



## Variaciones en el contenido de proteína, lípidos y ácidos grasos de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) producida comercialmente en Ecuador

Variations in the protein, lipid and fatty acid content of the commercial chia seed (*Salvia hispanica* L.) produced in Ecuador

**Autor:** Ricardo Ayerza (h)<sup>1</sup>

**Autor para correspondencia:** [rayerza@newcrops.org](mailto:rayerza@newcrops.org)

Recibido: 2019-05-23

Aceptado: 2019-11-25

### Resumen

El objetivo fue determinar las variaciones en los contenidos de proteína, lípidos y composición de ácidos grasos de las semillas de chía producidas comercialmente en seis sitios de los ecosistemas de los Valles Interandinos (Altos y Bajos), Selva Lluviosa Pluviestacional y Bosque Seco Tropical, del Ecuador. El contenido de proteína fue más alto ( $p < 0,05$ ) en las semillas de Bosque de Oro (24,78%) y El Azúcar (24,35%) que las de los otros cuatro sitios, y sin diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre ellos. Las semillas de Bosque de Oro (34,90%) y San Pablo presentaron el más alto contenido de lípidos, aunque sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las de Salinas (32,65%) y Patate (31,97%). Las semillas originadas en Salinas presentaron el mayor ( $p < 0,05$ ) contenido de  $\alpha$ -linolénico (66,75%), seguido por las de Patate (63,93%), Guayllabamba (63,57%), Bosque de Oro (63,53%) y San Pablo (62,70%). El ácido graso  $\alpha$ -linolénico presentó una alta relación negativa con los ácidos grasos palmítico ( $R^2 = 0,797$ ;  $p < 0,001$ ), linoleico ( $R^2 = 0,862$ ;  $p < 0,001$ ), y oleico ( $R^2 = 0,767$ ;  $p < 0,001$ ).

**Palabras clave:** aceite; ácidos grasos; chía; Ecuador; *Salvia hispanica* L.

### Abstract

The objective was to determine the variations in the protein content, lipids and fatty acids composition of the chia seeds commercially produced in six locations

<sup>1</sup> Associate in Arid Lands, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. Dirección actual: La Rinconada, Santa Elena, Ecuador.

of the Inter-Andean Valley (Low and high), Rainforest and Tropical Dry Forest ecosystems of Ecuador. The protein content was higher ( $p < 0.05$ ) in the seeds from Bosque de Oro (24.78%) and El Azúcar (24.35%) than those originated in the other four locations and without significant differences ( $p < 0.05$ ) between them. The seeds of Bosque de Oro (34.90%) and San Pablo had the highest lipid content, although without significant differences ( $p < 0.05$ ) with those of Salinas (32.65%) and Patate (31.97%). The seeds originated in Salinas had the highest ( $p < 0.05$ ) content of  $\alpha$ -linolenic (66.75%), followed by those of Patate (63.93%), Guayllabamba (63.57%), Bosque de Oro (63.53%) and San Pablo (62.70%). The  $\alpha$ -linolenic fatty acid showed a high negative relationship with palmitic fatty acids ( $R^2 = 0.797$ ;  $p < 0.001$ ), linoleic ( $R^2 = 0.862$ ;  $p < 0.001$ ), and oleic ( $R^2 = 0.767$ ;  $p < 0.001$ ).

**Keywords:** *chia; Ecuador; fatty acids; oil; Salvia hispanica L.*

## Introducción

La chía es una planta herbácea anual que pertenece a la familia de las *Lamiaceae*. La importancia de esta especie está dada porque produce un aceite con el mayor contenido conocido en la naturaleza de ácido graso  $\omega$ -3- $\alpha$ -linolénico. Últimamente, la semilla de la chía ha adquirido notoria importancia para la salud y la nutrición debido a que su contenido de ácidos grasos omega-3 disminuyen las enfermedades cardiovasculares (Sierra *et al.*, 2015; Vuksan *et al.*, 2007).

En los humanos su ingestión mejora el perfil de sus ácidos grasos, disminuyendo el contenido de saturados, elevando el de los  $\omega$ -3, y disminuyendo la relación  $\omega$ -6: $\omega$ -3, poniéndolos de acuerdo a los niveles recomendados por la medicina para reducir el riesgo de sufrir una enfermedad cardiovascular (Simopoulos, 2002).

Si bien hay indicios de que la chía fue introducida en la zona andina del Ecuador como resultado del comercio entre las costas ecuatoriana y mesoamericana en la era precolombina, no las hay sobre que haya sido cultivada en escala como para trascender en la alimentación de los antiguos ecuatorianos). En el año 2005 la chía fue introducida en Ecuador desde Argentina con el fin de reproducirla comercialmente como alternativa de diversificación en la agricultura tradicional (Ayerza, 2019<sup>a</sup>).

Inicialmente se la sembró en parcelas experimentales y luego en superficies comerciales, en los ecosistemas del Valle Alto Interandino, Valle Bajo Interandino, la Selva Lluviosa Pluviestacional y el Bosque Seco Tropical. En poco tiempo se expandió su cultivo en estos ecosistemas y Ecuador comenzó la exportación de estas semillas a los EE.UU., Australia y la Unión Europea (Ayerza, 2019<sup>a</sup>; Ministry of Foreign Affairs, 2017). Hoy día su consumo también se halla ampliamente difundido internamente.

Se ha demostrado la influencia que tienen los ecosistemas en la composición química de numerosas especies (Mohammed *et al.*, 1987; Vollmann *et al.*,

2007), incluso en semillas de chía producida en diversos ecosistemas de Sudamérica (Ayerza, 2019<sup>a</sup>). En Ecuador se compararon estas variaciones como resultado de las interacciones entre genotipos y ecosistemas en parcelas experimentales mono varietales (Ayerza, 2011/13), pero no hay comparaciones entre semillas comerciales de las distintas áreas ecológicas de producción. La producción comercial no se hace mono varietal, si no que se multiplican los genotipos mezclados donde Iztac y Tzotzol constituyen la mayoría (97%) bajo la denominación de Población Acatic (Ayerza, 2019<sup>b</sup>).

El objetivo de este trabajo fue determinar las variaciones en los contenidos de proteína, aceite y composición de ácidos grasos de las semillas de chía producidas comercialmente en seis sitios de los ecosistemas del Valle Alto Interandino, Valle Bajo Interandino, Selva Lluviosa Pluviestacional y Bosque Seco Tropical, donde se concentra prácticamente el total del área sembrada en el Ecuador.

## **Materiales y métodos**

**Muestras.** El estudio fue realizado utilizando semillas de chía cultivadas comercialmente (poli varietales) en seis sitios de cuatro ecosistemas distintos): Bosque Tropical Seco (un sitio), Valle Bajo Interandino (un sitio), Valle Alto Interandino (tres sitios) y Selva Lluviosa Pluviestacional (un sitio), Tabla 1. Para las muestras se seleccionaron zonas comerciales representativas ubicadas dentro de los cuatro ecosistemas en donde se cultiva la chía, que coinciden con las áreas donde se introdujo la chía y se establecieron las primeras parcelas experimentales mono varietales. Para las muestras de Patate, Guayllabamba y Salinas de Ibarra se utilizaron los datos poli varietales tomados para el experimento de Ayerza & Coates (2009<sup>a</sup>). La semilla recolectada fue almacenada en bolsas de 25 kilogramos y se tomaron muestras en forma aleatoria siguiendo las instrucciones para muestreo de semillas de la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (Canadian Food Inspection Agency - CFIA, 2008).

**Análisis químicos.** El nitrógeno crudo de las 36 muestras de semillas de chía se determinó con el método micro-Kjeldahl estándar y luego se convirtió a contenido de proteína utilizando un factor de conversión de 5,71 (AOAC, 1995). Los lípidos de las muestras se extrajeron de acuerdo con el método descrito por Folch *et al.* (1957). El total de los lípidos fue convertido en ésteres metílicos de ácidos grasos utilizando el método IRAM 5-560II, que es equivalente al ítem seis del método ISO 55091978. Los ésteres metílicos de ácidos grasos fueron separados y cuantificados con un cromatógrafo de gases automatizado (CG Modelo 6890, Hewlett Packard Co., Wilmington, DE, EEUU) equipado con detectores de ionización de llama y una columna capilar de 30 m 9 530-lm de d.i. (modelo HP-FFAP Fase de ácidos grasos libres; Hewlett Packard Co., Wilmington, DE, USA). Las temperaturas para el horno, el inyector y el detector se programaron en 180, 290 y 330 °C, respectivamente. La composición de ácidos grasos de cada muestra se determinó integrando los picos registrados

con el software ChemStation de Hewlett-Packard. Los resultados fueron expresados como porcentaje del total de ácidos grasos.

Análisis estadísticos. El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorio, con seis tratamientos y seis repeticiones. Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para los contenidos de proteína, aceite, y ácidos grasos individuales. Cuando el valor de F resultó significativo ( $P < 0,05$ ), las medias fueron separadas utilizando la prueba de Rangos Múltiples de Duncan (Cohort, 2006). Además, se realizaron análisis de correlación y regresión para determinar la relación entre el ácido graso  $\alpha$ -linolénico, y el linoleico, el oleico y el palmítico; y entre la temperatura media y la duración del ciclo de producción (Cohort, 2006).

Tabla 1. Localización de los seis sitios de Ecuador donde se sembró y colectó la semilla de chía.

Localidad	Provincia	Ecosistema	Latitud	Temp. Ciclo Elevación		
				<sup>1</sup> (°C)	<sup>2</sup> (días)	ón (m)
El Azúcar	Santa Elena	Bosque Seco <sup>a</sup>	Tropical 02E18N 000 S.	26,5	105	48
Salinas Ibarra	de Imbabura	Valle Interandino <sup>a</sup>	Bajo 00E29N 470 N.	16	125	1.621
San P. Atenas	de Bolívar	Valle Interandino <sup>b</sup>	Alto 01E47N 900 S.	13	135	2.410
Patate	Tungurahua	Valle Interandino <sup>a</sup>	Alto 01E18N 500 S.	14	130	2.042
Bosque Oro	de Los Ríos	Selva Pluvies. <sup>b</sup>	Lluviosa 01E33N 050 S.	24,8	110	125
Guayllabamba	Pichincha	Valle Interandino <sup>a</sup>	Alto 00E03N 260 S.	14	135	2.200

<sup>1</sup> temperatura media durante el ciclo de producción; <sup>2</sup> duración del cultivo; <sup>a</sup> con riego; <sup>b</sup> sin riego.

## Resultados

En la Tabla 2 se pueden ver los contenidos de proteína, lípidos y ácidos grasos de las semillas de chía sembradas en las seis localidades de los cuatro ecosistemas analizados. El contenido de proteína, como porcentaje del peso de la semilla fue significativamente ( $p < 0,05$ ) más alto en las semillas provenientes de Bosque de Oro (24,78%) y El Azúcar (24,35%) que las originadas en los otros cuatro sitios, y sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellos, seguidos en

forma decreciente y significativa ( $p < 0,05$ ) por los contenidos de las semillas de Salinas de Ibarra (20,60%), Patate (14,90%) y Guayllabamba (12,35%).

Tabla 2. Contenidos de proteína y aceite y composición de ácidos grasos

Localidad <sup>1</sup>	Proteína % <sup>4</sup>	Ácidos grasos						
		16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	$\omega$ -6: $\omega$ -3	18:3
		% del total de ácidos grasos					Relación gr/kg <sup>5</sup>	
Patate	14,90 <sup>c2</sup>	6,45 <sup>b</sup>	3,68 <sup>a</sup>	6,93 <sup>b</sup>	17,37 <sup>c</sup>	63,93 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	204,18 <sup>ab</sup>
		31,97 <sup>ab</sup>						
Guayllabamba	12,35 <sup>d</sup>	29,78 <sup>b</sup>	6,43 <sup>b</sup>	3,46 <sup>a</sup>	6,77 <sup>b</sup>	17,97 <sup>bc</sup>	63,57 <sup>b</sup>	189,27 <sup>b</sup>
Salinas de Ibarra	20,60 <sup>b</sup>	6,31 <sup>b</sup>	4,09 <sup>a</sup>	6,07 <sup>b</sup>	15,65 <sup>d</sup>	66,75 <sup>a</sup>	0,23 <sup>c</sup>	217,91 <sup>a</sup>
		32,65 <sup>ab</sup>						
San Pablo	s/d	34,62 <sup>a</sup>	5,93 <sup>b</sup>	3,23 <sup>a</sup>	8,62 <sup>a</sup>	18,55 <sup>b</sup>	62,70 <sup>b</sup>	217,08 <sup>a</sup>
El Azúcar	24,35 <sup>a</sup>	26,95 <sup>c</sup>	9,11 <sup>a</sup>	4,09 <sup>a</sup>	8,94 <sup>a</sup>	20,17 <sup>a</sup>	57,03 <sup>c</sup>	153,49 <sup>c</sup>
Bosque de Oro	24,78 <sup>a</sup>	34,90 <sup>a</sup>	6,65 <sup>b</sup>	3,73 <sup>a</sup>	6,93 <sup>b</sup>	17,92 <sup>bc</sup>	63,53 <sup>b</sup>	221,69 <sup>a</sup>
LSD <sup>3</sup>	1,906	2,818	1,043	0,926	0,961	0,735	2,812	0,028
		18,539						

<sup>1</sup> seis repeticiones/localidad; <sup>2</sup> medias en una misma columna con igual letra no son estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) de acuerdo con el test de Rangos Múltiples de Duncan; <sup>3</sup> diferencia mínima significativa para el test de Rangos Múltiples de Duncan; <sup>4</sup> % del peso de la semilla; <sup>5</sup> gr/kg de semilla; s/d: sin datos.

Las semillas colectadas en Bosque de Oro (34,90%) y San Pablo presentaron el más alto contenido de lípidos (Tabla 2), aunque sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las de Salinas de Ibarra (32,65%) y Patate (31,97%), quienes a su vez tampoco presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las de Guayllabamba (29,78%); las semillas recolectadas en El Azúcar, con un contenido de 26,95% del peso de la semilla tuvieron el significativamente ( $p < 0,05$ ) menor contenido.

En todas las semillas los contenidos de ácidos grasos siguieron la siguiente escala:  $\alpha$ -linolénico > linoleico > oleico > palmítico > esteárico. También se detectaron en cantidades ínfimas la presencia de los ácidos grasos mirístico (C14:0), margárico (C17:0), araquídico (C20:0), gadoleico (C20:1), behénico (C22:0), erúcico (C22:1), y lignocérico (C24:0). Así también en algunos de las muestras se detectaron trazas de los ácidos grasos pentadecanoico (C15:0), palmitoleico (C16:1), cis-vaccénico (C18:1,  $\omega$ -7), y  $\gamma$ -linolénico (C18:3,  $\omega$ -6). Sin embargo, dada que su presencia era en cantidades ínfimas o sólo trazas, estos dos últimos grupos de ácidos grasos no fueron considerados en el análisis de los resultados obtenidos en el trabajo.

Los contenidos de ácidos grasos saturados, palmítico y esteárico, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), excepto en el ácido graso palmítico de las semillas de El Azúcar que fue significativamente

( $p < 0,05$ ) más alto que el de las de los otros cinco orígenes. El ácido graso mono insaturado oleico presentó el mayor contenido en las semillas originadas en El Azúcar (8,94%) y San Pablo (8,62%), sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas, pero sí con el resto, que a su vez no las tuvieron entre ellos. El máximo contenido de ácido graso poliinsaturado  $\omega$ -6-linoleico se obtuvo en las semillas de El Azúcar (20,17%), resultando significativamente ( $p < 0,05$ ) diferente a las de San Pablo (18,55%), Guayllabamba (17,97%) y Bosque de Oro (17,92%), a su vez estas dos últimas no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las de Patate (17,37%); el menor contenido, significativamente ( $p < 0,05$ ) diferente a todas las demás lo presentaron las semillas de Salinas de Ibarra (15,65%) (Tabla 2).

Respecto del contenido del ácido graso poliinsaturado  $\omega$ -3- $\alpha$ -linolénico, el más importante, las semillas originadas en Salinas de Ibarra presentaron el significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor contenido (66,75%), seguido por el de las semillas obtenidas en Patate (63,93%), Guayllabamba (63,57%), Bosque de Oro (63,53%) y San Pablo (62,70%), quienes no tuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas, pero sí las tuvieron comparadas con las de El Azúcar cuyo menor contenido se determinó en 57,03% (Tabla 2).

La relación  $\omega$ -6: $\omega$ -3 fue significativamente ( $p < 0,05$ ) más alta en las semillas de El Azúcar (0,36) que en las de San Pablo (0,29), Guayllabamba (0,28), y Bosque de Oro (0,28), y Patate (0,27), sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas, quienes a su vez presentaron contenidos significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores a las de Salinas de Ibarra (0,23) (Tabla 2).

Tomando en cuenta el contenido del ácido graso  $\alpha$ -linolénico medido en gr. de ácido graso por kg. de semilla fue mayor, sin diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las semillas de Bosque de Oro (221,69 gr/kg), Salinas de Ibarra (217,91 gr/kg), San Pablo (217,08 gr/kg) y Patate (204,18 gr/kg); esta última no tuvo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con el de Guayllabamba (189,17 gr/kg), cuyo contenido a su vez fue significativamente ( $p < 0,05$ ) más alto que el de El Azúcar (153,49 gr/kg), que presentó el menor contenido del experimento (Tabla 2).

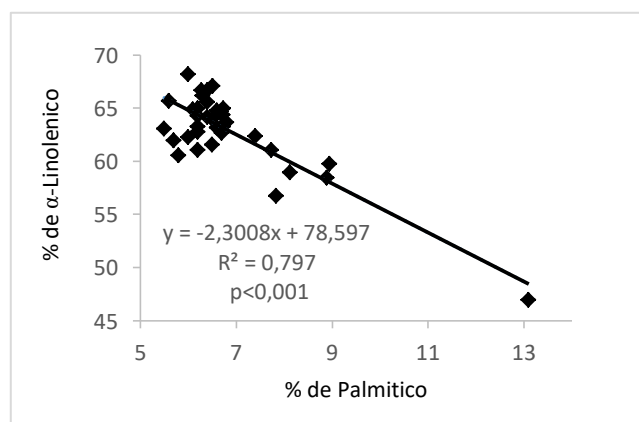


Figura 1. Relación entre los ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico y palmítico

En las Figuras 1, 2 y 3 se ve que el ácido graso  $\alpha$ -linolénico presentó una alta relación negativa con los ácidos grasos palmítico ( $R^2 = 0,797$ ;  $p < 0,001$ ), linoleico ( $R^2 = 0,862$ ;  $p < 0,001$ ), y oleico ( $R^2 = 0,767$ ;  $p < 0,001$ ).

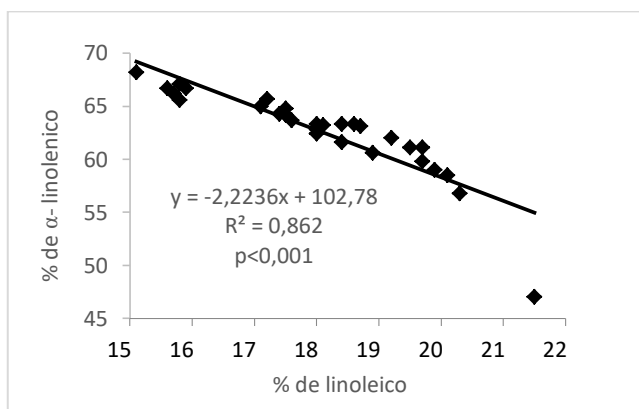


Figura 2. Relación entre los ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico y linoleico

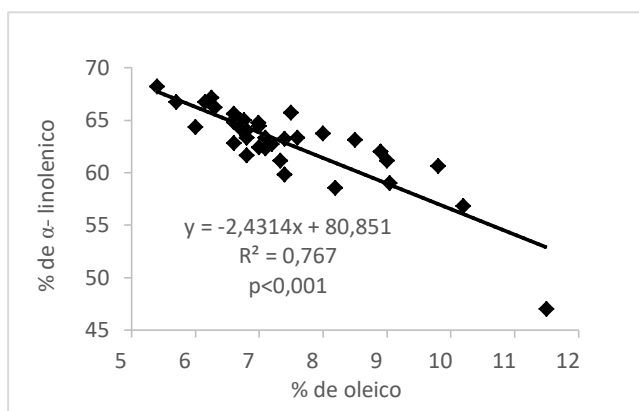


Figura 3. Relación entre los ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico y oleico

La duración del ciclo de producción del cultivo y la temperatura media imperante durante el mismo presentaron una muy alta relación negativa ( $R^2 = 0,987$ ;  $p < 0,001$ ).

## Discusión

La gran mayoría de la semilla comercial ecuatoriana actual pertenece a la denominada población Acatic, la cual es una mezcla esencialmente de los genotipos Iztac y Tzotzol (Ayerza, 2019<sup>a</sup>).

La ubicación geográfica de Ecuador, permite el cumplimiento de los requerimientos de floración de la chía en todo su territorio y sus múltiples pisos altitudinales ofrecen diversos ecosistemas con aptitud para su cultivo. Este trabajo determina la influencia que los ecosistemas ejercen sobre los contenidos de proteínas, aceite, composición de ácidos grasos de la semilla y duración del ciclo del cultivo en las áreas de producción comercial de la chía en el Ecuador (Tablas 1 y 2).

El mayor contenido de proteína obtenido en las semillas de El Azúcar y Bosque de Oro, comparado con el de los otros cuatro orígenes está respaldado por el efecto positivo que producen las altas temperaturas sobre su contenido. El Azúcar y Bosque de Oro presentaron las más altas temperaturas del experimento (Tabla 1). Este efecto ya ha sido reportado en chía y otras especies oleaginosas como moringa (*Moringa oleifera* Lam.) y soya (*Glycine max* (L.) Merr.) (Ayerza, 2019<sup>b</sup>; Vollmann *et al.*, 2000).

La harina que queda luego de la extracción del aceite, representa un concentrado proteico de gran calidad debido a su completo contenido de aminoácidos indispensables para la nutrición humana (Ayerza, 2013; Fernández *et al.*, 2006). Esto significa un beneficio comercial adicional para las semillas originadas en El Azúcar y Bosque de Oro debido a sus altos contenidos proteicos, sobre las semillas de los otros cuatro sitios (Tabla 2).

La generalización de que el contenido de aceite aumenta con la disminución de la temperatura y por el contrario, disminuye con su incremento, explica el significativamente ( $p < 0,05$ ) menor contenido de aceite presentado por las semillas colectadas en El Azúcar, respecto de los otros cinco sitios (Tabla 2).

Siendo la principal razón de su cultivo la obtención del ácido graso  $\alpha$ -linolénico, la localidad de Salinas de Ibarra, en el ecosistema del Valle Bajo Interandino se destaca como la más eficiente con un contenido respectivamente mayor de 4,2% - 4,8% - 4,8% - 6,1% y 14,6% que las provenientes de Patate, Guayllabamba, Bosque de Oro, San Pablo y El Azúcar.

El contenido de ácido graso  $\alpha$ -linolénico determinado en los seis sitios de este experimento se hallan dentro del rango de 67,8% - 54,8% reportados previamente en distintos países (Ayerza & Coates, 2008). Salinas de Ibarra con 66,75% resulta superior a los mayores contenidos reportados en semillas producidas en otros ecosistemas Sudamericanos como el Desierto de Atacama (Perú) 64,20%, Chaco Semiárido (Argentina) 63,45%, Chaco Árido (Argentina), 62,4%, Campo Cerrado (Paraguay) 59%, y Chaco Subhúmedo (Bolivia) 58,5%. Estos cuatro países concentran la mayor producción y exportación de semilla de chía del mundo (Ayerza, 1995, 2013/19<sup>a</sup>).

El significativamente ( $p < 0,05$ ) más bajo contenido del ácido graso  $\alpha$ -linolénico obtenido en las semillas de El Azúcar (57,03%), en el ecosistema del Bosque Seco Tropical, está en concordancia con los reportados para las producidas en los ecosistemas Selva de las Yungas, Argentina con 54,8% y Valle Tropical, Colombia con 58,4% (Ayerza & Coates, 2004/08). En Sudamérica, estos tres ecosistemas son los que han demostrado tener las temperaturas más altas durante la formación de la semilla de la chía. Si bien se han reportado excepciones, las altas temperaturas han sido relacionadas con una tendencia a la disminución en el grado de insaturación del aceite de varias especies como la moringa, la vernonia (*Vernonia galamensis* L.), el chan (*Hyptis suaveolans* (L.) Poits.), la jjoba (*Simmondsia chinensis* (Link.) Schneider) e incluso la chía (Ayerza, 2001/11/19<sup>a,b</sup>). Contrariamente, el aumento en la temperatura tiende



a incrementar el nivel de saturación del aceite, como es el caso del ácido graso palmítico en las semillas producidas en El Azúcar (Tabla 2), también reportado en otras semillas como la soya (Carver *et al.*, 1986).

Sin embargo, la falta de diferencias significativas entre los contenidos de los ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico y palmítico entre los aceites de las semillas provenientes de Patate, Guayllabamba, y San Pablo con el de las de Bosque de Oro no responden a esta generalización y no pueden ser totalmente explicadas por la relación negativa entre temperatura media y nivel de desaturación de los ácidos grasos. Esta relación puede ser afectada por diversos factores como la frecuencia y duración entre las temperaturas máximas y mínimas extremas de cada sitio (y que no se analizaron en este experimento), como fue reportado por Ayerza (2019<sup>a</sup>), y que por tanto pueden haber interferido en este caso. Esta falta de incremento en la desaturación del aceite con la disminución de la temperatura debido a la elevación del terreno de producción, también fue reportado en dos especies del género *Lesquerella* (*Lesquerella fendleri* (Gray) Wats. y *L. pallida* (Torr. & Gray) Wats) en Arizona, EE.UU. (Dierig *et al.*, 2006).

La elongación y la desaturación de los ácidos grasos están administrados por el sistema conformado por enzimas específicas para cada transformación, las cuales están reguladas por las temperaturas; la elongación es un importante camino alternativo para la producción de ácidos grasos (Garba *et al.*, 2017). En la Figura 1 vemos la fuerte relación negativa entre el ácido graso saturado y el  $\alpha$ -linolénico, el cual es un camino alternativo de elongación y desaturación (Harwood, 2019).

La consistente relación negativa encontrada en este trabajo entre el ácido graso  $\alpha$ -linolénico con el de los otros dos ácidos grasos C:18 menos insaturados linoleico y oleico (Figuras 2 y 3), se basa en el hecho de que la biosíntesis del ácido graso  $\alpha$ -linolénico en la chía ocurre esencialmente a través del proceso de desaturación del ácido graso oleico vía el ácido graso linoleico, por acción de las enzimas desaturasas FAD3, FAD7 y FAD8 (Xue *et al.*, 2018). Los datos de la Figuras 3 y 4 son consecuentes con los obtenidos utilizando semillas de un trabajo comparativo realizado en Paraguay (Campo Cerrado), Ecuador (Selva Lluviosa Pluviestacional) y Bolivia (Chaco Subhúmedo) donde las relaciones fueron prácticamente perfectas, negativas y significativas estadísticamente para el ácido graso  $\alpha$ -linolénico respecto del linoleico ( $R^2 = 0,993$ ,  $p < 0,001$ ) y del oleico ( $R^2 = 0,994$ ,  $p < 0,001$ ) (Ayerza, 2013).

Se ha detectado que un valor elevado de la relación de los ácidos grasos  $\omega$ -6: $\omega$ -3 en la dieta es un factor independiente de riesgo de enfermedad coronaria, y una forma de reducir dicho riesgo es mantener esa relación lo más baja posible; el ideal es que la relación se mantenga en 1:1 estando en la actualidad entre 15-12:1 (Simopoulos, 2003). Las dietas occidentales no proveen estas bajas relaciones, principalmente por sus contenidos elevados de ácidos grasos  $\omega$ -6, habiéndose demostrado que los eicosanoides formados por los ácidos grasos  $\omega$ -6 son activos en muy pequeñas cantidades, y en grandes contribuyen a la formación de trombos y ateromas (Simopoulos, 2008).

La relación  $\omega$ -6: $\omega$ -3 de las semillas de Salinas de Ibarra, de entre 14,8% y 36% inferior al del resto de las semillas cultivadas en Ecuador, podría comparativamente indicar, para las semillas de este origen, que proveerían un beneficio adicional para la salud.

Los contenidos de proteína, lípidos y ácidos grasos aquí determinados difieren de los reportados en otros experimentos realizados en varios de los mismos ecosistemas de Ecuador (Ayerza, 2011; Ayerza & Coates, 2009<sup>a,b</sup>). Estos últimos fueron mono varietales y no representan los valores correspondientes a la semilla comercial producida en los distintos ecosistemas donde se produce esta especie en el Ecuador, como es el caso de este trabajo. La utilización de semillas provenientes de una población y no una variedad, fundamentan en gran parte esta diferencia entre experimentos. Que las diferencias no sean muy importantes en algunos de los ítems analizados, probablemente se deba a la cercanía genética entre variedades (Cahill, 2004).

La fuerte relación encontrada entre la temperatura y la duración del ciclo de la chía, disminuyendo esta con el aumento de la primera, ha sido reportada en otras especies como el maíz y el trigo y está explicada por la aceleración de los procesos fisiológicos (Hatfield & Prueger, 2015).

## Conclusiones

Los resultados expuestos aquí indican que el contenido de proteínas, de aceite y el perfil de ácidos grasos de la chía comercial multi varietal se ven afectados por las distintas condiciones ecológicas de los ecosistemas evaluados, manteniéndose dentro de los rangos reportados para la especie en las parcelas experimentales mono varietales.

La chía se presenta como una alternativa para la diversificación de la agricultura tradicional ecuatoriana, incorporando un cultivo con mercados en franca expansión a nivel mundial. Sin embargo, para que en cada uno de estos ecosistemas la chía se convierta en una alternativa competitiva con los demás países productores, es necesario trabajar en la selección de los genotipos superiores para cada uno de ellos.

## Referencias bibliográficas

- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. (1995). Micro-Kjeldahl Method. Official methods of analysis (960.52). AOAC, Gaithersberg, EE.UU.
- Ayerza, R. (h). (1995). Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 72: 1079–1081.
- Ayerza, R. (h). (2001). Wax-ester composition of ten jojoba clones growing in two arid ecosystems of South America. *Tropical Science* 41: 168–171.
- Ayerza, R. (h). (2011). The seed's oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) variety Iztac 1, grown under six tropical ecosystems conditions. *Interciencia* 36(8):620-624.

- Ayerza, R. (h). (2013). Effect of seed color on protein, oil, fiber, amino acids, and antioxidants content and composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 25(7): 495-500.
- Ayerza, R. (h). (2019<sup>a</sup>). Treinta años con la Chía: historia, composición, beneficios y producción, de un alimento nutracéutico. Editorial A Ojo, La Rinconada, Santa Elena, Ecuador (En prensa).
- Ayerza, R. (h). (2019<sup>b</sup>). Moringa, ¿utopía o realidad?. Utilización, composición y producción de un árbol destacado en la tradición Ayurvédica de la India. Editorial A Ojo, La Rinconada, Santa Elena, Ecuador, 162 p.
- Ayerza, R. (h) & Coates, W. (2004). Protein and oil content, peroxide index and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science* 44(3): 131-135.
- Ayerza, R. (h) & Coates, W. (2008). Seed yield, oil content and fatty acid composition of three botanical sources of  $\omega$ -3 fatty acid planted in The Yungas ecosystem of Tropical Argentina. *Tropical Science* 47(4): 183-187.
- Ayerza, R. (h) & Coates, W. (2009<sup>a</sup>). Influence of environment and genotype on crop cycle and yield; seed protein, oil, and  $\alpha$ -linolenic  $\omega$ -3-fatty acid content of chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products* 30(2): 321-324.
- Ayerza, R. (h) & Coates, W. (2009<sup>b</sup>). Some quality components of four chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes under Tropical Coastal Desert ecosystem conditions. *Asian Journal of Plant Science* 8(4): 301-307.
- Cahill, J. P. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 51: 773-781.
- Cai, Z. Q., Jiao, D. Y., Tang, S. X., Dao, X. S., Lei, Y. B. & Cai, C. T. (2012). Leaf photosynthesis, growth, and seed chemicals of Sacha Inchi plants cultivated along an altitude gradient. *Crop Science* 52: 1859-1867.
- Canadian Food Inspection. (2008). Seed Program Specific Work Instruction: Official Seed Sampling. SWI 132.1.1, Plant Production Division, Plant Products Directorate, Government of Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- Carver, B. F, Burton, J. W., Carter, T. E. & Wilson, R. F. (1986). Response to environmental variation of soybean lines selected for altered unsaturated fatty acid composition. *Crop Science* 26: 1176-1180.
- Cohort Stat 6.311. 2006. Cohort Software Inc., Monterey, USA.
- Dierig, D. A., Adam, N. R., Mackey, B. E., Dahlquist, G. H. & Coffelt T. A. (2006). Temperature and elevation effects on plant growth, development, and seed production of two *Lesquerella* species. *Industrial Crops and Products* 24: 17-25.
- Fernandez, I., Feliu, M. S, Vidueiros, S. M., Ayerza, R. (h), Coates, W., Slobodianik, N. H. & Pallaro, A. N. (2006). Mejoramiento de la calidad proteica del trigo utilizando una fuente no tradicional. XIV Congreso Latino-Americano de Nutrição, Florianópolis, Brasil, Poster NE 0132.
- Folch, J., Lees M. & Sloane-Stanley, G. H. A. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemist* 226: 497-507.

Garba, L., Mohamad-Ali, M. S., Oslan, S. N. & Rahman, R. N. (2017). Review on fatty acid desaturases and their roles in temperature acclimatisation. *Journal of Applied Science* 17: 282-295.

Harwood, J. L. (2019). Plant Fatty Acid Synthesis. AOCs Lipid Library. Recuperado de <http://lipidlibrary.aocs.org/Biochemistry/content.cfm?ItemNumber=40304>

Hatfield, J. L. & Prueger, N. J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development *Weather and Climate Extremes* 10: 4-10.

IRAM-Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 1982. Aceites y grasas vegetales y animales: Método rápido de preparación de esteres metílicos de ácidos grasos para su análisis por cromatografía en fase gaseosa. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires, Argentina.

ISO-Internacional Standard ISO 5509. (1978). Animal and vegetable fats and oils-Preparation of methyl esters of fatty acids. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Ministry of Foreign Affairs. (2017). Exporting chia seeds to Europe. Centre for the Promotion of Imports from developing countries, Netherlands Ministry of Foreign Affairs. Recuperado de

<file:///C:/Users/Ricardo/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/XRW3RDPY/CBI%20-%20Centre%20for%20the%20Promotion%20of%20Imports%20from%20developing%20countries%20-%20Exporting%20chia%20seeds%20to%20Europe%20-%202018-08-09.pdf>

Mohammed, C. A., Francis, J. F., Rajewski, J. & Maranville, J. W. (1987). Genotype H environment interaction and stability analysis of protein and oil in grain sorghum. *Crop Science* 27: 169-171.

Sierra, L., Roco, J., Alarcón, G., Medina, M., Van Nieuwenhove, C., Peral de Bruno, M. & Jerez, S. (2015). Dietary intervention with *Salvia hispanica* (Chia) oil improves vascular function in rabbits under hypercholesterolaemic conditions. *Journal of Functional Foods* 14: 641-649.

Simopoulos, A. P. (2002). Genetic variation and dietary response: Nutrigenetics/nutrigenomics. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 1(S6): S117-S128.

Simopoulos, A. P. (2008). The omega-6/omega-3 fatty acid ratio, genetic variation, and cardiovascular disease. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 17(S1): 131-134.

Vollmann J. J., Fritz, C. N., Grausgruber, H. & Ruckebauer, P. (2000). Spatial field variations in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) performance trials affect agronomic characters and seed composition. *European Journal of Agronomy* 12: 13-22.

Vuksan, V., Whitham, D., Sievenpiper, J. L., Jenkins, A. L., Rogovik, A. L., Bazinet, R. P., Vidgen, E. & Hanna, A. (2007). Supplementation of conventional therapy with the novel grain Salba (*Salvia hispanica* L.) improves major and emerging cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: results of a randomized controlled trial. *Diabetes Care* 30(11): 2804-2810.

Xue, Y., Chen, B., Win, A. N., Fu, C., Lian, J., Liu, X., Wang, R., Zhang, X. & Chai, Y. 2018. Omega-3 fatty acid desaturase gene family from two  $\omega$ -3 sources, *Salvia hispanica* and *Perilla frutescens*: cloning, characterization and expression. *PLoS* 13(1). Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191432>