su productividad. Esto lo corrobora la alta correlación estimada entre el RS y los parámetros DMF, AP, BT, P1000S y LINFP ($r = 0.50, 0.43, 0.96, 0.59,$ y 0.62 , respectivamente) (**Tabla 2**). Estos resultados son congruentes con lo encontrado en canola, ajonjolí y cártamo (Kalaiselvan et al., 2001; Siddiqui y Oad, 2006; Aminpanah, 2013) donde la fertilización con N al incrementar los DMF, AP, BT, P1000S, LINFP e INFM2, indirectamente mejoró el RS. De forma general, la respuesta de los cultivares evaluados a la dosis de N aplicada fue similar y los mayores RS se obtuvieron al aplicar 100 kg N ha^{-1} (**Tabla 1**); esta dosis es 25% menor que la reportada como adecuada (125 kg N ha^{-1}) por Sena y Garófalo (2017) en Campina Grande, Brasil.

Al utilizar la dosis de 100 kg N ha^{-1} , el G-39 fue el más rendidor (2209 kg ha^{-1}); mientras que Pinta con 1595 kg ha^{-1} fue el menos productivo. A diferencia de la tendencia, la magnitud de la respuesta de los cultivares evaluados a la aplicación de 100 kg N ha^{-1} fue diferente, esto preliminarmente indica que al igual como sucede en el trigo (Ortiz-Monasterio et al., 1997), la respuesta de esta especie a la fertilización con N no puede generalizarse y debe hacerse con base en su potencial productivo el cual es función del cultivar de chíá empleado. De todas las practicas agronómicas utilizadas en la agricultura, la fertilización nitrogenada es la que más ha contribuido a incrementar el rendimiento de los cultivos (Erisman et al., 2008; Roberts, 2009) y la mejora lograda por esta vía es 50% (Collings, 1958).

Considerando que, para incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes nitrogenados, es conveniente emplearlos en combinación con cultivares de alto rendimiento (Ortiz-Monasterio et al., 1997; Sutch, 2008), en la **Tabla 1** se presenta el efecto de VARs x DNS

en 11 variables evaluadas en chíá. La interacción VARs X DN, afectó ocho de los 11 parámetros evaluados, encontrándose diferencias altamente significativas para el RS y sus componentes (BT, IC, P1000S e INFM2) ($P < 0.05$), esto al final se reflejó en un incremento de la productividad de la chíá. Esto claramente indica que al igual que como sucede con el cártamo, ajonjolí y canola (Kalaiselvan et al., 2001; Siddiqui y Oad, 2006; Aminpanah, 2013), el RS en chíá puede mejorarse mediante el uso de un cultivar rendidor a la par de una adecuada fertilización nitrogenada. Los cuatro cultivares evaluados presentaron diferente respuesta a la fertilización con N, y el mayor RS (2209 kg ha^{-1}) se obtuvo al fertilizar el G-39 con 100 kg N ha^{-1} ; en contraparte, la menor productividad se obtuvo con el cultivar Blanca Acatic sin fertilización (897 kg ha^{-1}). Estos hallazgos difieren de los que se reporta en algunos ensayos sobre fertilización nitrogenada conducidos en chíá, los cuales reportan una escasa respuesta de la chíá a la aplicación de N (Bochicchio et al., 2015 a,b).

Ante esta situación la pregunta que surge es: ¿Cuál es el mecanismo fisiológico que se asocia con la capacidad de la chíá para responder a la fertilización nitrogenada?. Para responder esta pregunta, En la **Figura 1**, se presenta la curva de respuesta a la fertilización con N que exhibieron los cuatro cultivares evaluados y en la **Tabla 3** se exhibe la dosis óptima fisiológica de N (DOF) y rendimiento óptimo fisiológico (ROF), ambos parámetros se estimaron a partir de la ecuación de regresión generada para cada cultivar (**Figura 1**). Además, la **Tabla 3** también incluye la eficiencia de uso de N estimada para cada cultivar y que se expresa con base en EAN.

Como se puede apreciar, el G-39 además de presentar el mayor ROF (2157 kg ha^{-1}), también fue el más eficiente para recuperar el N del fertilizante, y en promedio produjo 8.1 kg de semilla $\text{kg}^{-1} \text{ N}$ aplicado. La alta capacidad del G-39 para utilizar el N derivado del fertilizante se asocia con la alta uniformidad que desarrolló en seis ciclos de selección; particularmente en relación a su AP, P1000S y

Tabla 3. Dosis óptima fisiológica (DOF), rendimiento óptimo fisiológico (ROF) y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) estimada en cuatro cultivares de chíá evaluados en Tolimán, Jalisco, México.

Variedad	Ecuación de regresión	R ²	DOF	ROF	EAN
			kg N ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg semilla kg ⁻¹ N
G-39	$Y = 1044 + 16.2x - 0.059x^2$	0.94	137	2157	8.1
Negra Puebla	$Y = 900 + 9.53x - 0.039x^2$	0.81	124	1489	4.8
Blanca Acatic	$Y = 867 + 10.18x - 0.038x^2$	0.93	135	1553	5.1
Pinta	$Y = 1010 + 6.41x - 0.016x^2$	0.88	198	1643	3.2

DOF = dosis óptima fisiológica; ROF = rendimiento óptimo fisiológico; EAN = eficiencia de uso del nitrógeno. EAN = (ROF-rendimiento sin N)/DOF.

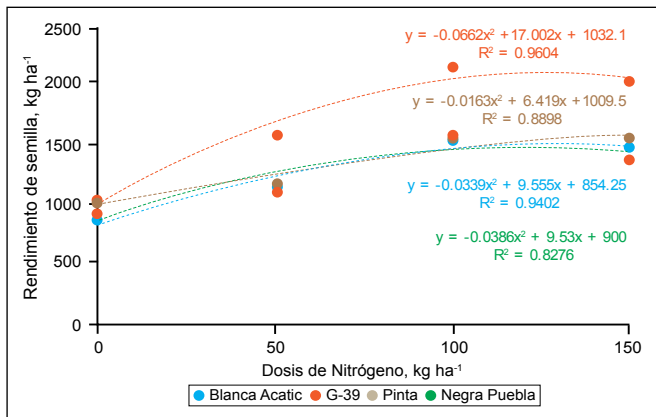


Figura 1. Efecto de la interacción variedad*dosis de N en el rendimiento de semilla de chíá cultivada en Tolimán, Jalisco, México.

DMF, esto le permitió expresar menor competencia entre plantas y usar más eficiente el agua luz y nutrientes. En contraparte, Pinta, aunque fue la segunda mejor variedad (ROF = 1643 kg ha⁻¹), fue la menos eficiente en el uso de N y produjo 3.2 kg de semilla kg⁻¹ N aplicado. La baja EAN de Pinta posiblemente se debió a la heterogeneidad de su población ya que este cultivar es una mezcla de genotipos homocigóticos de semilla blanca, negra e híbridos que resultan de su polinización cruzada (22%) (Hernández et al., 2008). Bajo este contexto, el bajo RS exhibido por las variedades Negra Puebla, Blanca Acatic y Pinta (sin mejora genética) podría ser resultado de la selección para alta competitividad que indirectamente ha ocurrido por la plasticidad que, de acuerdo con Sosa et al. (2017b), presenta esta especie. En la siembra de chíá se utilizan 4 kg ha⁻¹ de semilla, esto da una densidad de siembra 333 semillas m⁻² y al menos 150 pl m⁻² como población final (50% emergencia). Considerando que esta densidad de población es cuatro veces mayor que requerida para obtener altos RS (Yeboah et al., 2014; Montes et al., 2016), es un hecho que las plantas que finalmente producen semilla (25 en promedio) son las más competitivas. No existen variedades registradas de chíá, de ahí que al igual que como ocurre con las variedades de maíz criollo, es posible que los productores estén utilizando semilla de chíá proveniente de plantas altamente competitivas como individuos; pero de baja productividad como población. Donald (1968) demostró que la uniformidad genética y la débil competitividad son clave para que un

cultivo responda a la fertilización, bajo este contexto, la mayoría de los mejoradores se basan en el concepto del débil competidor para desarrollar cultivares de alto rendimiento y el cultivar de chíá G-39 no es la excepción. Este es el primer estudio en donde se ha evaluado la respuesta de la chíá a la fertilización nitrogenada y los resultados obtenidos claramente sugieren que además de requerirse desarrollar cultivares rendidores, también se requiere generar normas de fertilización que aseguren su adecuada nutrición con macro y micronutrientes, ya que al igual como sucede en otros cultivos el uso una variedad rendidora a la par de una adecuada fertilización es la clave para mejorar el rendimiento de los cultivos.

Conclusiones

El uso de variedades de alto RS y la fertilización con N son dos prácticas agronómicas que ayudan a mejorar el RS en chíá. El mayor RS (2209 kg ha⁻¹) se obtuvo al fertilizar el cultivar G-39 con 100 kg N ha⁻¹; en contraparte, la menor productividad se logró con el cultivar Pinta Acatic sin fertilización (897 kg ha⁻¹). Las variedades de chíá que actualmente se cultivan en México (Pinta, Negra Puebla y Blanca Acatic) son menos productivas, presentan baja respuesta al N y son menos eficientes en su uso que el cultivar de alto rendimiento G-39, recientemente desarrollado en México. El alto potencial de rendimiento del G-39 se asocia con su alta uniformidad obtenida después de seis ciclos de selección, especialmente la asociada con variables como P1000S, AP y DMF.

Bibliografía

- Aminpanah, H. 2013. Effect of nitrogen rate on seed yield, protein and oil content of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Acta Agriculturae Slovenica*. 101(2):183-190.
- 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 of Food and Agriculture* 28 (3):196-100.
- Ayerza, R. 2014. Chia flowering season prediction using day length data of 11 selected locations. *Rev Ind Agríc Tucumán*. 91(1):33-35.
- Ayerza, R., y W. Coates. 2009. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Ind Crops and Products*. 30:321-324.

- Baginsky, C.J., H. Arenas, M. Escobar, N. Garrido, D. Valero, L. Tello, A. Pizarro, L. Valenzuela, L. Morales, y H. Silva. 2016. Growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 76(3):255-264.
- Bell, M.A., R.A. Fischer, D. Byerlee, y Y K. Sayre. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. *Field Crops Research*. 44(2-3):55-65.
- Boaretto, A.E., T. Muraoka y P. Trevelin. 2007. Uso eficiente de Nitrógeno de los fertilizantes convencionales. *Informaciones Agronómicas*. 120:13-14.
- Cahill, J.P., y M.C. Provance. 2002. Genetics of qualitative traits in domesticated chia (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Heredity*. 93:52-55.
- Cassiday, L. 2017. Chia: superfood or superfat. *INFORM*. 28(1):6-13.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo Agronómico*. 11:13-16.
- Collings, G.H. 1958. Fertilizantes comerciales, sus fuentes y usos. Versión española traducida por Sánchez B.E. Salvat editores S.A. D.F., México.
- Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotype. *Euphytica*. 17:385-403.
- Erismán, J.W., A.J. Galloway, S.M. Sutton, Z. Klimont, y W. Winiwater. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat Geosci* 1:636-639.
- Furlan, de F.T., B.B. Rissato, A.L. Müller, D.B. Brustolin, S. Coltro-Roncato, O.D. Forlin, M. Dildey, G. Peixoto de Freitas, y H.F. Constâncio Mendonça. 2016. Development and production of chia (*Salvia hispanica* L.) in different space arrangements. *African Journal of Agricultural Research*. 11(43):4384-4388.
- Hernández, G.A.J., y S. Miranda-Colín. 2008. Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispanica* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31:105-113.
- Hernández, G.A.J., S. Miranda-Colín, y A. Peña-Lomelí. 2008. Cruzamiento natural de chíá (*Salvia hispanica* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3):331-337.
- Jamboonsri, W., T.D. Phillips, R.L. Geneve, J.P. Cahill, y D.F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop (*Salvia hispanica* L.) – a new omega3 source. *Gen. Resour. Crop Evol.* 59:171-178.
- Kalaiselvan, P., K. Subrahmanian, y N.T. Balasubramanian. 2001. Effect of nitrogen on the growth and yield of sesame - a review. *Agric Rev* 22(2):137-140.
- Keththaisong, D., K. Woravittayakit, y K. Lertrat. 2016. Growth and yield potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.) in Thailand. www.natres.psu.ac.th/nhc15/abstract_download/OV01221.pdf
- Montes, HS, MG Escutia-Ponce, GM Camarena-Hernández, A. Martínez-Lopez, A. Calderón-Ruiz. 2016. Influencia de la densidad de siembra en chíá. XXIX Reunión Científica y Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz.
- Orona-Tamayo, L.D., M.E. Valverde, y O. Paredes-Lopez. 2017. Chia-the new Golden seed for the 21st century: nutraceutical properties and technological uses. Chapter 17. Sustainable protein sources. Elsevier inc. DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00017-2.
- Ortiz-Monasterio, J.I., K.D. Sayre, S. Rajaram, y M. McMahon. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four N rates. *Crop Science*. 37(3):898-904.
- Peperkamp, M. 2015. CBI Tailored Intelligence: chia from Bolivia 'a modern super seed in a classic pork cycle?. CBI Ministry of Foreign Affairs. The Hague, Netherlands. 16 p.
- Roberts, T.L. 2009. The Role of Fertilizer in Growing the World's Food. *Better Crops*. 9(2):12-15.
- Rulfo, J.M. 1937. La chíá. *Agricultura*. 1:28-37.
- Sena, S.R., y L.E. Garófalo-Chavez. 2017. Initial growth of chia (*Salvia hispanica* L.) submitted to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *AJCS* 11(05):610-615
- Siddiqui, H.M., y F.C. Oad. 2006. Nitrogen requirements of safflower (*Carthamus tinctorius*) for growth and yield traits. *Asian J of Plant Sciences*. 5(3):563-565.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, J. Rana, G. Gordillo-Sobrino, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2017a. Fecha de siembra: un método para evadir el ataque de *Diabrotica speciosa* Germar, 1824 (COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE) y aumentar el rendimiento de semilla en chíá (*Salvia hispanica* L.). *Entomología Mexicana*. pp. 277-284.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, J. Rana, G. Gordillo-Sobrino, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2017b. *Diabrotica* una plaga de importancia económica para la producción de chíá (*Salvia hispanica* L.) en Jalisco México. *El Jornalero*. 77:100-110.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, R.R. Robles-de la Torre, G. Gordillo-Sobrino, M. Sharma, y X. Liu. 2017c. La chíá mexicana (*Salvia hispanica* L.): su historia e importancia como cultivo mundial. In: R. Jarquin-Galvez y A. Huerta-de la Peña (Eds.). *La agricultura sostenible como base para los agronegocios*. Primera edición. SOMAS. pp. 1504-1555.
- Sosa A., G. Ruiz, J. Rana. G. Gordillo, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2016a. Chia crop (*Salvia hispanica* L.): its history and importance as a source of polyunsaturated fatty acids omega-3 around the world: a review. *J Crop Res Fertilizer*. 1:104:1-9.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, S. Miranda-Colín, G. Gordillo-Sobrino, H. West, X. Liu, y A. Mendoza-Gómez. 2016b. Plant traits related to seed yield and their heritability on white chia (*Salvia hispanica* L.). *Acta Fitogenética*. 3:32.
- Sutch, R.C. 2008. Henry Agard Wallace, the Iowa corn yield tests, and the adoption of hybrid corn. Working Paper 14141. National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w14141>
- Valle, S.R.O. 2016. Rendimiento y características agronómicas del cultivo de la chíá (*Salvia hispanica* L.) en la localidad de Buena Vista Saltillo Coahuila. Tesis de Licenciatura en producción. UNAAN. Saltillo Coahuila, México.
- Vera, M.G. 2012. Capital social y empresa rural, una visión regional desde México: el caso de una empresa productora de chíá orgánica Nueva Antropología. 25(77):15-30.
- Yeboah, S., E.D. Owusu, L.N.J. Lamptey, B.M. Mochiah, S. Lamptey, P. Oteng-Darko, P.I. Adama, Z. Appiah-Kubi, y K. Agyeman. 2014. Influence of planting methods and density of performance of chia (*Salvia hispanica* L.) and its suitability as an oilseed plant. *Agricultural Science*. 2(4):14-26.